



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN RISIKO DAN PENGEMBANGAN SISTEM  
PENGENDALIAN BAHAYA REAKTIFITAS KIMIA PADA  
INDUSTRI KIMIA HILIR**

**DISERTASI**

**ALFAJRI ISMAIL  
NPM: 0706310671**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JANUARY 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN RISIKO DAN PENGEMBANGAN SISTEM  
PENGENDALIAN BAHAYA REAKTIFITAS KIMIA PADA  
INDUSTRI KIMIA HILIR**

**DISERTASI**

**Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Doktor**

**ALFAJRI ISMAIL  
NPM: 0706310671**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
ILMU KESEHATAN MASYARAKAT  
KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JANUARY 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

Nama : Alfajri Ismail

NPM : 0706310671

Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat

Judul Disertasi : Kajian Risiko dan Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya  
Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof. Haryoto Kusnoputranto, dr, SKM, Dr.PH. (  )

Kopromotor : Prof. Dr. dr. I Made Djaja, SKM, MSc. (  )

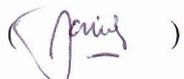
: Dr. rer. nat. Budiawan (  )

Tim Penguji : Prof. dr. Umar Fahmi Achmadi, MPH, PhD (Ketua) (  )

: Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng (Anggota) (  )

: Drs. Bambang Wispriyono, Apt., PhD (Anggota) (  )

: Dra. Fatma Lestari. M.Si. PhD (Anggota) (  )

: Dr. rer. nat. Thomas S Wibowo, Dipl. Chem. (Anggota) (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Januari 2011

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillahillahirabilla'lamiin kehadiran Allah SWT atas semua nikmat dan karunia yang telah dianugerahkan kepada saya dalam menyelesaikan disertasi ini. Saya sangat menyadari hanya dengan pertolongan Allah sajalah semua ini dapat terwujud. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan disertasi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan disertasi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan penghormatan, penghargaan dan rasa terimakasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Promotor: Prof. Haryoto Kusnoputranto, dr, SKM, Dr.PH. Dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam kesibukan beliau yang sangat tinggi, beliau telah memberikan bimbingan dan dorongan semangat untuk menyelesaikan disertasi ini tepat pada waktunya.
2. Ko-Promotor: Prof. Dr. dr. I Made Djaja, SKM, MSc. Dalam kesibukan beliau yang sangat tinggi, selalu meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan dan pengolahan data disertasi ini.
3. Ko-Promotor: Dr. rer. nat. Budiawan. Telah secara intensif melakukan diskusi-diskusi dalam menggali permasalahan dan solusi yang dibahas dalam disertasi ini, sehingga diperoleh *novelty* yang diinginkan dari disertasi ini.
4. Tim Penguji: Prof. dr. Umar Fahmi Achmadi, MPH, PhD, Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng, Drs. Bambang Wispriyono, Apt., PhD, Dra. Fatma Lestari. M.Si. PhD dan Dr. Thomas Wibowo atas kesediaan untuk menjadi tim penguji dan terus memberikan bimbingan demi menyempurnakan penyusunan disertasi ini.
5. Dekan FKM UI: Prof. dr. Hasbullah Tabarany, PhD (periode 2004-2007), dan Drs. Bambang Wispriyono, Apt., PhD (periode 2008-saat ini).

6. Para Staf Pengajar di Fakultas Kesehatan Masyarakat UI, terutama dari Departemen K3 FKM UI.
7. Pimpinan, Manager dan Supervisor dari tiga perusahaan tempat penelitian dilakukan.
8. Rekan-rekan mahasiswa/i Program Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat dan Epidemiologi angkatan 2007 atas dukungan semangat dan kebersamaan selama masa kuliah.
9. Managing Director PT 3M Indonesia, yang telah memberikan kesempatan, dukungan dan dorongan selama menempuh pendidikan.
10. Product Development and Design Manager PT 3M Indonesia, Audist Subekti PhD, yang telah banyak membantu peneliti dalam pengumpulan data dilapangan dan penulisan disertasi ini.
11. Robiul Awal yang telah banyak membantu dalam pengolahan data.
12. Sungkem penuh takzim kepada ibunda tercinta Hj. Janidar yang selalu mendoakan kebaikan bagi anaknya agar dapat menyelesaikan pendidikan ini dengan baik.
13. Untuk kedua orang tua kami Bapak Hadinis dan Ibunda Darni yang selalu memberikan dukungan dan dorongan semangat.
14. Keluarga besar H.Ismail yang telah memberikan dorongan moril dan motivasi.
15. Keluarga besar Hj. Dayana atas dukungan dan dorongan semangat yang diberikan.
16. Akhirnya rasa terimakasih yang mendalam untuk Veranita (istri) dan Zhizhi Silvia (ananda) tercinta, yang selalu setia mendampingi, mendukung, memberi semangat dan telah bersabar atas semua pengorbanan yang dilakukan untuk menyelesaikan studi ini.
17. Semua pihak terkait yang tidak bisa disebut satu per satu, yang telah memberikan pengetahuan, kebersamaan dan bantuan, semoga mendapatkan balasan dari Allah SWT.

Depok, 3 Januari 2011

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfajri Ismail  
NPM : 0706310671  
Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat  
Departemen : Kesehatan dan Keselamatan Kerja  
Fakultas : Kesehatan Masyarakat  
Jenis karya : Disertasi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Kajian Risiko dan Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktivitas Kimia  
Pada Industri Kimia Hilir**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok  
Pada tanggal : 3 Januari 2011  
Yang menyatakan

  
ALFAJRI ISMAIL

## ABSTRAK

**Nama** : Alfajri Ismail  
**Program Studi** : Program Studi Doktor Ilmu Kesehatan Masyarakat,  
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia  
**Judul** : Kajian Risiko dan Pengembangan Sistem Pengendalian  
Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir

**xxvii + 237 halaman, 61 tabel, 61 gambar, 13 lampiran**

Industri kimia hilir (IKH) di Indonesia memiliki potensi Bahaya Reaktifitas Kimia (BRK) yang cukup tinggi, karena pada umumnya IKH di Indonesia masih menggunakan teknologi yang konvensional dengan kualitas sumber daya manusia yang masih rendah, sementara jenis bahan kimia yang digunakan sangat banyak jumlahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model penyebab dan sistem pengendalian BRK pada IKH.

Metodologi penelitian merupakan modifikasi SREST –Layer Assessment (Shah et al, 2005) dengan memasukkan faktor pekerja kedalam kajian. Ada 5 tahapan pada metode ini yaitu; (1) kajian bahaya bahan kimia berdasarkan NFPA 704, (2) kajian BRK bahan kimia menggunakan program perangkat lunak CRW 2 dari NOAA, (3) identifikasi potensi terjadinya BRK pada proses produksi, (4) mengembangkan skenario terburuk BRK, (5) kajian skenario terburuk BRK dengan metode KJ Analysis dan mengembangkan model kuantitatif penyebab BRK melalui data kuosioner dan diolah dengan menggunakan LISREL 8.50.

Dari hasil kajian BRK pada tiga industri kimia hilir dapat dibuktikan bahwa Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK), Faktor Pekerja (FP) dan Faktor Teknologi Keselamatan (FTK) lebih dapat menurunkan Indek Bahaya (IB) dan Risiko (IR) BRK pada IKH, dan FP memberikan kontribusi yang paling besar (44.6%) dibandingkan FSMK (32.5%) dan FTK (22.9%). Model yang dikeluarkan Shah et al (2005) yang hanya memasukkan FTK terbukti kurang dapat menurunkan IB dan IR pada IKH.

Dari model penyebab BRK yang dikembangkan ditemukan tujuh variabel penyebab terjadinya pemicu BRK yaitu; Komitmen Manajemen dan Pekerja, Analisis Bahaya dan Risiko, Training BRK, Kompetensi, Faktor Pekerja, Prosedur Kerja Standar dan Lingkungan Kerja. Hanya dua variabel yang berhubungan secara langsung dengan pemicu BRK yaitu: Faktor pekerja yang berpengaruh secara langsung terhadap terjadinya Kesalahan Pencampuran dan Parameter Proses dan

Lingkungan Kerja yang mempengaruhi terjadinya Kesalahan Penyimpanan. Dari model penyebab BRK tersebut dikembangkan sistem manajemen BRK yang mengandung lima elemen pengendalian yaitu; Komitmen Manajemen dan Pekerja, Analisis Bahaya dan Risiko, Program Training BRK, Pengembangan Prosedur Kerja Standar dan Program Keamanan dan Kenyamanan Lingkungan Kerja. Sistem manajemen BRK yang dikembangkan ini dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen baku ISO 9001, ISO 14001 dan OHSAS 18001 atau SMK3 Permenaker. Sistem ini sangat tepat untuk diterapkan pada industri kimia hilir yang menggunakan banyak jenis bahan kimia dengan teknologi konvensional dan sumberdaya manusia yang terbatas.

**Kata Kunci:**

Industri Kimia Hilir, Bahaya Reaktifitas Kimia, Indek Bahaya, Indek Risiko, Sistem Manajemen, Model Penyebab BRK.

**Daftar bacaan : 81 (1980 – 2010)**

## ABSTRACT

**Name** : Alfajri Ismail  
**Study Program** : Doctoral Study Program of Public Health Science, Faculty of Public Health University of Indonesia  
**Title** : Chemical Reactivity Hazard Risk Assessment and Management System Development for Downstream Chemical Industry

xxvii + 237 pages, 61 tables, 61 pictures, 13 appendices

The potential of Chemical Reactivity Hazards (CRH) for downstream chemical industry (DCI) in Indonesia is still considerably high. In general, DCI in Indonesia still uses conventional technology with limited human resources capability, while have to handle numerous types of chemicals. The aim of this research is to conduct chemical reactivity hazard (CRH) risk assessments and develop CRH control systems for DCI.

This research was done using modified SREST-Layer Assessment (Shah et al 2005) by addition of workforce factor into the assessment. There are five steps in this method: (1) assessment of chemical hazards based on *NFPA 704*, (2) study of CRH using *CRW 2 software programs from NOAA*, (3) identification of potential CRH in production processes, (4) develop a CRH worst-case scenarios, (5) assessment of CRH worst-case scenario with the *KJ Analysis* and develop CRH quantitative causation model through *questioners result* and processed using *LISREL 8.50*.

From the results of the CRH study at three downstream chemical industries could be proved that the Safety Management System Factor (SMSF), Workers Factor (WF) and Safety Technology Factor (STF) decreased Hazards Index (HI) and Risk Index (RI) of CRH in DCI higher than Shah et al model (2005) which only includes STF. WF provides the greatest contribution (44.6%) compared SMSF (32.5%) and STF (22.9%).

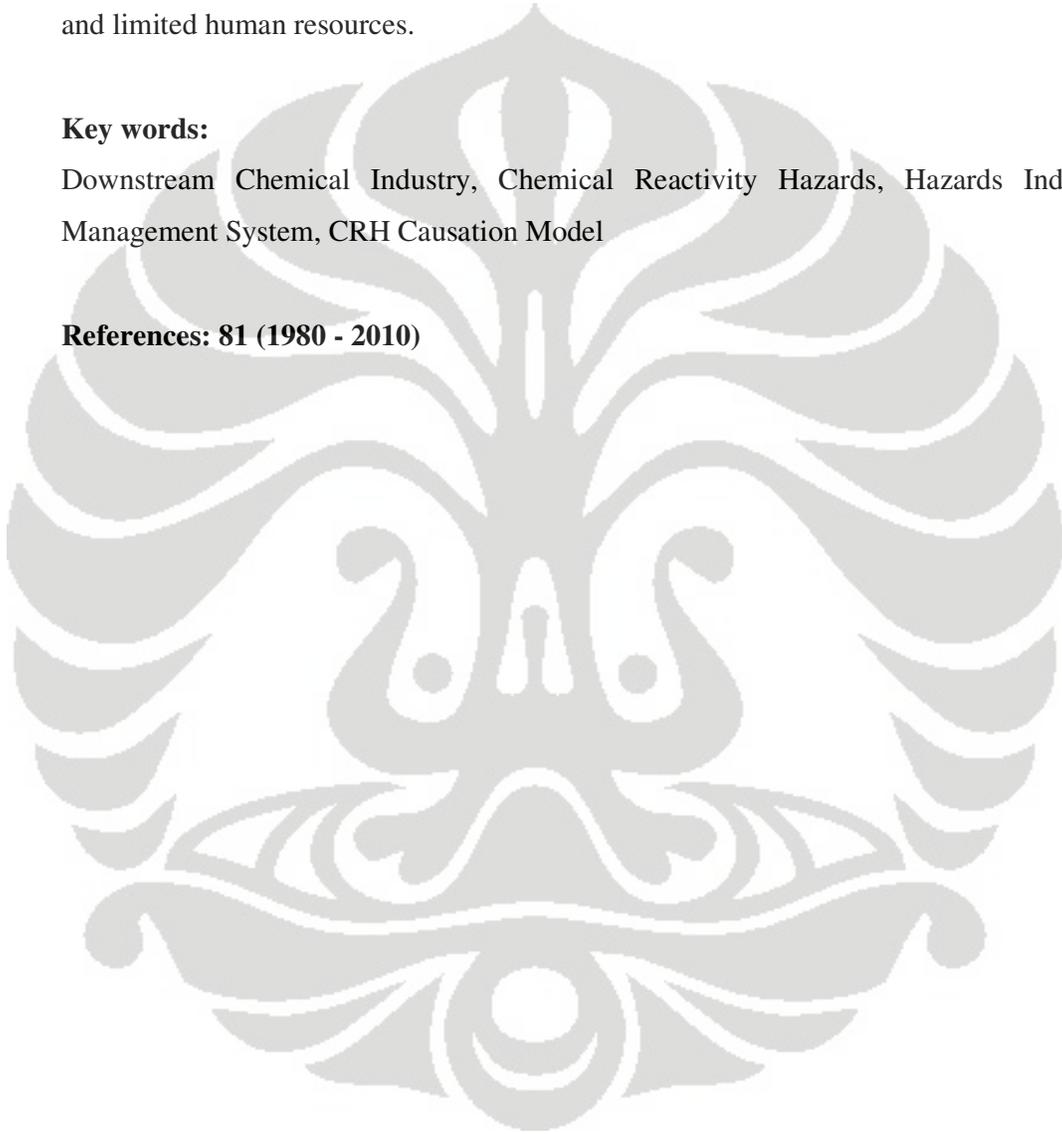
From the CRH causation model developed found seven variables were the cause of the CRH trigger, namely; Management and Workforce Commitment, Hazard and Risk Analysis, CRH Training, Competency, Workforce Factor, Standard Operating Procedure and Working Environment. Only two variables were directly associated with CRH trigger, namely: Workforce Factors that affect directly to the occurrence of Mixing and Process Parameter Error and Working Environment affecting occurrence of Storage Error. The CRH management system was developed

based on CRH causation model that contains five elements; Management and Workforce Commitment, Hazard and Risk Analysis, CRH Training Program, Standard Operating Procedure, and Safe Working Environment. This system can be integrated with standard management system ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001 or SMK3. This system is very appropriate to be applied in downstream chemical industries that use many different chemicals with conventional technology and limited human resources.

**Key words:**

Downstream Chemical Industry, Chemical Reactivity Hazards, Hazards Index, Management System, CRH Causation Model

**References: 81 (1980 - 2010)**



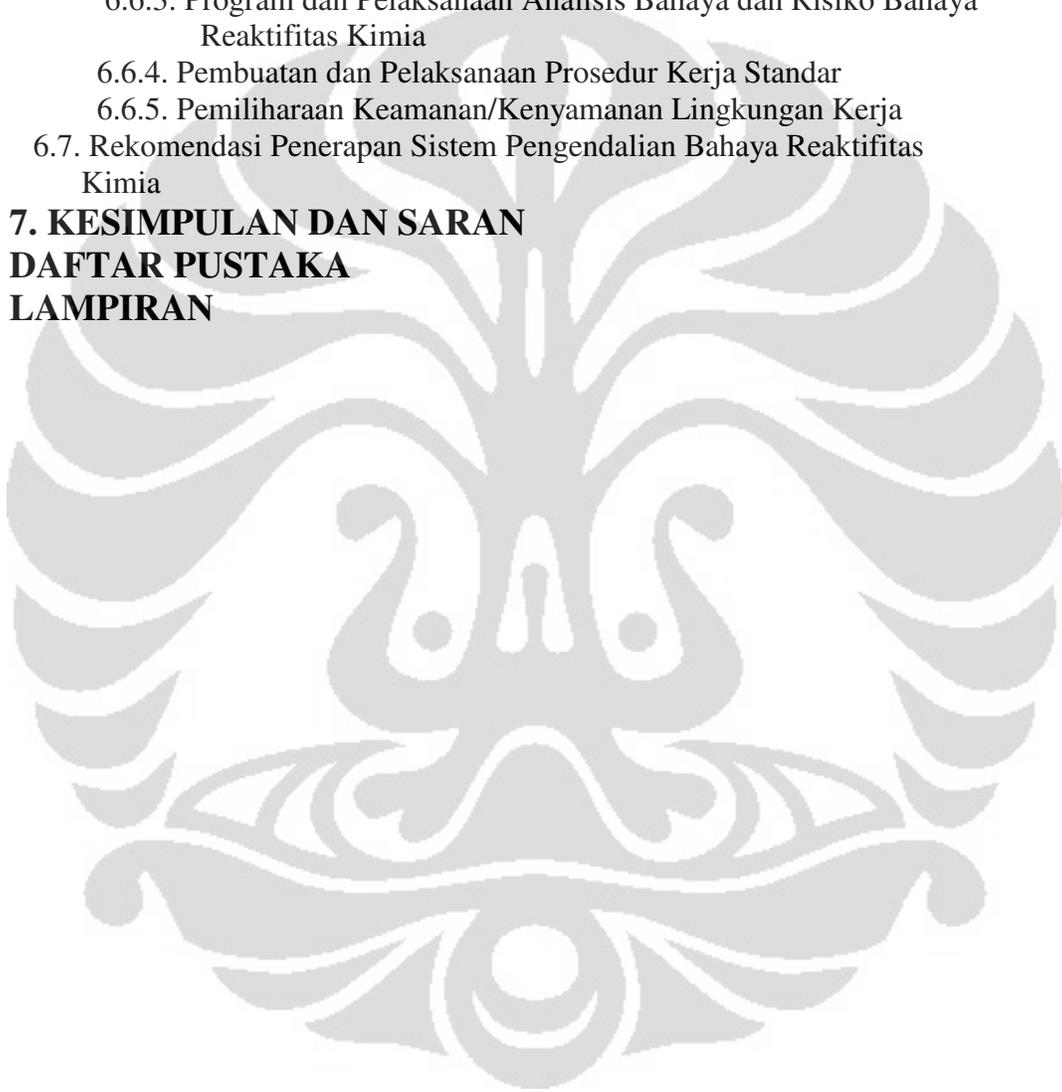
## DAFTAR ISI

Judul	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
DAFTAR SINGKATAN	xxiv
DAFTAR ISTILAH	xxvi
<b>1. PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang.	1
1.2. Permasalahan.	5
1.3. Tujuan Penelitian.	9
1.4. Manfaat Penelitian.	9
1.5. Lingkup Penelitian.	10
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	12
2.1. Bahaya Reaktifitas Kimia.	12
2.2. Dampak Reaksi Kimia Tidak Terkontrol.	16
2.2.1. Ledakan dan Kebakaran.	16
2.2.2. Pelepasan Gas Beracun.	20
2.3. Metode Skrening Awal Potensi Bahaya Reaktifitas Kimia.	21
2.4. Metode Kajian Bahaya Reaktifitas Kimia.	23
2.4.1. SREST-Layer Assessment.	28
2.4.2. Alat Bantu (tools) Kajian Bahaya Reaktifitas Kimia.	36
2.4.2.1. Studi Ketidaksesuaian (NOAA Worksheet).	37
2.4.2.2. Studi literatur.	38
2.5. Teori Penyebab Kecelakaan Kerja.	39
2.5.1. Faktor Lingkungan Kerja	45
2.5.2. Faktor Manajemen.	47
2.5.3. Faktor Manusia.	49
2.5.3.1. Kesalahan Manusia.	49
2.5.3.2. Perilaku Keselamatan.	52
2.5.3.3. Budaya Keselamatan.	54
2.5.3.4. Kajian Perilaku dan Budaya Keselamatan.	57
2.6. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.	62
2.6.1. Sistem Manajemen Keselamatan Terintegrasi.	62
2.6.2. Sistem Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia yang Komprehensif.	70

2.7. Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan di Indonesia.	74
2.8. Profil Industri Kimia Hilir di Indonesia	77
<b>3. KERANGKA KONSEP, DEFINISI OPERASIONAL DAN HIPOTESIS</b>	<b>79</b>
3.1. Kerangka Teori	79
3.2. Kerangka Konsep	81
3.3. Hipotesis	85
3.4. Definisi Operasional	86
<b>4. METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>90</b>
4.1. Rancangan Penelitian	90
4.1.1. Kajian Bahaya Bahan Kimia	92
4.1.2. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia	93
4.1.3. Identifikasi Potensi Bahaya Reaktifitas Kimia	94
4.1.4. Mengembangkan Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia	95
4.1.5. Kajian Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia Dengan Metode KJ Analisis	97
4.1.6. Audist Sistem Manajemen Keselamatan	100
4.1.7. Analisa Kuantitatif Model Resiko Bahaya Reaktifitas Kimia	100
4.1.7.1. Pengembangan Kuosioner	101
4.1.7.2. Uji Validitas dan Reabilitas Kuosioner	102
4.1.7.2.1. Uji Validitas	102
4.1.7.2.2. Uji Reabilitas	105
4.1.7.3. Pengambilan Data Melalui Kuosioner	105
4.1.7.4. Pengembangan <i>Structural Equation Modeling</i> Bahaya Reaktifitas Kimia	106
4.1.8. Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia	111
4.2. Tempat dan Waktu Penelitian	112
4.3. Pengumpulan Data	113
4.3.1. Sumber Data	113
4.3.2. Jenis Data	113
4.3.3. Cara Pengumpulan Data	113
4.4. Pengontrolan Kualitas Data	114
4.5. Analisis Data	114
4.6. Keterbatasan Penelitian	115
4.7. Etik Penelitian	115
<b>5. HASIL PENELITIAN</b>	<b>117</b>
5.1. Data Perusahaan Tempat Penelitian	117
5.2. Kajian Bahaya Bahan Kimia	119
5.3. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia	120
5.3.1. Skreening Awal Bahaya Reaktifitas Kimia	120
5.3.2. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Baku	122
5.3.3. Kajian Bahaya Reaktifitas Produk Antara dan Akhir	123
5.4. Kajian Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	125
5.4.1. Skrining Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	125

5.4.2. Rancangan Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia	126
5.4.3. KJ Analysis Skenario Terburuk Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	127
5.5. Hasil Audit Sistem Manajemen Keselamatan	131
5.6. Perhitungan Sisa Indeks Bahaya dan Risiko	133
5.7. Pengembangan Model Hipotesis Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	142
5.7.1. Komitmen K3	142
5.7.2. Training dan Kompetensi	143
5.7.3. Faktor Pekerja	144
5.7.4. Prosedur dan Standar Kerja	145
5.7.5. Kenyamanan/Kemanan Lingkungan Kerja	147
5.7.6. Analisis Bahaya dan Resiko	148
5.8. Pengembangan Model Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia.	148
5.8.1. Uji Normalitas	148
5.8.2. Uji Multikolinearitas	148
5.8.3. Mengembangkan Model Pengukuran Penyebab Reaktifitas Kimia	149
5.8.4. Mengembangkan Model Struktural Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	151
5.8.5. Respesifikasi Model Struktural Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	158
5.9. Hasil Uji Multiple Regresi Linear Model Hipotesis Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	164
5.10. Hasil Analisis Kualitatif Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia	167
<b>6. PEMBAHASAN</b>	184
6.1. Keterbatasan Penelitian	184
6.2. Bahaya Bahan Kimia Pada Industri Kimia Hilir	187
6.3. Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir	188
6.4. Sisa Indeks Bahaya dan Risiko Bahan Kimia dan Reaktifitas Kimia	191
6.5. Hubungan antara Variabel Laten Model Risiko Bahaya Reaktifitas Kimia	198
6.5.1. Hubungan Komitmen K3 dengan Training dan Analisis Bahaya dan Risiko	198
6.5.2. Hubungan Analisis Risiko dengan Prosedur Kerja Standar dan Lingkungan Kerja	199
6.5.3. Hubungan Training dengan Kompetensi Pekerja	199
6.5.4. Hubungan Prosedur Kerja Standar dengan Faktor Pekerja dan Lingkungan Kerja	200
6.5.5. Hubungan Lingkungan Kerja dengan Kesalahan Penyimpanan	201
6.5.6. Hubungan Faktor Kesalahan Pekerja dengan Kesalahan Pencampuran dan Parameter Proses.	201
6.5.7. Hubungan Kesalahan Pencampuran dengan	202

Ketidaksempurnaan Pencampuran dan Kontaminasi	
6.5.8. Hubungan Kesalahan Penyimpanan dengan Kontaminasi	202
6.6. Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir	203
6.6.1. Komitmen Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia	204
6.6.2. Program dan Pelaksanaan Pelatihan Bahaya Reaktifitas Kimia	207
6.6.3. Program dan Pelaksanaan Analisis Bahaya dan Risiko Bahaya Reaktifitas Kimia	210
6.6.4. Pembuatan dan Pelaksanaan Prosedur Kerja Standar	214
6.6.5. Pemeliharaan Keamanan/Kenyamanan Lingkungan Kerja	219
6.7. Rekomendasi Penerapan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia	225
<b>7. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	228
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	232
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
2.1	Konsekuensi Dari Reaksi Berbagai Jenis Senyawa Hidrida Dengan Air dan Udara	18
2.2	Contoh Bahan Kimia Pada Kolom 1 yang Apabila Bercampur Dengan Bahan Kimia Kolom 2 akan Melepaskan Bahan Kimia Beracun (Kolom 3).	21
2.3	Bilang Indeks Untuk Sifat Bahaya yang Berbeda	30
2.4	Nilai EHS Kategori Efek yang Dapat Diterima Pada Tahap SAL.	32
2.5	Nilai Index Reaktifitas yang Dapat Diterima Untuk RAL	34
2.6	Tahapan Evolusi Dari Konsep Manajemen Keselamatan dan Kualitas	64
2.7	Prinsip dan Hubungan Sistem Manajemen Kualitas dan Keselamatan Kerja	65
2.8	Perbandingan Manajemen Bahaya dari CCPS, OSHA PSM/EPA RMP Rule dan Saveso II (Johnson et al., 2003).	70
2.9	Elemen-Elemen PSM yang Belum Masuk Dalam Sistem Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia	71
2.10	Pengelompokan Strategi OHS-MS	73
2.11	Jumlah Kecelakaan Tercatat yang Terkait Dengan Pekerjaan dan Jumlah Kompensasi yang Dibayarkan Selama Periode 1995-1999	75
2.12	Klasifikasi dan Jumlah Industri Kimia yang Terdaftar di PUSDATIN	77
3.1	Matrik Variable dan Definisi Operasional	86
4.1	Indeks Bahaya Bahan Kimia Secara Individu	92
4.2	Indeks Bahaya Reaktifitas Kimia	93

4.3	Indeks Bahaya Reaktifitas Kimia CRW 2.	94
4.4	Peserta KJ Analysis Skenario Terburuk Pada Tiga Perusahaan	98
4.5	Literatur dan Dasar Pengembangan Kuosioner Bahaya Reaktifitas Kimia	104
4.6	Hasil Perhitungan Cronbach Alpha (Reabilitas)	105
4.7	Nilai Signifikansi GFI untuk SEM.	110
5.1	Data-Data Perusahaan Tempat Penelitian Dilakukan	117
5.2	Indeks Bahaya Bahan Baku Kimia Masing-Masing Perusahaan	119
5.3	Hasil Skrining Awal BRK pada Tiga Industri Kimia Hilir	121
5.4	Hasil Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Baku Kimia	123
5.5	Hasil Kajian Bahaya Reaktifitas Produk Antara dan Akhir	124
5.6	Hasil Skrining Penyebab Bahaya Reaktifitas pada Tiga Industri	126
5.7	Rangkuman KJ Analysis BRK	128
5.8	Rangkuman Hasil Pengamatan Lapangan Terhadap Pelaksanaan Sistem Manajemen K3 Dengan Metode Checklist Pada Empat Perusahaan	132
5.9	Hasil Perhitungan Bobot Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK)	135
5.10	Hasil Perhitungan Bobot Faktor Pekerja (FP)	135
5.11	Hasil Perhitungan Bobot Faktor Teknologi Keselamatan (FTK)	135
5.12	Hasil Perhitungan Nilai Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK), Faktor Pekerja (FP) dan Nilai Faktor Teknologi Keselamatan (FTK) dari Observasi Lapangan	137
5.13	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT XYZ	138
5.14	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT CDF	139

5.15	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT PQR	139
5.16	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT XYZ	141
5.17	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT CDF	141
5.18	Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT PQR	141
5.19	Persamaan Regresi Model Pengukuran Penyebab BRK	149
5.20	Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Pengukuran Penyebab BRK	151
5.21	Nilai Derajat Kecocokan Data-Model dari Model Struktural Hipotesis Penyebab BRK	153
5.22	Persamaan Regresi Model Struktural Hipotesis Penyebab BRK	154
5.23	Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Hipotesis Penyebab BRK	154
5.24	Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I	160
5.25	Persamaan Regresi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I	160
5.26	Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I.	161
5.27	Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II	163
5.28	Persamaan Regresi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II	163
5.29	Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II.	164
5.30	Rangkuman Persamaan Multiple Regresi Linear Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia	166

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Nomor Lampiran</b>	<b>Judul</b>
1	Daftar Bahan Baku dan Indeks Bahaya
2	Tabel Ketidakcocokkan Bahan Baku Kimia
3	Tabel Ketidakcocokkan Antar Bahan Kimia Dalam Produk
4	Rancangan Skenario Terburuk BRK
5	Hasil Kajian Skenario BRK dengan KJ Analysis
6	Daftar Kuosioner Penelitian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir
7	Ceklist Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia
8	Surat Permohonan Ijin Penelitian
9	Lembar Persetujuan Kerjasama Penelitian
10	Daftar Hadir KJ Analysis
11	Lembar Persetujuan Pengisian Kuosioner
12	Panel Diskusi Kuosioner
13	Foto-Foto Penelitian

5.31	Hasil Kajian Kualitatif Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia	168
6.1	Pasangan Produk yang Berpotensi Bereaksi Pada Tanki atau Line Produksi yang Sama Pada PT PQR	190
6.2	Nilai Perbedaan Rata-Rata Pengukuran Tingkat Kesadaran K3, Hampir Celaka dan Kecelakaan dengan Bahan Kimia	194
6.3	Ringkasan SIB, SIR, Tingkat Kecelakaan dan Hampir Celakan dengan Penerapan Sistem Manajemen Kualitas, Keselamatan dan Lingkungan pada PT XYZ, PT PQR dan PT CDF	197
6.4	Keunggulan Sistem Manajemen BRK Industri Kimia Hilir Dibandingkan Sistem Manajemen BRK CCPS 2003	203
6.5.	Kelemahan Sistem Manajemen BRK Industri Kimia Hilir Dibandingkan Sistem Manajemen BRK CCPS 2003	204
6.6	Topik Training Peningkatan Kompetensi Pekerja Untuk Mengurangi Risiko BRK	209
6.7	Analisis Bahaya dan Risiko BRK pada Industri Kimia Hilir	211
6.8	Prosedur Kerja Standar Terintegrasi dengan Sistem Manajemen K3, Kualitas dan Lingkungan	216
6.9	Rekomendasi Program Pemeliharaan Keamanan dan Kenyamanan Lingkungan Kerja untuk Mengurangi BRK	220
6.10	Jenis Bahaya dan APD yang Diperlukan pada Industri Kimia Hilir	224

## DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Potensi Bahaya Reaktifitas Kimia.	17
2.2	Kurva Reaksi Kimia Eksotermik.	19
2.3	Kurva Hubungan Pelepasan Panas dan Penyerapan Panas Pada Proses Reaksi Eksotermik dengan Sistem Pendingin.	20
2.4	<i>Flowchart Priliminary Screening</i> Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia.	22
2.5	Kategori Dalam Melakukan Kajian Aspek Keselamatan.	30
2.6	SREST-Metode Pengkajian Berlapis dengan Menggunakan Prinsip <i>Inherent Safety</i> .	33
2.7	Index Bahaya dari Kategori Reaksi yang Diinginkan Pada Tahap RAL.	35
2.8	Index Bahaya dari Kategori Campuran Tidak Sesuai Pada Tahap RAL.	35
2.9	Rekomendasi Material Berbahaya yang Tidak Kompatibel Berdasarkan UN Sistem.	37
2.10	Teori Domino dari W.H. Heinrich.	39
2.11	Teori Penyebab Kecelakaan Zabetakis.	41
2.12	Teori Penyebab Kecelakaan oleh Loftus dan Bird.	42
2.13	Model Perkembangan dan Investigasi Kecelakaan Organisasi.	43
2.14	Model Keju Swiss Dalam Teori Kecelakaan Organisasi.	43
2.15	Penyebab Kecelakaan Model Firenze.	44
2.16	Hirarki Pencegahan Kecelakaan Kerja.	46
2.17	SHEL Model.	50

2.18	Perkembangan Usaha Untuk Menurunkan Tingkat Kecelakaan.	54
2.19	Tangga Budaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja.	55
2.20	Ide-ide Dalam Bentuk Post-it Note yang Ditempelkan Oleh Peserta Diskusi.	61
2.21	Ide-ide Dalam Bentuk Post-it Note yang Ditempelkan Oleh Peserta Diskusi dan Telah Dikelompokkan.	61
2.22	Sistem Terintegrasi Dari Sudut Pandang Pekerja.	63
2.23	Sistem Keselamatan Terintegrasi yang Dikembangkan Oleh Weinstein (1996).	65
2.24	Kerangka Sistem Terintegrasi <i>Process Safety Management</i> , Environment, Safety, Health and Quality.	67
2.25	Tahap Pengembangan Justifikasi Awal Sistem Terintegrasi.	68
2.26	Ilustrasi Dari Sistem Manajemen Terintegrasi.	69
2.27	Strategi Dalam Hal Menangani Bahaya yang Kompleks.	72
2.28	Warning Triangle Model Dalam Mengintegrasikan Faktor Manusia, Organisasi dan Sistem Manajemen Menjadi Suatu Sistem yang Bersifat Holistik.	74
3.1	Model Pengembangan Sistem Pengendalian Terintegrasi BRK.	79
3.2	Kerangka Teori Pengembangan Sistem Pengendalian Terintegrasi Bahaya Reaktifitas Kimia dengan Sistem Manajemen Keselamatan, Kualitas dan Lingkungan pada Industri Kimia Hilir.	80
3.3	Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia dari CCPS 2003 Dikelompokkan Berdasarkan Tiga Faktor Utama Penyebab Kecelakaan Kerja.	81
3.4	Ilustrasi Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia yang Lebih Komprehensif dan Holistik.	82

3.5	Ilustrasi Sistem Pengendalian Terintegrasi Bahaya Reaktifitas Kimia.	83
3.6	Kerangka Konsep Pengembangan Sistem Pengendalian Terintegrasi Bahaya Reaktifitas Kimia Dengan Sistem Manajemen Kualitas, Keselamatan dan Lingkungan Pada Industri Kimia Hilir.	84
4.1	Rancangan Penelitian Bahaya Reaktifitas Kimia.	91
4.2	Skreening Potensi Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia.	96
4.3	Contoh Masukan KJ Analysis dari Peserta Diskusi Dalam Post-it Note.	99
4.4	Proses Pengabungan Penyebab BRK Level Proses ke Level Industri.	99
4.5	Hubungan Langsung.	107
4.6	Hubungan Tidak Langsung.	108
5.1	Grafik Enam Kategori Penyebab BRK dari Hasil KJ Analisis	130
5.2	Tiga Faktor Utama Hasil Kajian Kualitatif BRK.	131
5.3	Nilai Persentase Rata-Rata Pelaksanaan Sistem Manajemen K3 dari Hasil Observasi dengan Metode Checklist pada Tiga Perusahaan.	133
5.4	Model Hipotesis Penyebab BRK Sesuai Skenario Terburuk yang Dikembangkan.	142
5.5	Hubungan Variabel Komitmen K3 dengan Variabel-Variabel Lain.	143
5.6	Hubungan Variabel Training & Kompetensi dengan Variabel Lain.	144
5.7	Hubungan Variabel Faktor Pekerja dengan Variabel-Variabel Lain.	145
5.8	Hubungan Variabel Prosedur dan Standar Kerja dengan Faktor Pekerjaan dan Lingkungan Kerja.	146

5.9	Hubungan Variabel Kenyamanan/Keamanan Lingkungan Kerja dengan Variabel-Variabel Lain	147
5.10	Hubungan Variabel Analisa Bahaya dan Risiko dengan Variabel-Variabel Lain.	148
5.11	Model Struktural Penyebab BRK Berdasarkan Model Hipotesis.	152
5.12	Model struktural Penyebab BRK Modifikasi I.	159
5.13	Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II.	162
5.14	Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir	173
5.15	Sistem Pengendalian BRK Terintegrasi dengan ISO 9001, ISO 14000, OHSAS 18001 dan SMK3 Permenaker	180
6.1	Layout Area Produksi PT PQR.	190
6.2	Kecenderungan Penurunan IB dan IR dengan Penerapan Sistem Manajemen Kualitas, Keselamatan dan Lingkungan.	193
6.3	Ilustrasi Metode Pengelompokkan Penyimpanan Bahan Baku Kimia.	213
6.4	Rekomendasi Proses Pembuatan Prosedur Kerja Standar (SOP)	218
6.5	Ilustrasi Layout Alur Proses dengan Sistem Series untuk Industri Kimia Hilir	222
6.6	Tahapan Penerapan Sistem Pengendalian BRK pada Industri Kimia Hilir	226

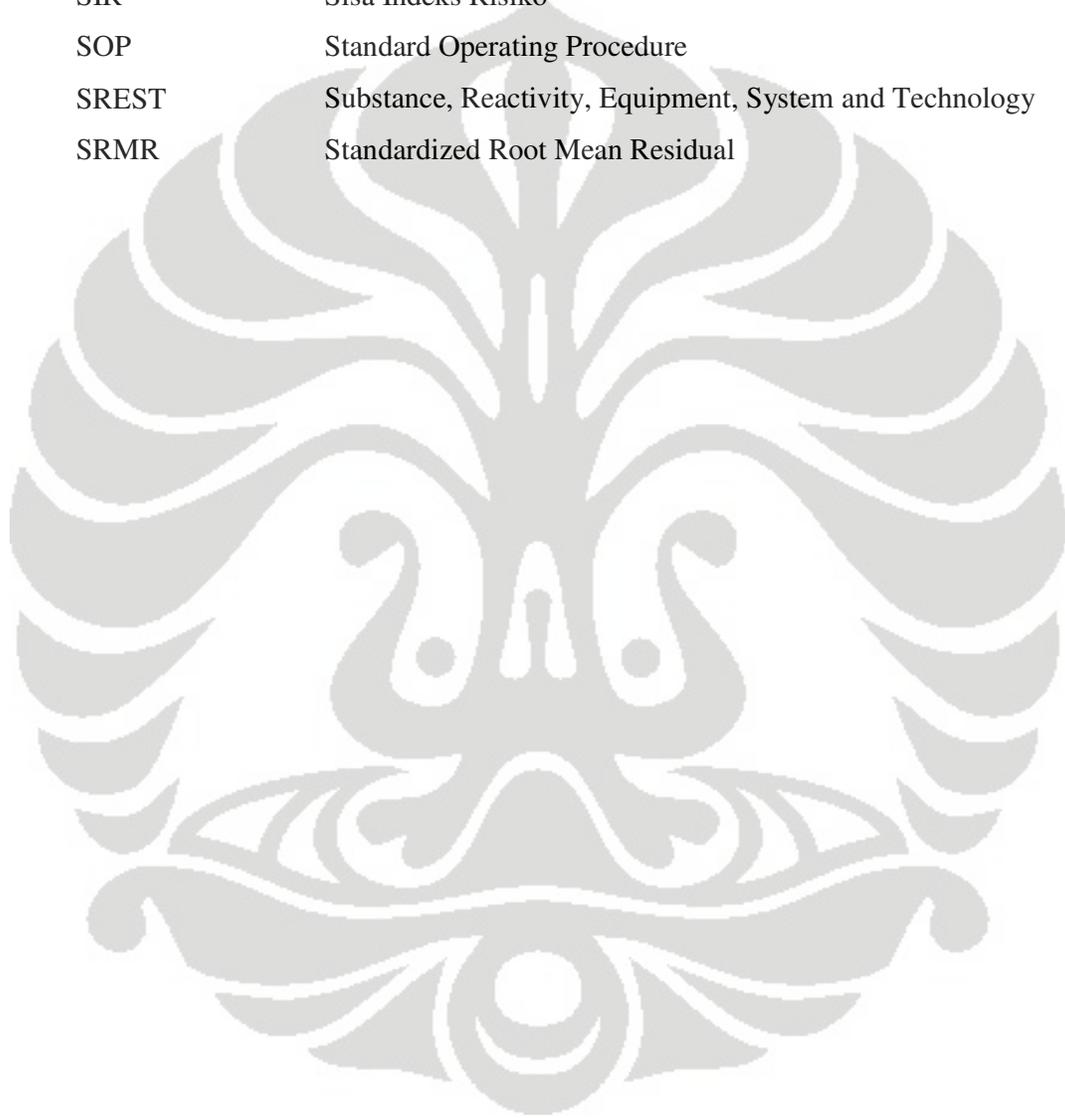
## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Nomor Lampiran</b>	<b>Judul</b>
1	Daftar Bahan Baku dan Indeks Bahaya
2	Tabel Ketidakcocokkan Bahan Baku Kimia
3	Tabel Ketidakcocokkan Antar Bahan Kimia Dalam Produk
4	Rancangan Skenario Terburuk BRK
5	Hasil Kajian Skenario BRK dengan KJ Analysis
6	Daftar Kuosioner Penelitian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir
7	Ceklist Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia
8	Surat Permohonan Ijin Penelitian
9	Lembar Persetujuan Kerjasama Penelitian
10	Daftar Hadir KJ Analysis
11	Lembar Persetujuan Pengisian Kuosioner
12	Panel Diskusi Kuosioner
13	Foto-Foto Penelitian

## DAFTAR SINGKATAN

<b>Singkatan</b>	<b>Keterangan</b>
AIChe	American Institute of Chemical Engineers
BOM	Bill of Material
BRK	Bahaya Reaktifitas Kimia
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CFI	Comparative Fit index
CRH	Chemical Reactivity Hazards
CRW	Chemical Reactivity Worksheet
DCI	Downstream Chemical Industry
GFI	Goodness-of-Fit Index
GOF	Goodness-of-Fit
HI	Hazards Index
IB	Indeks Bahaya
IKH	Industri Kimia Hilir
K3	Keselamatan dan Kesehatan Kerja
KJT	Koefisien Jalur Terstandarisasi
KJ	Jiro Kawakita
IFI	Incremental Fit Indices
LDKB	Lembar Data Keselamatan Bahan
MSDS	Material Safety Data Sheet
IR	Indeks Risiko
ISO	International Standard Organization
ISRS	International Safety Rating System
LOPA	Layer of protection analysis
NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
Permenaker	Peraturan Menteri Tenaga Kerja
PSM	Process Safety Management
RHI	Remaining Hazards Index
RI	Risk Index

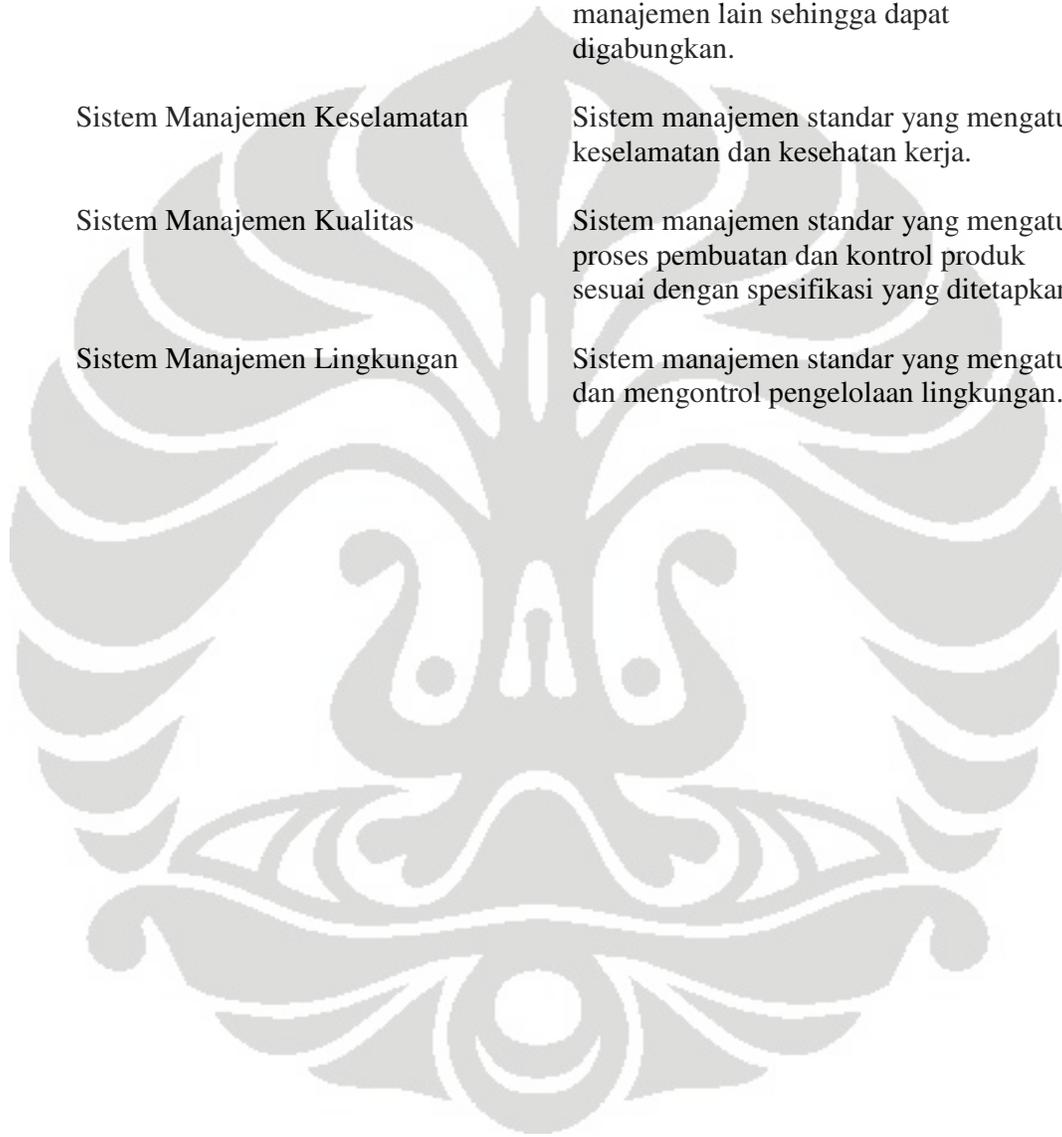
RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation
RRI	Remaining Risk Index
SEM	Structural Equation Modelling
SIB	Sisa Indeks Bahaya
SIR	Sisa Indeks Risiko
SOP	Standard Operating Procedure
SREST	Substance, Reactivity, Equipment, System and Technology
SRMR	Standardized Root Mean Residual



## DAFTAR ISTILAH

<b>Istilah</b>	<b>Keterangan</b>
Bahaya Kimia	Bahaya yang ditimbulkan oleh bahan kimia.
Bahaya Reaktifitas Kimia	Bahaya yang ditimbulkan akibat reaksi kimia yang tidak terkontrol.
Indeks Bahaya	Angka yang menunjukkan tingkat bahaya (0 – 1)
Indeks Risiko	Angka yang menunjukkan tingkat risiko dari hasil perkalian probabilitas BRK dengan Indeks Bahaya (0 – 1)
Industri Kimia Hilir	Industri yang memproduksi produk-produk kimia yang dapat secara langsung digunakan oleh konsumen.
KJ Analisis	Teknik dalam menggali dan mengorganisasi informasi verbal kedalam bentuk visual terstruktur.
Koefisien Jalur Terstandarisasi (KJT)	Koefisien yang menunjukkan hubungan antar variable dalam model struktural dimana makin mendekati nol makin kecil pengaruhnya.
Parameter Proses	Parameter yang digunakan untuk mengatur dan mengontrol proses produksi seperti tekanan, temperatur, kecepatan aliran dst.
Prosedur Kerja Standar (SOP)	Tata cara kerja yang diatur secara sistematis, terstruktur dan dituangkan dalam bentuk perintah kerja tertulis.
Reaktifitas Kimia	Kecendrungan bahan kimia bereaksi dengan bahan kimia lain.
Sisa Indeks Bahaya	Angka yang menunjukkan tingkat bahaya setelah dikurangi faktor teknologi keselamatan, faktor pekerja dan faktor sistem manajemen keselamatan.

Sisa Indeks Risiko	Angka yang menunjukkan tingkat risiko dari hasil perkalian probabilitas BRK dengan Sisa Indeks Bahaya.
Sistem Manajemen Terintegrasi	Sistem manajemen yang memiliki kesamaan elemen-elemen dengan sistem manajemen lain sehingga dapat digabungkan.
Sistem Manajemen Keselamatan	Sistem manajemen standar yang mengatur keselamatan dan kesehatan kerja.
Sistem Manajemen Kualitas	Sistem manajemen standar yang mengatur proses pembuatan dan kontrol produk sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.
Sistem Manajemen Lingkungan	Sistem manajemen standar yang mengatur dan mengontrol pengelolaan lingkungan.



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bahan kimia banyak digunakan dalam berbagai proses industri sebagai bahan baku, produk antara dan produk akhir. Bahan kimia dapat dikelompokkan berdasarkan wujudnya, asalnya, sifat fisik, sifat kimia, sifat bahaya dan lain-lain. Pengelompokan bahan kimia berdasarkan sifat bahayanya adalah beracun, korosi, mudah terbakar dan mudah meledak. Bahaya bahan kimia secara garis besar dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu; bahaya kimia (*chemical hazards*) dan bahaya reaktifitas kimia (*chemical reactivity hazards*). Bahaya kimia adalah bahaya yang di sebabkan oleh sifat dasar dari bahan kimia tersebut, seperti beracun, korosif, mudah terbakar dan mudah meledak. Selanjutnya, bahaya reaktifitas kimia adalah bahaya yang ditimbulkan akibat adanya interaksi atau reaksi dari dua atau lebih senyawa kimia yang berbeda, seperti reaksi polimerisasi, kondensasi, hidrolisis, tercampurnya dua atau lebih bahan kimia yang tidak sesuai (*incompatible*) (Johnson et al., 2003). Akibat dari bahaya reaktifitas kimia tersebut dapat menimbulkan ledakan, kebakaran, pelepasan gas berbahaya yang berakibat pada kerugian baik bagi perusahaan maupun masyarakat di sekitar area pabrik.

Bahaya reaktifitas kimia mengakibatkan kecelakaan yang sangat fatal pada beberapa industri, diantaranya (Johnson et al., 2003; U.S.Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2004 dan 2007; CCPS Safety Alert October 2001):

1. Pada tahun 1976 terjadi reaksi kimia yang tidak terkontrol di Seveso, Italy, yang mengakibatkan terjadinya kontaminasi dioxin hingga beberapa mil dari tempat kejadian.
2. Pada tahun 1984 terjadinya kebocoran Isocyanate di Bhopal, India, yang mengakibatkan 2000 orang meninggal.
3. Pada tahun 2001 terjadi ledakan ammonium nitrate di dekat Toulouse, Prancis, yang mengakibatkan 30 orang meninggal, 2500 cedera dan merusak sepertiga bagian kota Toulouse.

4. Pada tanggal 13 oktober 2002, terjadi ledakan di tower distilasi bahan kimia milik First Chemical Corporation Plant di Pascagoula, Mississippi, menyebabkan tiga orang cidera dan merusak sebagian besar pabrik dan memicu terjadinya kebakaran.
5. Pada tanggal 23 Maret 2005 terjadi ledakan besar di BP Texas City Refinery yang mengakibatkan 15 orang meninggal dan menciderai 180 orang lainnya.
6. Ledakan dan kebakaran besar terjadi pada pabrik pengemasan bahan kimia agrikultur di Arkansas, menewaskan 3 pemadam kebakaran dan melukai 4 orang lainnya. Kejadian ini disebabkan oleh kemasan azinphos-methyl (bahan insektisida) yang ditempatkan berdekatan dengan pipa panas buangan kompresor.
7. Lima orang meninggal ketika mesin pengaduk (mixer) meledak. Mesin ini digunakan untuk mengaduk beberapa jenis powder termasuk *aluminum powder* dan *sodium hydrosulfite*. Ledakan dipicu oleh bocornya air pendingin yang kemudian masuk ke dalam mesin pengaduk.

Bahaya reaktifitas kimia tidak hanya terjadi pada fasilitas dan proses industri, tapi juga ditemukan pada fasilitas-fasilitas umum yang memiliki bahan dan sistem yang berpotensi menimbulkan bahaya reaktifitas kimia akan tetapi tidak mengetahui adanya potensi bahaya tersebut. Ada juga sebagian sudah mengetahui potensi bahaya reaktifitas kimia tetapi tidak memiliki sistem dan alat keselamatan untuk menanganinya. Pada umumnya kita memperhatikan bahaya kimia secara individu dan seringkali mengabaikan bahaya yang dapat terjadi jika bahan tersebut tercampur atau dicampur dengan bahan lainnya. Berikut adalah contoh dari beberapa kejadian bahaya reaktifitas kimia pada fasilitas umum (CCPS Safety Alert October 2001):

1. Ledakan yang disebabkan oleh bocornya atap gudang penyimpanan bahan kimia kering untuk kolam renang. Air hujan yang masuk bereaksi dengan bahan kimia tersebut dan menyebabkan ledakan, kebakaran dan pelepasan klorin selama 3 hari. Lebih dari 25000 orang dievakuasi dan 275 orang luka bakar dan mengalami masalah pernapasan dilarikan ke rumah sakit.
2. 23 orang dilarikan ke rumah sakit setelah kejadian pelepasan uap bahan kimia di sebuah kasino. Dua jenis bahan kimia pembersih dicampur secara sengaja di basement gedung dan menghasilkan uap kimia.

Kecelakaan pada industri kimia di Indonesia juga pernah terjadi walaupun tidak banyak informasi yang dapat diperoleh. Minimnya informasi kecelakaan kerja, khususnya kecelakaan akibat bahaya reaktifitas kimia disebabkan oleh masih kurang baiknya sistem pengawasan dan pelaporan kecelakaan di Indonesia. Beberapa informasi kecelakaan pada industri kimia yang dapat diperoleh dari koran lokal adalah sebagai berikut:

1. 14 Juli 1998: Salah satu tangki (vessel) berisi zat kimia soda kustik (NaOH) di lingkungan industri PT Asahimas Subentra Chemical (ASC), Jalan Raya Ciwandan, meledak. Ledakan itu mencederai 29 karyawan, tiga di antaranya cedera berat.
2. Pada tahun 2001 tangki amoniak milik PT Petrokimia Gresik meledak, mengakibatkan sekitar 40 warga di sekitar lingkungan pabrik dirawat dirumah sakit.
3. 20 Januari 2004: Salah satu tanki bahan kimia (maleic anhydride (MA) dan phthalic anhydride (PA) meledak di PT Petrowidada-Gresik, menelan korban meninggal 2 orang dan 50 orang luka berat.

Sementara data kecelakaan kerja yang dikeluarkan oleh departemen ketenagakerjaan dan transmigrasi (DEPNAKERTRANS) menunjukkan jumlah kecelakaan kerja di Indonesia sangat tinggi, pada tahun 2007 jumlah kecelakaan adalah 65,474 dan tahun 2008 triwulan I 37,904 . Meskipun data yang dikeluarkan oleh DEPNAKERTRANS tidak memberikan informasi mengenai jenis penyebab terjadinya kecelakaan, tapi penulis berkeyakinan jumlah kecelakaan pada industri kimia hilir yang disebabkan oleh bahaya reaktifitas kimia cukup besar.

Beberapa negara maju telah menerapkan regulasi sistem proses keselamatan dan manajemen risiko yang juga mengatur penanganan dan manajemen bahaya kimia, seperti di Amerika dan Eropa (Johnson et al., 2003):

1. Di Amerika Serikat; Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Process Safety Management Standard, 29 CFR 1910.119 (OSHA 1992), merupakan regulasi pengendalian bahan-bahan kimia berbahaya. Disini juga terdapat daftar bahan-bahan yang sangat reaktif.
2. Regulasi Federal Amerika Serikat memuat tentang penanganan bahaya kimia seperti EPA RMP Rule (40 CFR Part 68), EPCRA Section 311 dan 312, dan OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). Meskipun EPA

RMP Rule tidak secara eksplisit mencakup bahaya reaktifitas kimia, namun sejumlah sifat reaktifitas seperti beracun atau mudah terbakar termasuk didalam peraturan ini.

3. Di Eropa, Seveso II Directive [96/082/EEC] menerapkan aturan pada fasilitas yang menangani bahan-bahan berbahaya dengan jumlah diatas ambang batas, termasuk bahan kimia yang dikategorikan bersifat reaktif. Disini diterapkan persyaratan program pencegahan yang hampir sama dengan standar OSHA PSM.

Namun regulasi yang dikeluarkan OSHA, Federal Amerika Serikat maupun Seveso II Directive tersebut diatas belum mengatur secara spesifik bahaya reaktifitas kimia. Maka untuk mencegah kecelakaan besar seperti kecelakaan Bhopal, *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE), pada tahun 1985 mengambil inisiatif untuk membentuk suatu badan yang disebut *Center for Chemical Process Safety* (CCPS). Badan ini bertugas mengembangkan sistem pengendalian bahaya kima termasuk bahaya reaktifitas kimia. CCPS telah mengembangkan beberapa *guidelines* untuk manajemen bahaya reaktifitas seperti *Guidelines for Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design* (1995), *Guidelines for Safety Storage and Handling of Reactive Materials* (1995), *Guideline for Safe Warehousing of Chemicals* (1988) dan *Guidelines for Process Safety in Batch Reaction System* (1999). *Guidelines* yang dikeluarkan oleh CCPS ini langsung diadopsi oleh berbagai perusahaan besar. Namun pada tahun 2002, berdasarkan investigasi dari *US Chemical and Hazards Safety Board* (CSB), ditemukan banyak sekali industri skala kecil-menengah yang memiliki keterbatasan sumber daya tidak mampu menerapkan *guidelines* ini.

Pada tahun 2003, CCPS mempublikasikan *guidelines* cara pelaksanaan manajemen bahaya reaktifitas kimia (*Essential Practice for Managing Chemical Reactivity Hazards*) yang lebih mudah dipahami (Berger, 2006). Dalam *guidelines* baru ini terdapat 12 elemen penting dari manajemen bahaya reaktifitas kimia. Keduabelas elemen tersebut sejalan dengan sistem manajemen yang sudah ada yaitu *Proses Safety Management Standard* (PSM) yang dikeluarkan oleh CCPS, OSHA dan Seveso II, namun masih terdapat beberapa elemen dari ketiga PSM tersebut yang belum masuk atau terakomodasi dalam sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia.

Demikian pula sebaliknya dimana sebagian elemen-elemen yang terdapat dalam PSM telah menerapkan prinsip-prinsip manajemen bahaya reaktifitas kimia.

## 1.2. Permasalahan

Dalam peraturan pemerintah Republik Indonesia nomor 74 tahun 2001 tentang pengelolaan bahan berbahaya dan beracun (B3) dinyatakan bahwa setiap orang yang melakukan kegiatan pengelolaan B3 wajib menjaga keselamatan dan kesehatan kerja (Bab V, Pasal 22, Ayat 1). Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat dengan B3 adalah bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (Bab I, Pasal 1, Ayat 1). Dalam PP ini cukup jelas dinyatakan bahwa perusahaan yang menggunakan B3 berkewajiban melakukan pengendalian bahaya yang dapat ditimbulkan oleh B3 tersebut. Bahaya reaktifitas kimia adalah merupakan bagian dari B3 sesuai dengan definisi diatas, namun demikian pengendalian bahaya reaktifitas kimia secara spesifik belum diatur oleh pemerintah, baik pada tingkat PP maupun pada tingkat keputusan menteri seperti sistem manajemen K3 (SMK3) yang dikeluarkan oleh DEPNAKER, juga tidak mengatur secara spesifik pengendalian bahaya reaktifitas kimia.

Sistem manajemen keselamatan yang banyak diterapkan oleh industri kimia hilir adalah SMK3 Permenaker dan OHSAS 18001, karena penerapan sistem ini, khususnya SMK3 Permenaker, sudah diharuskan oleh pemerintah. Namun kedua sistem manajemen keselamatan ini tidak mengatur secara spesifik pengendalian bahaya reaktifitas kimia, sehingga potensi terjadinya kecelakaan akibat bahaya reaktifitas kimia masih terbuka lebar dan tingkat risikonya tetap tinggi. Secara umum keterbatasan dari industri kimia hilir dalam menerapkan berbagai sistem manajemen adalah karena:

1. Keterbatasan sumberdaya manusia.
2. Keterbatasan dana.
3. Keterbatasan teknologi.
4. Keterbatasan infrastruktur penunjang.

Sementara sistem manajemen yang wajib diterapkan karena tuntutan pelanggan demi meningkatkan persaingan dipasar adalah sistem manajemen kualitas

(ISO 9000), dan bahkan ada pelanggan terutama diluar negeri yang mewajibkan pemasoknya untuk memiliki sertifikat OHSAS 18001 atau ISO 14000. Dengan segala keterbatasan perusahaan harus memenuhi tuntutan tersebut, sehingga sistem manajemen keselamatan yang sifatnya sukarela seperti halnya PSM atau Manajemen Reaktifitas Kimia tidak lagi menjadi prioritas dan bahkan tidak mungkin lagi diterapkan karena perusahaan sudah tidak mampu baik dari segi sumber daya maupun finansial.

Studi bahaya reaktifitas kimia yang selama ini banyak dilakukan adalah pada industri kimia hulu seperti industri *refinery*, petrokimia dan *oil&gas*, karena industri-industri tersebut memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dibandingkan industri kimia hilir. Industri kimia hulu pada umumnya berskala besar dan menggunakan serta menyimpan bahan kimia dalam jumlah yang besar, dan apabila terjadi kecelakaan dapat menyebabkan korban dan kerugian yang sangat besar. Sehingga sistem manajemen keselamatan dan teknologi keselamatan yang diterapkanpun jauh lebih baik dibanding industri kimia hilir.

Industri kimia hilir pada umumnya berskala kecil-menengah, teknologi yang digunakanpun masih banyak yang konvensional atau sederhana dan sumberdaya manusia yang terbatas terutama dari sisi pendidikan. Sebagian besar industri kimia hilir menggunakan sistem batch dan semi batch proses, dimana proses pembuatan produk dilakukan dalam vesel berskala kecil dan bahan baku dimasukkan secara manual kedalam vesel atau reaktor. Umumnya jumlah produk akhir atau produk antara sangat bervariasi, sementara vesel atau reaktor tempat pengolahan proses produksi sangat terbatas sehingga pergantian jenis produk dalam satu reaktor atau vesel sangat tinggi. Hal ini sangat memungkinkan terjadinya kesalahan dalam proses atau terjadinya kontaminasi produk yang satu dengan produk yang lain. Bahkan ada industri kimia hilir yang memiliki lebih dari seratus jenis produk yang berbeda dan hanya memiliki kurang dari 10 reaktor, sehingga siklus produksi menjadi sangat tinggi. Dengan banyaknya jenis produk yang dihasilkan maka secara otomatis jumlah bahan baku yang digunakan juga sangat banyak, sebagai contoh; industri cat memiliki jenis bahan kimia lebih dari 300 jenis dan industri kosmetik memiliki jenis bahan kimia lebih dari 150 jenis.

Dalam sistem batch proses, peranan pekerja dalam mengoperasikan proses produksi sangat dominan, apa lagi pada industri kimia yang masih menggunakan

teknologi konvensional. Mulai dari proses pengambilan bahan baku digudang, dilanjutkan dengan penimbangan, kemudian pengiriman kebagian produksi untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor atau vesel untuk proses produksi dilakukan secara manual oleh pekerja atau operator lapangan. Demikian pula halnya dengan pengaturan parameter proses seperti temperatur, tekanan, kecepatan pengadukan, lamanya waktu pengadukan, pengaturan kualitas pH, kekentalan, penambahan air dan seterusnya juga dilakukan oleh operator lapangan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa operator adalah bagian terintegrasi dari sistem kontrol untuk sistem batch proses. Bahkan operator atau pekerja lapangan juga harus membuat keputusan yang sangat penting dalam proses produksi. Dengan besarnya peran pekerja dalam sistem batch proses, maka perhatian terhadap kemampuan dan kinerja dari pekerja menjadi faktor yang sangat penting dalam menghindari dan mencegah terjadinya kesalahan yang dapat menimbulkan kecelakaan yang diakibatkan oleh bahaya reaktifitas kimia.

Rasmussen (1989) menemukan empat penyebab utama kecelakaan yang disebabkan oleh bahaya reaktifitas kimia berdasarkan hasil kajian pada 190 kecelakaan reaktifitas kimia, yaitu (1) pengotor, (2) kesalahan pencampuran, (3) kesalahan kondisi proses dan (4) ketidak sempurnaan pencampuran. Dan 57% kecelakaan tersebut terjadi pada sistem *batch reactor* dan 24% di gudang penyimpanan. Faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan tersebut adalah kurangnya pengetahuan pekerja (34%), kesalahan disain (32%), kesalahan prosedur (24%) dan kesalahan operator (16%). Hal ini menunjukkan bahwa peran pekerja dalam suatu kecelakaan sangat besar.

Dengan mengembangkan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang lebih menitik beratkan pada peran pekerja dalam sistem pengendalian, maka keempat faktor penyebab utama kecelakaan reaktifitas kimia tersebut di atas diharapkan dapat dihindari. Selama ini sebagian besar industri kimia terutama industri kimia hilir hanya fokus pada pengendalian lingkungan kerja dengan menerapkan berbagai sistem teknologi dan sistem manajemen untuk mengendalikan bahaya kimia. Pendapat bahwa dengan menerapkan sistem teknologi dan manajemen yang baik sudah cukup untuk mengendalikan bahaya kimia. Faktor manusia atau pekerja yang merupakan bagian penting dari keseluruhan sistem dalam suatu organisasi masih banyak dilupakan. Padahal menurut teori Henrich (1931), 88% kecelakaan disebabkan oleh

tindakan tidak aman dari manusia, sedangkan sisanya disebabkan oleh hal-hal lain yang tidak berkaitan dengan manusia. Maka pada studi ini juga akan dipelajari faktor manusia sebagai bagian yang sangat penting dalam membangun suatu sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia.

Sistem yang dikembangkan ini juga harus dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen kualitas (ISO 9000), keselamatan (SMK3 Permenaker atau OHSAS 18001) dan lingkungan (ISO14000), agar lebih mudah diterapkan dan tidak memberatkan bagi perusahaan baik dari sisi keuangan maupun sumber daya manusia.

Secara singkat dapat pula dijelaskan permasalahan penelitian ini dalam bentuk pertanyaan sebagai berikut:

1. Seberapa besar potensi bahaya dan risiko reaktifitas kimia pada industri kimia hilir?.
2. Seberapa besar peran faktor pekerja dalam sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir?.
3. Apakah sistem manajemen keselamatan standar seperti SMK3 dan OHSAS 18001 cukup efektif dalam mengendalikan bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir?.
4. Apakah sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas pada industri kimia hilir untuk mengendalikan bahaya reaktifitas kimia?.

Masalah bahaya reaktifitas kimia juga merupakan masalah keselamatan masyarakat yang cukup besar mengingat beberapa faktor berikut ini:

1. Kerugian dan korban yang ditimbulkan akibat kecelakaan bahaya reaktifitas kimia selalu besar dan sudah banyak terjadi bahkan di negara-negara maju.
2. Masih banyak industri kimia hilir yang berlokasi di dekat pemukiman penduduk yang berpotensi memperbesar jumlah kerugian dan korban jika terjadi kecelakaan.
3. Sebagian besar industri kimia hilir belum memahami metode pengendalian bahaya reaktifitas kimia.
4. Masih rendahnya tingkat kesadaran manajemen dan pekerja akan pentingnya sistem keselamatan kerja memperbesar potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia.

5. Adanya komitmen pemerintah dalam Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di tempat kerja yang tertuang dalam keputusan menteri tenaga kerja RI nomor: Kep. 187/Men/1999 dan Peraturan Pemerintah RI no. 74 tahun 2001 tentang pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Sementara belum ada standar nasional yang secara spesifik mengatur pengendalian bahaya reaktifitas kimia.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pengendalian terintegrasi bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir di Indonesia. Secara khusus studi ini dilakukan untuk:

1. Mengidentifikasi potensi bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
2. Mengetahui tingkat risiko dan dampak bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
3. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap potensi terjadinya kecelakaan akibat bahaya reaktifitas kimia dari aspek lingkungan kerja, manajemen dan pekerja pada industri kimia hilir.
4. Mengembangkan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas pada industri kimia hilir.
5. Memberikan rekomendasi metode penerapannya bagi upaya pengendalian bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir di Indonesia.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia industri kimia pada umumnya dan industri kimia hilir khususnya dalam mengendalikan bahaya reaktifitas kimia. Secara khusus studi ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan kesadaran manajemen dan pekerja akan tingginya risiko bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
2. Mendapatkan informasi mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.

3. Mendapatkan informasi tingkat risiko dan dampak bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
4. Mendapatkan informasi cara pengendalian dan pencegahan jika terjadi bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
5. Memberikan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen yang sudah ada pada industri kimia hilir.
6. Memberikan masukan pada pemerintah akan pentingnya sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia.

### **1.5. Lingkup Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada 3 perusahaan industri kimia hilir berbeda yang menggunakan bahan baku kimia dan proses kimia dan/atau fisika. Ruang lingkup penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang bersifat holistik dengan mensinergikan faktor lingkungan kerja, sistem manajemen dan pekerja, serta dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen lain (SMK3 Permenaker, OHSAS 18001, ISO 9000 dan ISO 14000).

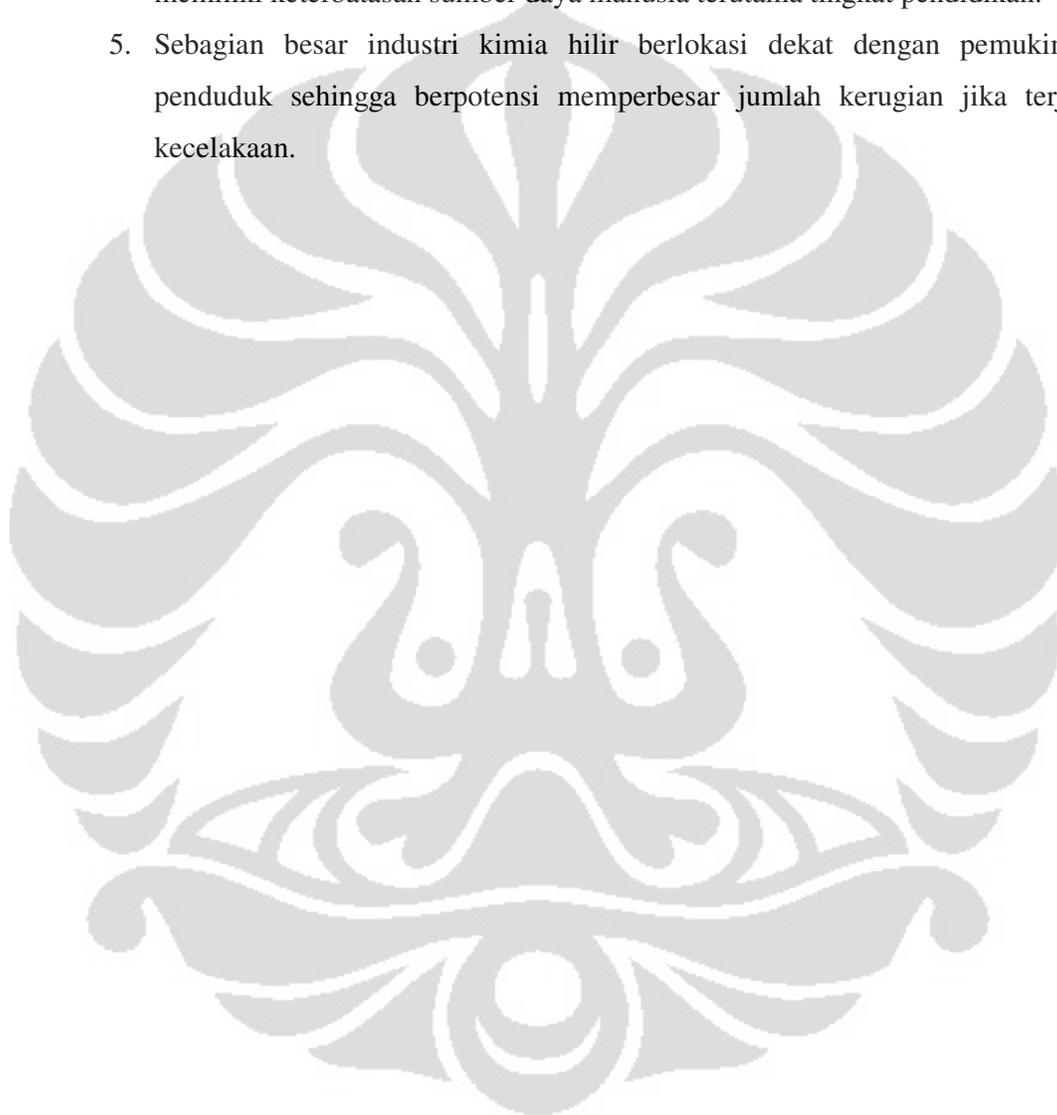
Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pendekatan pada perusahaan-perusahaan industri kimia hilir yang bersedia bekerjasama dalam penelitian ini.
2. Melakukan pengumpulan data primer dan sekunder untuk mendapatkan informasi mengenai sistem manajemen dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya kecelakaan akibat bahaya reaktifitas kimia dari aspek lingkungan kerja, manajemen dan pekerja.
3. Mengembangkan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas serta memberikan rekomendasi metode penerapan untuk meningkatkan pengendalian bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.

Pemilihan industri kimia hilir pada studi ini berdasarkan pada kondisi dan pemikiran bahwa:

1. Sebagian besar industri kimia hilir memiliki pemahaman bahwa bahaya reaktifitas kimia hanya ada pada industri kimia hulu.

2. Sebagian besar industri kimia hilir belum memiliki sistem manajemen yang baik dalam bidang keselamatan dan kesehatan kerja.
3. Sebagian besar industri kimia hilir menggunakan teknologi yang masih konvensional sehingga memiliki risiko bahaya reaktifitas yang lebih tinggi.
4. Pada umumnya industri kimia hilir berskala kecil-menengah sehingga memiliki keterbatasan sumber daya manusia terutama tingkat pendidikan.
5. Sebagian besar industri kimia hilir berlokasi dekat dengan pemukiman penduduk sehingga berpotensi memperbesar jumlah kerugian jika terjadi kecelakaan.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Bahaya Reaktifitas Kimia**

Bahaya reaktifitas kimia yang dimaksud dalam penelitian ini adalah situasi dimana potensi terjadinya reaksi kimia yang tidak terkontrol yang dapat mengakibatkan terjadinya kecelakaan, dan secara langsung atau tidak langsung menyebabkan kerugian pada pekerja, asset perusahaan dan lingkungan. Reaksi tidak terkontrol tersebut dapat disertai oleh naiknya temperatur dan tekanan, pelepasan gas atau energi. Bahaya reaktifitas bahan kimia analog dengan bahaya bahan kimia lainnya seperti beracun, mudah terbakar, mudah meledak dan sebagainya (Johnson et al., 2003). Bahaya reaktifitas kimia adalah suatu konsep yang kompleks, sampai saat ini belum ada satupun parameter tunggal yang dikembangkan yang secara lengkap dapat mengkarakterisasi semua aspek reaktifitas kimia (Daniel and Crowl, 2004).

Potensi terjadinya reaksi tidak terkontrol dapat terjadi dalam banyak bentuk yang melibatkan satu atau lebih sifat dari bahan kimia tersebut dan kondisi dimana bahan kimia tersebut diproses atau digunakan. Hal ini dapat dilihat dari kesimpulan yang diambil oleh *U.S. Chemical Safety and Hazards Investigation Board* dari hasil investigasi bahaya reaktifitas bahan kimia yang menyatakan bahwa pendekatan regulasi yang menggunakan daftar bahan kimia untuk bahaya reaktifitas adalah kurang tepat. Sehingga perlu adanya perbaikan terhadap manajemen bahaya reaktifitas bahan kimia dimana tidak hanya mengacu pada daftar bahan kimia sesuai dengan regulasi yang ada akan tetapi juga melihat pada bahaya dari kombinasi bahan-bahan kimia dan kondisi proses pada industri.

Ada tiga parameter yang dijadikan sebagai acuan untuk mendisain proses kimia yang aman (AIChE, 1995):

1. Energi potensial dari bahan kimia yang digunakan.
2. Laju potensial reaksi dan / atau dekomposisi.
3. Peralatan produksi dan proses.

Faktor pertama yang dipertimbangkan untuk mendisain proses kimia yang aman adalah energi yang terlibat dalam proses reaksi kimia tersebut. Ada dua jenis energi

yang harus diperhatikan yaitu eksotermik and endotermik. Kedua jenis energi ini dapat diperoleh dari literatur, perhitungan termodinamika atau pengukuran dengan peralatan/instrumen di laboratorium. Faktor kedua adalah laju reaksi dari suatu reaksi kimia, dimana laju reaksi tersebut tergantung pada temperatur, tekanan dan konsentrasi. Laju reaksi baik dalam kondisi normal maupun abnormal harus ditentukan atau diperhitungkan untuk mendisain suatu proses kimia yang lebih aman. Faktor ketiga adalah disain proses dan peralatan produksi yang dapat mengakomodasi dan mengantisipasi faktor pertama dan kedua diatas seperti pemindahan panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermik.

Ketiga parameter diatas saling berinteraksi satu sama lain, sebagai contoh; sejumlah energi potensial yang besar bisa dipindahkan dalam proses yang normal jika laju pelepasan energi relatif kecil dan dikontrol dengan kapasitas pendingin yang mencukupi. Untuk mengetahui apakah kapasitas pendingin mencukupi untuk memindahkan pelepasan energi, pendekatan dengan studi bahaya reaktifitas kimia dapat dilakukan. Dalam banyak kasus, pendekatan yang dilakukan adalah pendekatan teoritis seperti studi literatur, database dan program software. Meskipun pendekatan teoritis ini tidaklah sepenuhnya memadai untuk merancang proses kimia. Dalam tahapan tertentu diperlukan eksperimen dan pengukuran tergantung dari reaktifitas kimia yang terkait untuk mendapatkan disain proses yang lebih sempurna.

Adapun parameter yang kritikal dari suatu reaksi kimia, akan berbeda bergantung pada kondisi proses/reaksi. Sebagai contoh, pada kasus penyimpanan bahan kimia, parameter yang perlu di kontrol adalah temperatur luar dan pemisahan bahan kimia yang tidak kompatibel untuk mencegah terjadinya reaksi yang tidak diinginkan. Untuk area produksi yang melakukan pencampuran kimia dengan tujuan tertentu (*intentional chemical reaction*), parameter kontrol yang utama adalah laju penambahan reaktan dan temperatur dari reaktor.

Berdasarkan CCPS, untuk melakukan kontrol bahaya reaktifitas yang berkaitan dengan pelepasan produk atau energi, yang perlu diperhatikan adalah:

### **1. Kondisi awal reaksi**

Kondisi awal reaksi memperhitungkan jenis dan banyaknya reaktan dalam proses yang ada, jumlah dan konsentrasi reaktan ( $C_{\text{reaktan}}$ ) yang digunakan, energi aktivasi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi ( $E_a$  atau energi aktivasi Arrhenius diberikan dalam  $J/mol$ ) dan tekanan dari inert gas

(seperti  $N_2$ ) yang digunakan untuk menjamin bahwa reaktor bebas dari oksigen ( $O_2$ ).

## 2. Jalur reaksi.

Dengan mengikuti jalur reaksi dan pengambilan sampel selama terjadinya reaksi (sampling) dapat dipastikan bahwa telah dihasilkan produk yang diinginkan atau produk yang tidak diinginkan atau bahkan produk samping yang berbahaya. Proses kimia yang dapat terjadi pada tahap ini beragam, misalnya reaksi desalinasi, desulfirisasi, alkilasi, isomerisasi, polimerisasi, hidrogenasi dan sebagainya. Jalur reaksi yang paling mungkin secara termodinamika adalah jalur reaksi dengan nilai energi bebas Gibbs ( $G$ ) yang terendah. Kondisi awal reaksi seperti konsentrasi reaktan ( $C_{\text{reaktan}}$ ) dan tekanan dalam reaktor ( $P_{\text{reaktor}}$ ) juga mempengaruhi jalur reaksi. Jalur reaksi juga bisa diprediksi dengan menggunakan *analytical tools* yang ada seperti ASTM CHETAH program (Balaraju et al. 2002).

## 3. Termodinamika reaksi.

Dalam hal ini diperhitungkan jumlah panas yang dilepaskan saat terjadi reaksi (energi reaksi total) dan produk yang dihasilkan yang bersifat stabil. Energi reaksi dapat berupa energi polimerisasi atau energi dekomposisi atau energi lain bergantung pada jenis reaksinya ( $\Delta H$ ).

## 4. Kinetika reaksi.

Dalam hal ini diperhitungkan laju reaksi, yang berkaitan dengan laju pelepasan panas dan terbentuknya produk. Laju reaksi dari suatu reaksi kimia bergantung pada beberapa parameter seperti temperatur ( $T$ ), tekanan ( $P$ ) dan konsentrasi ( $C_{\text{reaktan}}$ ). Laju reaksi harus diperhitungkan baik dalam kondisi normal maupun abnormal.

Selain melakukan kontrol terhadap pelepasan produk dan/atau energi, dilakukan kontrol terhadap interaksi antara produk dan/atau energi yang dihasilkan oleh proses/reaksi dengan lingkungan, dimana perlu dilakukan kontrol terhadap :

### a. Kondisi lingkungan

Kondisi lingkungan termasuk penyimpanan, penanganan dan pengemasan, misalnya gudang atau tangki penyimpanan bahan kimia dimana tidak ada

proses pencampuran atau reaksi kimia yang dilakukan (Johnson et al., 2003).

**b. Peralatan proses produksi dan sistem kontrol yang digunakan**

Seperti yang telah dijelaskan dalam termodinamika reaksi, sejumlah panas yang dilepaskan saat terjadi reaksi atau disebut dengan energi reaksi total. Dalam hal ini, besarnya energi yang dihasilkan dalam suatu reaksi, apakah itu pada kondisi normal maupun abnormal harus diperhitungkan pada saat mendisain proses dan peralatan produksi. Sehingga peralatan produksi yang ada dapat mengakomodasi besarnya energi yang dilepaskan seperti melalui pemindahan panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermik dan juga mengantisipasi kenaikan tekanan yang disebabkan oleh penguapan dari campuran yang ada didalam reaktor.

**c. Transfer panas dan massa**

Hubungan antara peralatan proses dengan kontrol energi juga produk yang dihasilkan dalam suatu reaksi kimia menentukan dimana panas dan massa akan berada. Persamaan Arrhenius menunjukkan bahwa laju reaksi pembentukan panas yang diikuti dengan kenaikan temperatur yang eksponensial akan tetap berlangsung selama masih ada reaktan. Pada sistem reaksi eksotermik yang terkontrol dengan baik terdapat pemindahan panas yang baik ke lingkungan disekitarnya, apakah melalui dinding reaktor atau melalui cooling coil atau sistem pendingin lain yang menggunakan air pendingin ataupun bahan kimia lainnya. Namun demikian, perlu juga diperhatikan bahwa pemindahan panas hanya dapat terjadi jika terdapat perbedaan panas yang linear antara sistem dengan pendingin. Sehingga sangat perlu diperhatikan kapasitas pemindahan panas yang dimiliki oleh sistem pendingin yang digunakan yang disesuaikan dengan energi reaksi total yang dihasilkan selama berlangsungnya reaksi, baik yang diinginkan maupun yang tidak diinginkan.

Ada tiga situasi yang melibatkan bahaya reaktifitas bahan kimia yaitu (Johnson et al., 2003):

1. Penyimpanan, penanganan dan pengemasan (misalnya gudang atau tangki penyimpanan bahan kimia dimana tidak ada proses pencampuran atau reaksi kimia yang dilakukan).
2. Pencampuran dan proses fisika (misalnya pencampuran, pengenceran, blending, pengeringan, distilasi, absorpsi, filtrasi, crushing, atau pemanasan dimana tidak dilakukan reaksi kimia).
3. Proses reaksi kimia (misalnya reaksi desalinasi, desulfirisasi, alkilasi, isomerisasi, polimerisasi, hidrogenasi dan sebagainya)

## **2.2. Dampak Reaksi Kimia Tidak Terkontrol**

Reaksi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan terjadinya bahaya reaktifitas kimia. Sebagai dampak dari reaksi kimia yang tidak terkontrol adalah pelepasan energi, panas dan gas dalam jumlah besar, yang selanjutnya dapat memicu terjadinya ledakan, kebakaran dan pelepasan gas beracun (Joseph, 2003).

Bahaya reaktifitas muncul karena adanya kecenderungan bahan kimia untuk bereaksi atau mengalami dekomposisi. Ada empat jalur potensi bahaya reaktifitas yang dapat terjadi seperti terlihat pada Gambar 2.1, yaitu (Carson, 2002):

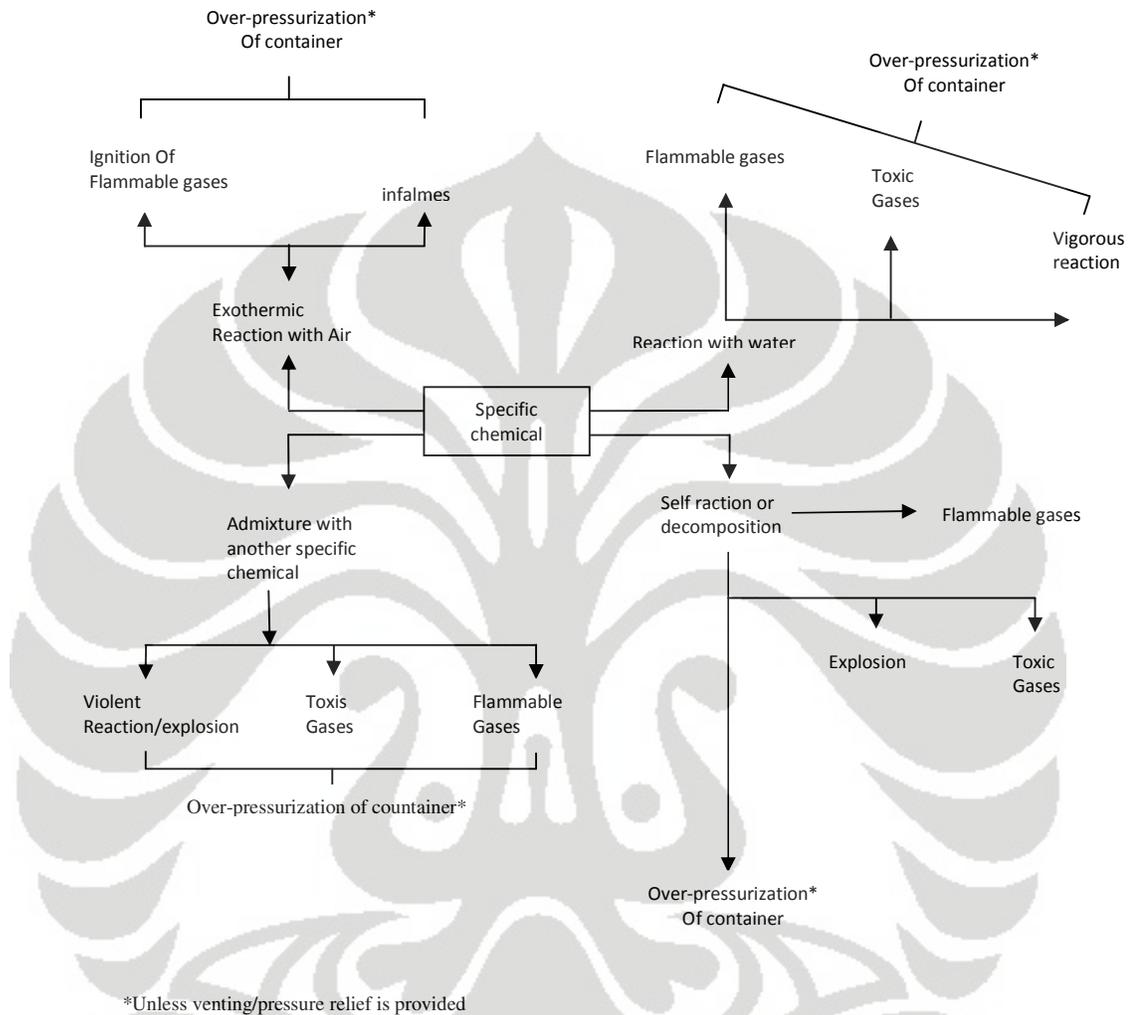
1. Reaksi eksotermik dengan udara.
2. Reaksi dengan air.
3. Bercampur dengan bahan kimia lain.
4. Bereaksi sendiri atau mengalami dekomposisi.

Dampak bahaya yang dapat ditimbulkan oleh keempat jalur reaksi tersebut diatas adalah ledakan, pelepasan gas mudah terbakar dan pelepasan gas beracun. Sebagai contoh adalah senyawa-senyawa hidrida yang bereaksi dengan air atau udara kemudian memicu terjadinya ledakan dan kebakaran (lihat tabel 2).

### **2.2.1. Ledakan dan Kebakaran**

Dalam sistem manajemen keselamatan, pencegahan kebakaran dan ledakan serta upaya mitigasi untuk mengurangi dampak kebakaran dan ledakan mendapat perhatian yang sangat besar. Dalam banyak kasus rangkaian kejadian bermula dari semburan bahan yang bersifat mudah terbakar atau meledak, kemudian diikuti dengan pembentukan dan penyalaan awan mudah terbakar yang menghasilkan ledakan dan kebakaran. Memahami proses rangkaian kejadian kecelakaan seperti halnya

kebakaran dan ledakan merupakan hal yang sangat penting untuk dapat merancang sistem keselamatan (Eckhoff, 2005).



Gambar 2.1 . Potensi Bahaya Reaktifitas Kimia

Sumber : Carson, 2002

Ledakan adalah suatu proses pelepasan sejumlah besar energi secara tiba-tiba sehingga menghasilkan kebisingan (noise) dan gelombang tekanan. Energi yang dilepaskan dapat berupa energi kimia atau mekanik (Eckhoff, 2005) . Pada proses reaksi kimia yang bersifat eksotermik (Gambar 2.2), pelepasan energi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan (Johnson, 2006) :

- Gelombang ledakan
- Evaporasi dari fasa cair
- Kenaikan temperatur

- Kenaikan laju reaksi
- Menginisiasi reaksi lain
- Melebihi batas ketahanan panas dari bahan
- Tekanan yang memicu kearah ledakan

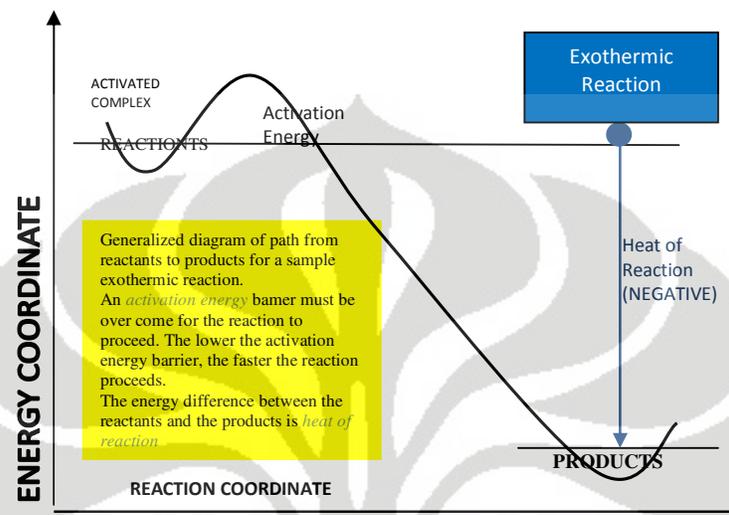
Tabel 2.1. Konsekuensi Dari Reaksi Berbagai Jenis Senyawa Hidrida Dengan Air dan Udara.

Substances	Reaction (Ambient Temperature)	
	Humid Air	Water
Aluminium borohydride (Al(BH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )	Explosive	Explosive
Aluminium hydride (AlH <sub>3</sub> )	Slow	Moderate
Antimony hydride (stibine) (sbH <sub>3</sub> )	Rapid	Very slow
Arsenic hydride (arsine) (AsH <sub>3</sub> )	Moderate	Very slow
Barium hydride (BaH <sub>2</sub> )	Rapid	Rapid
Beryllium borohydride (Be(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Explosive	Explosive
Beryllium hydride (BaH <sub>2</sub> )	Slow	Slow
Calcium hydride (CaH <sub>2</sub> )	Moderately fast	Rapid
Cesium hydride (CsH <sub>3</sub> )	Pyrophoric	Slow
Caesium hydride (CsH)	Ignites	Violent
Copper hydride (CuH)	Rapid	Slow
Diborane (B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Explosive	Moderate
Lead hydride (PbH <sub>4</sub> )	Instant (unstable gas)	-
Lithium Aluminium hydride (LiAlH <sub>4</sub> )	Rapid	Violent
Lithium borohydride (LiBH <sub>4</sub> )	Rapid	Vigorous
Lithium hydride (LiH)	Can ignite	Rapid
Magnesium Aluminium hydride (Mg(AlH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Vigorous	Vigorous
Magnesium borohydride (Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	Very slow	Violent
Magnesium hydride (MgH <sub>2</sub> )	Know to ignite	Rapid
Pentaborane (B <sub>5</sub> H <sub>9</sub> )	Ignites	Rapid
Phosphorus hydride (Phosphine)(PH <sub>3</sub> )	Pyrophoric	Very slow
Potassium borohydride (KBH <sub>3</sub> )	Very slow	Very slow
Potassium hydride (KH <sub>3</sub> )	Ignites	Vigorous
Rubidium hydride (RBH <sub>3</sub> )	Ignites	Violent
Silicon hydride (silane)(SiH <sub>3</sub> )	Explosive	Rapid
Sodium Aluminium hydride (NaAlH <sub>4</sub> )	Rapid	Ignites, may explode
Sodium borohydride (NaBH <sub>4</sub> )	Slow	Slow
Sodium hydride (NaH)	Ignites	Violent
Uranium hydride (UH <sub>3</sub> )	Pyrophoric	Moderate

Sumber: Carson, 2002

Pelepasan energi secara tidak terkontrol tersebut dapat terjadi apabila energi yang dihasilkan atau dilepaskan dari suatu proses reaksi kimia eksotermik tidak dapat diserap oleh lingkungan, misalnya tidak optimalnya sistem pendingin dari suatu reaktor polimerisasi. Pada suatu proses reaksi eksotermis yang normal dan terkontrol, energi yang dilepaskan dapat diserap oleh lingkungan seperti sistem pendingin pada dinding reaktor. Berdasarkan persamaan Arrhenius, laju panas yang dihasilkan naik secara eksponensial dengan kenaikan temperatur selama reaktan masih tersedia. Sementara proses laju pemindahan panas bersifat linier terhadap kenaikan pemindahan panas pada permukaan dengan perbedaan temperatur antara pendingin

dan sistem (Gambar 2.3a). Selama kapasitas sistem pendingin (pemindah panas) dapat mengimbangi kenaikan laju pelepasan panas oleh sistem, maka pelepasan energi tidak terkontrol (ledakan) tidak akan terjadi.



Gambar 2.2. Kurva Reaksi Kimia Eksotermik.

Sumber : Johnson, 2006

$$\text{Persamaan Arrhenius: } k = Z \exp(-E/RT) \quad (2.1)$$

Dimana  $k$  = Konstanta laju reaksi spesifik

$Z$  = Faktor eksponensial

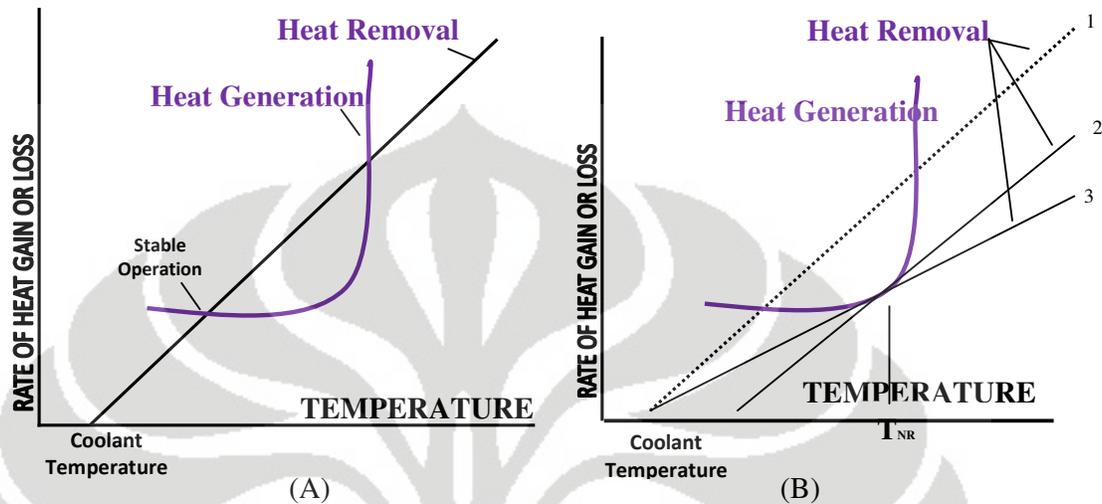
$E$  = Energi Aktivasi

$R$  = Konstanta Gas Ideal (8.31 J/mol.K)

$T$  = Temperatur (K)

Jika terjadi masalah pada sistem pendingin (pemindah panas) misalnya temperatur pendingin naik atau koefisien pemindah panas turun sampai pada titik yang disebut  $T_{NR}$  [(*temperature no return*), yaitu temperatur dimana pelepasan panas yang dihasilkan dari sistem tidak dapat dikontrol atau diabsorb lagi oleh lingkungan (Gambar 2.3b)] maka kestabilan reaksi tidak bisa lagi dipertahankan. Reaksi kimia menjadi tidak terkontrol dan berujung pada pelepasan energi yang sangat besar dan

cepat yang kemudian menyebabkan suatu ledakan (Johnson, 2006). Apabila sistem tersebut memiliki bahan kimia yang bersifat mudah terbakar, maka ledakan akan disertai oleh kebakaran.



Gambar 2.3 . Kurva Hubungan Pelepasan Panas dan Penyerapan Panas Pada Proses Reaksi Eksotermik Dengan Sistem Pendingin.

Sumber : Johnson, 2006

### 2.2.2. Pelepasan Gas Beracun

Seperti yang terdapat pada diagram potensi bahaya reaktifitas kimia (Gambar 2.1), hampir semua proses reaksi kimia dapat menghasilkan pelepasan gas, baik yang mudah terbakar atau beracun. Pelepasan gas beracun dapat terjadi pada proses reaksi bahan kimia tertentu dengan air, reaksi yang diakibatkan bercampurnya bahan kimia tertentu dan reaksi polimerisasi atau dekomposisi. Tabel 2.2 memberikan beberapa contoh bahan kimia yang apabila bercampur akan menghasilkan bahan kimia lain yang bersifat beracun (Carson, 2002). Sebagai contoh kasus pelepasan gas beracun adalah tragedi atau kecelakaan yang terjadi di Bhopal India pada tahun 1984.

Terdapat dua teori yang menjelaskan tragedi Bhopal yaitu terjadinya kontaminasi terhadap *methyl isocyanate* (MIC) oleh air didalam tangki penyimpan yang berkapasitas 15000 gal (56,5 m<sup>3</sup>) dan terjadinya reaksi eksotermik tidak terkontrol yang menyebabkan kenaikan temperatur sistem sampai diatas titik didihnya. Hal tersebut menyebabkan pelepasan sekitar 40 metrik ton uap MIC yang

sangat beracun. Kejadian ini menewaskan 4000 orang yang berada di lingkungan pabrik Union Carbide di Bhopal India (Johnson, 2006).

Tabel 2.2. Contoh Bahan Kimia Pada Kolom 1 yang Apabila Bercampur Dengan Bahan Kimia Kolom 2 akan Melepaskan Bahan Kimia Beracun (Kolom 3).

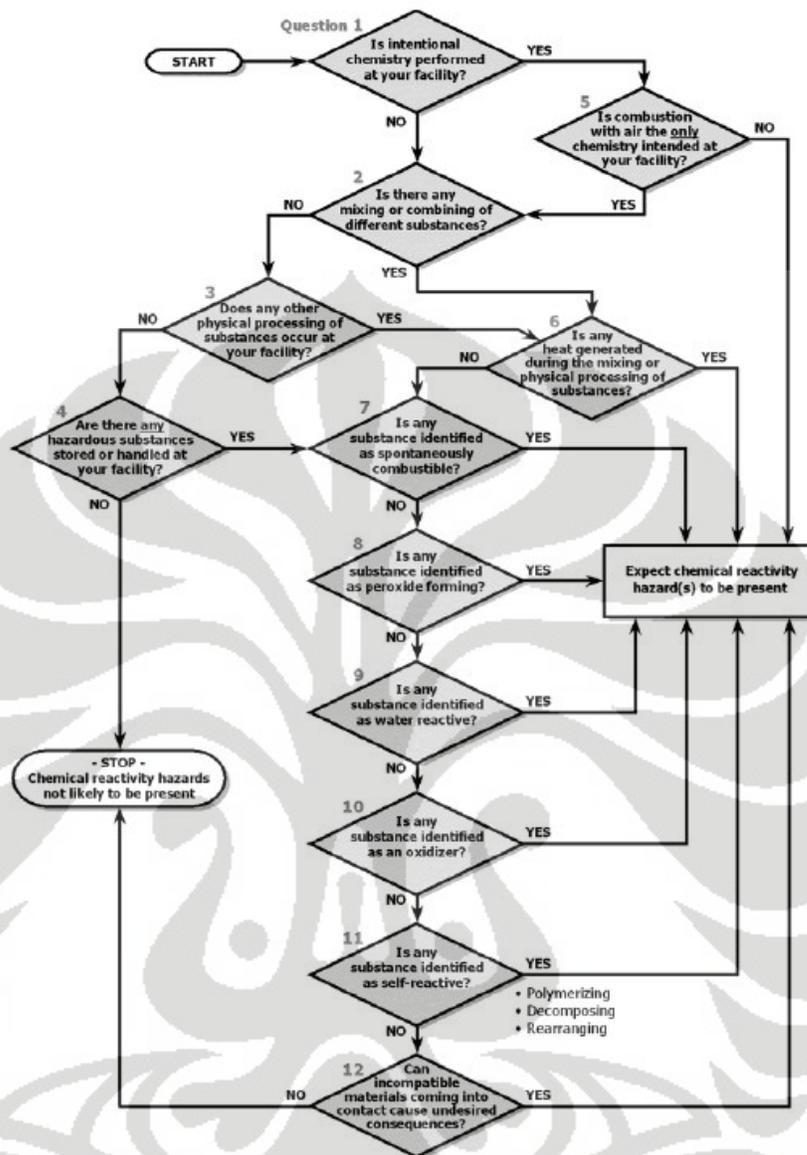
Column 1	Column 2	Column 3
Arsenical materials	Any Reducing Agent	Arsine
Azides	Acids	Hydrogen azide
Cyanides	Acids	Hydrogen cyanide
Hypochlorites	Acids	Chlorine or hypochlorous acid
Nitrates	Acids	Nitrogen Dioxide
Nitric acid	Copper, Brass, Any heavy Metals	Nitrogen Dioxide (nitrous fumes)
Nitrites	Acids	Nitrous fumes
Phosphorus	Caustic alkalis or Reducing agent	Phosphine
Selenides	Reducing agent	Hydrogen selenide
Sulphides	Acids	Hydrogen Sulphide
Tellurides	Reducing agent	Hydrogen Telluride

Sumber: Carson, 2002

### 2.3. Metode Skrening Awal Bahaya Reaktifitas Kimia

Langkah pertama untuk mengetahui apakah pada suatu industri terdapat bahaya reaktifitas bahan kimia atau tidak adalah dengan melakukan skrening awal (*preliminary screening*) dengan mengajukan 12 pertanyaan seperti terlihat pada flow chart Gambar 2.4 (EPA 550-F-04-004, May 2004). *Preliminary screening* merupakan metode cepat dalam mengidentifikasi ada tidaknya bahaya reaktifitas dalam proses tertentu.

Terdapat dua belas pertanyaan yang harus di jawab secara komprehensif yang melibatkan beberapa departmen (produksi, laboratorium, enjinereng, penyimpanan, dan sebagainya) untuk dapat memutuskan ada tidaknya bahaya reaktifitas pada proses tersebut. Jika terdapat bahaya kimia reaktifitas pada proses tertentu maka perlu dilanjutkan dengan kajian bahaya reaktifitas dan cara penanganan bahaya reaktifitas tersebut. Dua belas pertanyaan yang harus dijawab adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4. Flowchart Priliminary Screening Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia.

Sumber : EPA 550-F-04-004, May 2004

1. Apakah ada proses reaksi kimia yang dilakukan pada proses tersebut?  
(*Catalytic cracking, Electrochemistry, Polimerisasi, dst*)
2. Apakah ada proses pencampuran dari bahan kimia yang berbeda?  
(*Blending, Pengenceran pelarut, dst*)
3. Apakah ada proses fisika lain yang dilakukan?  
(*Distilasi, pengeringan, penyaringan, penggerusan, dst*)
4. Apakah ada bahan berbahaya yang disimpan atau digunakan?

(mudah terbakar, korosive, beracun, dst)

5. Apakah hanya proses pembakaran dengan udara yang dilakukan?
6. (*Boiler, flare, burner*, dst) Apakah ada panas yang dihasilkan dari proses pencampuran atau proses fisika yang dilakukan?
7. Apakah ada bahan kimia yang bersifat terbakar secara spontan apabila kontak dengan udara?
8. Apakah ada bahan kimia pembentuk peroksida?
9. Apakah ada bahan kimia yang bersifat reaktif terhadap air?
10. Apakah ada bahan kimia yang bersifat pengoksidasi?
11. Apakah ada bahan kimia yang bersifat *self-reactive*?
12. Dapatkah bahan kimia yang tidak kompatibel saling kontak satu sama lain?

#### 2.4. Metode Kajian Bahaya Reaktifitas Kimia

Berbagai teknik kajian bahaya reaktifitas telah dilakukan oleh banyak peneliti. Sebagian besar kajian bahaya reaktifitas difokuskan pada metode identifikasi bahaya reaktifitas kimia pada suatu proses industri, baik pada proses yang sudah berjalan maupun pada proses yang masih dalam tahap pengembangan. Kajian juga dilakukan pada berbagai teknik pengukuran reaktifitas bahan kimia dalam skala laboratorium dengan melakukan pengukuran terhadap energi reaksi dan hasil reaksi dari suatu bahan kimia atau campuran bahan kimia. Teknik lain yang dilakukan adalah evaluasi bahaya kimia secara teoritis, metode yang digunakan diantaranya adalah *oxygen-balance method*, ASTM CHETAH (software), *Calculated Adiabatic Reaction Temperature (CART)* dan *Quantitative Structure-Property Relationship (QSPR)* (Saraf et al., 2003). Metode semi komputerisasi diperlukan untuk evaluasi bahaya reaktifitas secara efisien, meskipun pada metode ini hanya membuat hubungan antara  $T_{onset}$  dan Energi reaksi dengan deskripsi molekul. Metode yang sama dapat diaplikasikan untuk mengembangkan hubungan parameter eksperimen seperti *self-accelerating decomposition temperature (SADT)*, *time to maximum rate (TMR)*, dan *kinetic rate constants*. Beberapa peneliti juga melakukan kajian terhadap kecelakaan akibat bahaya reaktifitas kimia yang pernah terjadi dan mempelajari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kecelakaan tersebut dan mengembangkan metode pengendaliannya.

Perkembangan kajian bahaya reaktifitas kimia cukup pesat, hal ini dapat dilihat dengan banyaknya tersedia informasi dan alat bantu yang dapat digunakan untuk melakukan kajian bahaya reaktifitas kimia, misalnya NOAA workheet software untuk melakukan kajian ketidakcocokan bahan kimia, ASTM CHETAH software untuk memprediksi energi yang dihasilkan dari suatu reaksi bahan kimia, Bretherick handbook database, US CHRIS database, dan masih banyak lagi software atau *guideline* yang dapat digunakan untuk melakukan kajian bahaya reaktifitas kimia.

Kajian bahaya reaktifitas kimia diawali dengan mengumpulkan data sifat kimia dan fisika dari bahan-bahan kimia yang digunakan di laboratorium, juga perlu dipelajari fungsi dari setiap bahan kimia dalam suatu proses, apakah sebagai pelarut, pereaksi, katalis, dan sebagainya. Kemudian jenis reaksi yang terjadi apakah eksotermik atau endotermik, kecepatan, tekanan dan temperatur reaksi. Data yang diperoleh ditransformasikan ke dalam bentuk potensi bahaya yang dapat terjadi; keracunan, daya nyala, ledakan, reaktifitas dan kondisi reaksi (Legget, 2004). Beberapa contoh penelitian bahaya reaktifitas kimia yang pernah dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut:

#### **a. Studi *Chemical Incompatibilities***

Winder Dan Zare (2000), melakukan studi *chemicals incompatibilities* dengan menggunakan tiga acuan kelompok bahaya kimia, yaitu; *UN Dangerous Goods System* (14 kategori), *US CHRIS System* (24 kategori) dan *Environmental Risk System* (25 kategori). Ketiga kelompok tersebut memiliki filosofi yang berbeda. Metode yang digunakan dalam studi ini sangatlah sederhana, tahap pertama menggabungkan UN DG dengan US CHRIS untuk mendapatkan sistem penggabungan ketidakcocokan bahan kimia berdasarkan sifat bahaya fisika dan reaktifitas kimia. Tahap kedua menggabungkan sistem baru tersebut dengan *hazardous waste incompatibility system of Hatayama et al.* untuk mendapatkan sistem yang lebih comprehensive. Sistem ketiga mempertimbangkan sifat-sifat lingkungan sehingga diperoleh tabel ketidakcocokan bahan kimia yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan bahaya fisika, kimia, reaktifitas kimia dan lingkungan.

#### **b. Kajian Risiko Pengiriman dan Penerimaan Bahan Kimia Berbahaya**

Theodore et al., (2007), melakukan kajian kualitatif terhadap risiko bahan baku berbahaya yang dikirim dan diterima menggunakan mobil tangki. Metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi jenis bahan baku yang datang termasuk jenis tangki, ukuran dan jumlah untuk setiap mobil tangki yang datang.
2. Untuk setiap jenis material berbahaya dilakukan kajian dengan langkah-langkah sebagai berikut:
  - Menentukan jenis bahaya dan tingkat kritisnya.
  - Membuat rata-rata jumlah material yang datang setiap bulan.
  - Menghitung probabilitas tumpahan skala besar.
  - Memperkirakan radius dampak dari skenario terburuk.

Kajian dilakukan pada beberapa jenis bahan baku yaitu: vinyl chloride, propylene, sodium hydroxide, monoethylene glycol, hexene dan hexane. Dari studi diperoleh data seperti nama bahan baku, jenis tangki, muatan, jenis bahaya dan bahaya kritis, nilai probabilitas risiko dan frekuensi tahunan serta radius dampak skenario terburuk. Kajian ini difokuskan pada kemungkinan pelepasan bahan kimia berbahaya dalam jumlah besar, dalam suatu proses pengiriman dan penerimaan bahan kimia berbahaya menggunakan truk tangki. Juga dilakukan perhitungan probabilitas frekuensi tahunan kemungkinan terjadinya pelepasan bahan kimia berbahaya dalam proses tersebut.

### **c. Studi Identifikasi Bahaya Proses Kimia**

Rasmussen (1989) melakukan studi identifikasi bahaya proses kimia pada 190 kasus kecelakaan reaksi kimia yang tidak diinginkan. Kajian dilakukan dalam 3 tahap:

1. Mengumpulkan informasi bahan-bahan kimia, sifat kimia dan fisik, sistem proses, kondisi proses dan tempat kejadian.
2. Kajian dan investigasi terhadap penyebab dan konsekuensi
3. Kajian terhadap metode risk assessment seperti HAZOP, *Action Error Analysis* dan pengujian di laboratorium seperti DSC dalam mengidentifikasi bahaya reaksi kimia yang tidak diinginkan.

Dari hasil studi ini ditemukan:

- 57% kejadian pada sistem batch reactor.

- 24% kasus terjadi pada tahap penyimpanan bahan baku.
- Efek terhadap manusia dari kasus ini mulai dari cedera ringan sampai berat.
- Ditemukan penyebab terjadinya reaksi yang tidak diinginkan : pengotor (20%), kesalahan pencampuran (19%), kesalahan kondisi proses (19%) dan ketidaksempurnaan pencampuran (13%)

Dari hasil investigasi reaksi kimia yang tidak diinginkan ditemukan bahwa:

- Risiko reaksi kimia yang tidak diinginkan dapat terlihat jelas dari hasil metode kajian risiko (HAZOP) dan hasil pengujian lab.
- Penyimpanan bahan kimia berbahaya lebih rentan terhadap reaksi kimia tidak diinginkan.
- Perlu dikembangkan metode baru dalam manajemen sistem.
- Perlu dikembangkan metode identifikasi terhadap kontaminasi pada produk.

#### **d. Studi Pengembangan Sistem Penyimpanan Bahan Kimia**

Moder et al. (2007) melakukan studi untuk mengembangkan *guidance* untuk penyimpanan bahan-bahan yang tidak kompatibel dengan tujuan melakukan kajian terhadap strategi dan lokasi penyimpanan dan menentukan serta mengembangkan strategi baru yang didasarkan pada bahaya kompatibilitas bahan kimia (*material compatibility*) untuk penyimpanan bahan berbahaya di gudang. Ada 4 tahapan pekerjaan yang dilakukan dalam mengembangkan *guidance* dan *tool* baru ini:

1. Menganalisa strategi penyimpanan yang ada.
2. Menentukan usulan strategi baru berdasarkan matrik kompatibilitas bahan berbahaya.
3. Mengacu pada tabel contoh skala kecil
4. Menuntaskan strategi baru berdasarkan literatur, data lab, rekayasa dan kontrol administrasi.

Acuan yang digunakan dalam studi ini adalah guideline dari CCPS "*Essential Practices for Managing Chemical Reactivity Hazards*". Dari hasil studi ini diperoleh strategi baru dalam penyimpanan bahan berbahaya yang tidak kompatibel yaitu; isolasi, pengasingan, pemisahan dan persyaratan pemisahan. Dan diperoleh juga 6 langkah baru dalam proses penyimpanan, yaitu:

1. Identifikasi nama bahan dan jumlah.
2. Menentukan kategori penyimpanan bahan berbahaya.
3. Menggunakan *compatibility chart* untuk mengidentifikasi 1 dari 4 tempat penyimpanan yang di rekomendasikan.
4. Cek *guideline* dari “*small quantities*”
5. Menentukan strategi penyimpanan.
6. Membuat matrik kompatibilitas bahan berbahaya.

Berdasarkan umpan balik dari gudang penyimpanan terlihat bahwa strategi baru ini telah menunjukkan indikasi pengurangan risiko dari bahan berbahaya.

#### **e. Kajian Rute Proses Kimia**

Srinivasan dan Nhan (2007) melakukan studi jalur proses yang lebih aman dalam pembuatan Acetic Acid dan Methacrylate. Pada studi ini dilakukan pendekatan statistik untuk mengevaluasi jalur proses kimia. Tujuannya adalah untuk (1) Mencari jalur proses yang lebih aman (*inherently safer*) (2) Melihat persamaan dan perbedaan antara jalur proses yang sedang digunakan dengan jalur baru yang diusulkan. Metode statistik yang di gunakan adalah pendekatan multivarian untuk mendapatkan *Inherent benign-ness indicator* (IBI). IBI ini digunakan untuk membandingkan aspek-aspek SHE untuk setiap rute proses melalui bahan baku, reaksi dan parameter proses. Ada 15 faktor yang berhubungan dengan SHE digunakan pendekatan statistik dalam studi ini yaitu; *Toxicity, Reactivity, Explosiveness, Flammability, Heat of Reaction, Pressure, Process yield, Temperature*, HTPI dan TTP, HTPE, ATP, GWP, ODP, PCOP dan AP. Dari 15 faktor tersebut dikelompok menjadi dua kategori yaitu *Safety Aspect (8 factors)* dan *Health and Enviromental Aspect (7 factors)*. Studi kasus di lakukan pada industri pembuatan Acetic Acid dan Methyl Methacrylate (MAA). Pada studi ini dihitung *Cumulative Index* dan IBI value untuk setiap rute proses. Dari hasil studi ini dapat disimpulkan bahwa:

- Perengkingan secara sederhana untuk setiap rute proses dapat dihitung secara lebih mudah.
- Hasil analisa dapat menyatakan persamaan dan perbedaan antara rute-rute proses tersebut.

- Hasil analisa juga dapat mengidentifikasi faktor utama yang menyebabkan rute kurang aman dan hal ini dapat membantu untuk melakukan perbaikan dan manajemen risiko.

#### 2.4.1. SREST-Layer Assessment

Kajian bahaya reaktifitas kimia diawali dengan mengumpulkan data sifat kimia dan fisika dari bahan-bahan kimia yang digunakan, mempelajari proses yang akan dilakukan dan juga fungsi dari setiap bahan kimia dalam suatu proses, apakah sebagai pelarut, pereaksi, katalis, dan sebagainya. Jenis reaksi yang terjadi apakah eksotermik atau endotermik, kecepatan, tekanan dan temperatur reaksi juga menjadi parameter penting yang harus diperhatikan. Masalah utama dalam melakukan kajian bahaya reaktifitas kimia di awal proses adalah sebagai berikut (Koller 2000):

1. Tidak tersedianya konsep tunggal yang menyeluruh untuk mengkaji semua aspek EHS.
2. Definisi dari masalah EHS dapat berubah dengan waktu dan berbeda dari suatu area/lokasi ke area/lokasi lainnya.
3. Tidak tersedianya data dari bahan kimia, terutama untuk *product intermediate*.
4. Tidak tersedianya informasi tentang detail proses (terutama jika dilakukan *batch* proses) juga informasi tentang pabrik secara garis besar.
5. Format data yang bervariasi (baik sumber maupun jenis data) dan juga tingkat kejelasan dari data.

Koller, et.al (2000) mempublikasikan penelitiannya dalam mengembangkan metoda untuk mengatasi kekurangan tersebut diatas, dengan membuat suatu konsep yang menggabungkan dan memperdalam beberapa metoda terbaik untuk mengkaji risiko juga mengkaji efek terhadap lingkungan. Setiap bahan kimia yang digunakan dalam proses dan kategori efeknya dikaji dengan menggunakan data yang diperoleh dari berbagai database bahan kimia. Dalam metoda ini, aspek EHS dikaji dalam 11 kategori yang berbeda dan kemudian dilakukan perhitungan *index value* (nilai indeks). Adapun kesebelas kategori yang digunakan meliputi mobilitas dari bahan kimia, sifat mudah terbakar dan meledak, reaksi/ dekomposisi, toksisitas akut, sifat irritant, toksisitas kronik, efek interaksi dengan udara, efek interaksi dengan air, limbah padat, degradasi dari bahan kimia dan akumulasi dari bahan. Nilai indeks

standard (*standard index value*) yang menjadi acuan untuk mengkaji aspek keselamatan diberikan pada Gambar 2.5.

Nilai indeks untuk masing-masing kategori adalah nilai tertinggi dari keseluruhan nilai indeks untuk sub-kategorinya. Nilai indeks satu menunjukkan bahan berbahaya dan nilai nol menunjukkan bahan tidak berbahaya. Nilai indeks untuk suatu kategori sama dengan nilai terbesar dari nilai indeks sub-kategorinya. Kemudian dengan menggunakan nilai indeks, dapat dihitung besarnya *physical value* atau tingkat bahaya untuk setiap kategori. Untuk konversi dari nilai indeks menjadi dapat dilihat pada penjelasan berikut :

$$IndVal_{ij} = \left( \frac{\max}{m} IndVal_{ij,m} \right) [0 \dots 1] \quad (2.2)$$

$$\text{for } IndVal_{ij} > 0 \text{ PhysVal}_{ij} = 10^{a \cdot IndVal_{ij} - b} [\text{unit}/\text{kg}] \quad (2.3)$$

$$\text{For } IndVal_{ij} = 0 \text{ PhysVal}_{ij} = \quad (2.4)$$

sebagaimana dindikasikan pada Gambar 2.5

Dimana: j= bahan kimia, i= kategori bahaya, m=sifat bahaya

*Physical value* mempunyai satuan unit massa (e.g., kJ/kg, m<sup>3</sup>/kg). Konversi nilai indeks menjadi *physical value* diberikan dalam masing-masing acuan perhitungan nilai indeks seperti yang terdapat dalam Gambar 2.5

Setelah melakukan identifikasi EHS dan menghitung besarnya *physical value* untuk setiap kategori, dilakukan perhitungan *Effective Dangerous Property* dari bahan kimia, dimana hubungan antara *Physical Value* dengan *Effective Dangerous Property* diberikan pada tabel 2.3

$$EDP_{ij} = IndVal_{ij} + F_{ij} \quad (2.5)$$

Untuk memprediksi besarnya pengaruh dari EHS efek, *Effective Dangerous Properties* diubah menjadi nilai ekponensialnya kemudian dikalikan dengan massa sehingga menghasilkan besaran yang disebut dengan Potential of Danger (PoD)

$$PoD_{ij} = m_{ij} \times 10^{a_i EDP_{ij} - b_i} \quad (2.6)$$

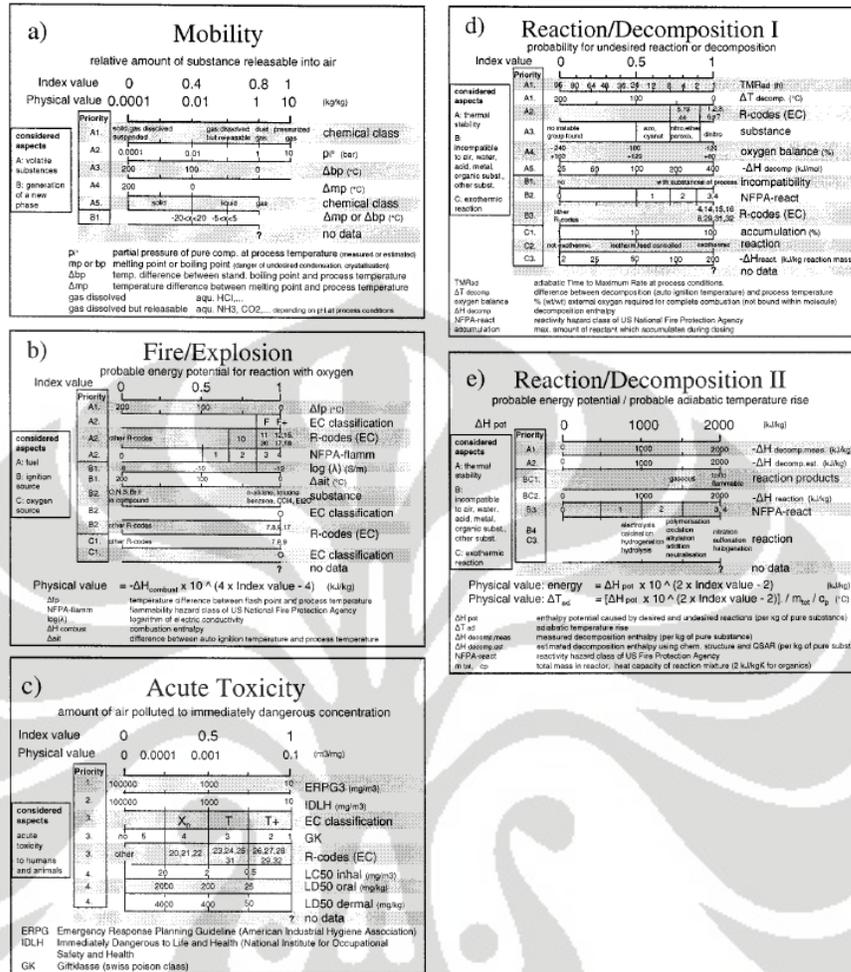


Figure 2. Effect categories for assessing safety aspects.

Gambar 2.5. Kategori Dalam Melakukan Kajian Aspek Keselamatan .

Sumber : Koller, 2000

Tabel 2.3 Bilang Indeks Untuk Sifat Bahaya yang Berbeda

Dangerous Property <i>DPI</i>	fate index <i>Fij</i>
mobility, reaction/decomposition, solid waste, degradation, accumulation	0
fire/explosion, irritation	$0.1 \times \log(\text{PhysVal}_{\text{mobility}} j)$
acute toxicity, chronic toxicity	$0.2 \times \log(\text{PhysVal}_{\text{mobility}} j)$
air mediated eff., water mediated eff, for organic substances	$0.25 \times \log(\text{PhysVal}_{\text{degradation}} j \times \text{PhysVal}_{\text{accumulation}} j)$
air mediated eff., water mediated eff, for inorganic substances	$0.25 \times \log(\text{PhysVal}_{\text{accumulation}} j)$

Sumber : Shah, et.al., 2003

*Potential of Danger* (PoD) yang melibatkan berat dari bahan kimia yang terkait. Untuk aspek lingkungan dipertimbangkan berat total dari buangan, untuk aspek keselamatan dipertimbangkan jumlah maksimum bahan kimia yang disimpan untuk kemudian digunakan dalam proses dan untuk kajian kesehatan dipertimbangkan tingginya pajanan terhadap bahan kimia dalam selang waktu tertentu (diberikan dalam kg). Umumnya massa dari bahan kimia ini lebih bergantung pada peralatan dan kondisi kerja dibandingkan terhadap penyimpanan (*inventory*), sehingga sulit diprediksi pada awal proses. *Potential of Danger* (PoD) dari bahan kimia diperoleh dengan mengalikan massa dari bahan kimia dengan *Effective Dangerous Property* (EDP).

Untuk setiap kategori diperoleh satu nilai indeks yang kemudian dapat digunakan untuk pemilihan bahan kimia atau menentukan batasan maksimum dari bahan kimia yang digunakan dalam proses kimia. Nilai indeks yang diperoleh juga digunakan untuk menentukan teknologi keselamatan yang perlu digunakan untuk menurunkan efek bahaya dari bahan kimia yang digunakan.

Sebagai metoda semikuantitatif, metoda ini terbukti dapat mengidentifikasi dengan cepat masalah EHS yang utama, berikut dengan tingkat bahayanya dengan menggunakan data bahan kimia yang terbatas dan dilakukan secara manual. Fleksibilitas dari metoda yang memungkinkan penggabungan antara kajian EHS dengan konsep *inherently safer* memungkinkan pengurangan tingkat bahaya dengan adanya tolok ukur teknologi. Lebih jauh lagi, kebutuhan akan metoda kajian yang cepat dan efisien, memicu dibuatnya sistem otomatis, dimana tidak hanya dibutuhkan sistem yang sistematis tapi juga perangkat lunak komputer untuk mempercepat proses pengkajian (Shah et.al, 2003).

Pendekatan yang dilakukan oleh Shah, et.al (2003) dalam melakukan kajian EHS yang menyeluruh adalah dengan membagi masalah menjadi komponen-komponen yang lebih kecil dan melakukan kajian bertahap secara mendalam. Komponen-komponen yang ada saling berkaitan satu sama lain dan sebagai konsekuensinya saling mempengaruhi satu sama lain. Metoda yang dikembangkan dinamakan *SREST-layer assessment method*, dimana area produksi diasumsikan sebagai bawang yang mempunyai lapisan-lapisan yang tersusun rapi dan kajian dilakukan dari lapisan terdalam ke lapisan terluar. Adanya lapisan-lapisan ini mempermudah identifikasi masalah EHS dalam tahap yang berbeda dari suatu proses

dan penerapan *inherent safety technology* dapat diterapkan langsung pada setiap lapisan. Adapun keempat lapis dari *SREST-layer assessment method* dapat dilihat pada Gambar 2.6

### 1. Substance Assessment Layer (SAL)

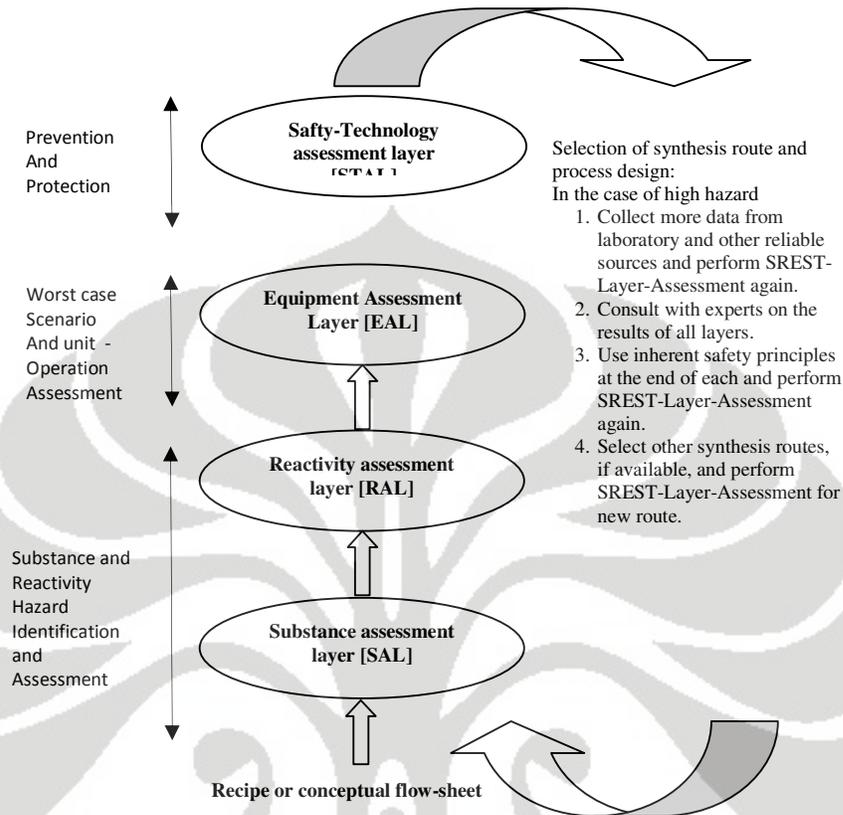
Seperti yang sudah dipublikasikan terdahulu oleh Koller (2000), pada tahap ini data dari semua bahan kimia yang digunakan dalam proses dikumpulkan, baik sifat-sifat kimia maupun fisika seperti mudah terbakar, beracun, korosif dan lain-lain. Data tersebut dapat diambil dari berbagai sumber dan database, baik yang dikeluarkan lembaga-lembaga internasional seperti ISO, OSHA, NIOSH maupun pihak industri yang memproduksi material tersebut. Seperti dalam metoda EHS dari Koller et al., (2000), bahan kimia dikaji dalam 11 kategori efek sebagaimana yang telah dijabarkan sebelumnya (Shah, et.al, 2003). Terdapat satu perubahan terhadap metoda EHS yang terdahulu, dimana kategori reaksi/dekomposisi diubah menjadi kategori dekomposisi. Dalam hal ini, hanya ketidakstabilan dari bahan kimia tunggal yang dipertimbangkan dan reaksi atau interaksi antara 2 atau lebih bahan kimia akan ditinjau di tahap berikutnya, yaitu *Reactivity Assessment Layer (RAL)*.

Nilai yang dapat diterima (*acceptable limit*) untuk masing-masing kategori pada tabel 2.4 akan digunakan sebagai acuan untuk memilih bahan kimia atau menentukan jumlah maksimum bahan kimia yang dapat digunakan dalam suatu proses, untuk memutuskan hasil kajian dari skenario kemungkinan terburuk dan untuk memutuskan teknologi keselamatan yang akan digunakan untuk mengurangi dampak berbahaya dari bahan kimia tersebut (*mitigasi*). Dalam *SREST-layer assessment method*, *effective dangerous property (EDP)* juga digunakan untuk menunjukkan secara semikuantitatif hasil kajian EHS yang dilakukan pada setiap bahan kimia.

Tabel 2.4. Nilai EHS Kategori Efek yang Dapat Diterima Pada Tahap SAL.

EHS effect category	Acceptable region for EHS substance-index
Safety	
Mobility and fire/explosion	$\leq 0.6$
Acute toxicity and decomposition	$\leq 0.5$
Health	
Irritation	$\leq 0.5$
Chronic toxicity	$\leq 0.6$

Sumber : Shah, et.al., 2005



Gambar 2.6. SREST-Metode Pengkajian Berlapis Dengan Menggunakan Prinsip *Inherent Safety*

Sumber : Shah, et.al., 2005

## 2. Reactivity Assessment Layer (RAL)

Berdasarkan data kecelakaan, banyak kasus kecelakaan di industri kimia terjadi akibat adanya reaksi eksotermik yang tidak terkendali yang dapat diakibatkan oleh kesalahan kontrol dan kesalahan penanganan bahan kimia. Ketidaksiesuaian bahan kimia yang tidak diketahui sebelumnya dan pencampuran bahan kimia yang tidak disengaja dapat menimbulkan panas yang kemudian memicu terjadinya dekomposisi dari bahan kimia yang terdapat dalam suatu sistem. Oleh karena itu, kajian tentang reaktifitas bahan kimia dengan udara, air dan bahan-bahan kimia lain yang bersifat reaktif menjadi sangat penting dalam memprediksi *runaway scenario* dan mengendalikan reaksi eksotermik, juga mencari teknologi keselamatan yang tepat untuk mengurangi dampak berbahaya dari bahan kimia tersebut (*mitigasi*).

Pada tahap ini semua bahan kimia yang mungkin akan kontak satu sama lain dievaluasi, termasuk reaktifitas terhadap udara, air, panas, media pendingin, konstruksi material, pengotor dan juga bahan-bahan lainnya. Kajian dilakukan dengan menggunakan data dari *Bretherick's database* (Urban, 1999) dan *chemical reactivity worksheet* (NOAA, 2000). Data diperoleh dalam bentuk matriks interaksi. Jika ditemukan adanya interaksi antara bahan kimia yang digunakan dalam proses, dapat diambil langkah pengendalian, apakah dengan mensubstitusi bahan kimia tersebut atau mengurangi dan meminimumkan penggunaannya. Tersedianya matriks interaksi yang difasilitasi dengan adanya perangkat lunak (software) mempercepat pengumpulan data dan membantu mempercepat pengolahan data untuk mengambil keputusan dalam memperoleh proses yang aman dari segala aspek EHS-nya.

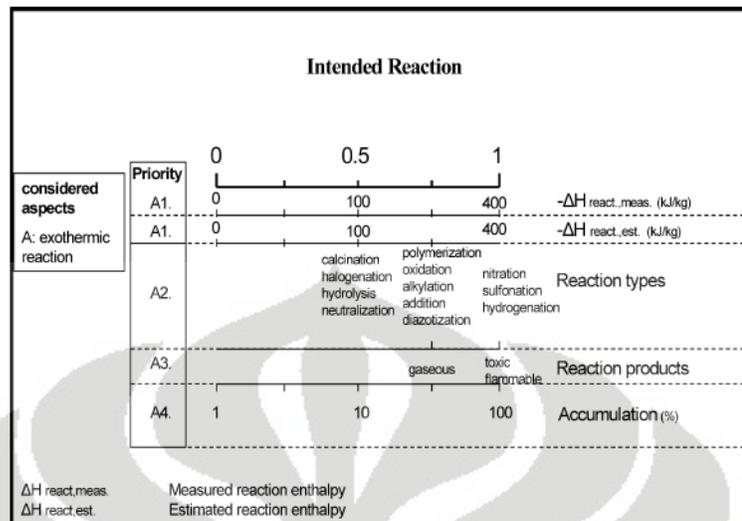
Pada tahun 2005, Shah et.al, mempublikasikan versi baru untuk *SREST layer assessment method (extended version)*, salah satunya dengan mengubah hasil kajian reaktifitas bahan kimia yang berupa matriks menjadi indeks. Adanya indeks untuk reaktifitas bahan kimia memudahkan pengambilan keputusan berdasarkan tingkat indeks dan batas yang dapat diterima (*acceptable limit*). Informasi reaktivitas dibagi menjadi dua kategori yaitu *intended reaction* (reaksi yang diinginkan) dan *unintended reaction or incompatible* (reaksi yang tidak diinginkan atau tidak sesuai). Pedoman indeks untuk kedua kategori tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8

Hasil kajian RAL tersebut kemudian dijadikan landasan untuk membuat keputusan berdasarkan nilai indeks dan batasan yang dapat diterima (Tabel 2.5).

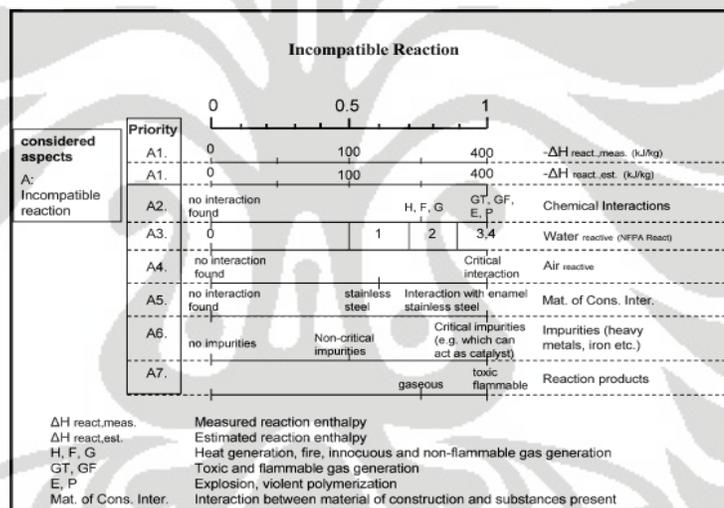
Tabel 2.5. Nilai Index Reaktifitas yang Dapat Diterima Untuk RAL

Reactivity category	Acceptable region for reactivity-indeces
Intended reaction	$\leq 0.5$
incompatible reaction	$\leq 0.5$

Sumber : Shah, et.al., 2005



Gambar 2.7. Index Bahaya Dari Kategori Reaksi yang Diinginkan Pada Tahap RAL



Gambar 2.8. Index Bahaya Dari Kategori Campuran Tidak Sesuai Pada Tahap RAL

Sumber: Shah, et.al, 2005.

### 3. Equipment Assessment Layer (EAL)

Dalam kajian terhadap proses di industri, tidak hanya kajian terhadap bahan kimia saja yang perlu dilakukan tapi juga kajian terhadap peralatan proses dan unit operasi mengingat banyak kecelakaan reaktifitas bahan kimia disebabkan oleh kegagalan dari peralatan proses. Tahap kajian terhadap peralatan pendukung proses disebut *Equipment Assessment Layer*, dimana pada tahap ini dilakukan investigasi dan evaluasi terhadap peralatan proses yang digunakan dengan mempertimbangkan semua skenario terburuk yang berkaitan dengan pengoperasian peralatan proses tersebut.

Kemungkinan skenario terburuk diidentifikasi dengan bantuan kondisi proses seperti temperatur, tekanan, juga hasil dari kajian pada lapisan terdahulu (SAL dan RAL) dan sebagainya. Skenario dari *runaway reaction* tersebut dapat dibagi menjadi bahaya primer dan sekunder, dimana bahaya sekunder hanya ada jika bahaya primer terjadi. Bahaya primer disebabkan oleh reaksi eksotermik yang terjadi dalam proses dan bahaya sekunder disebabkan oleh pelepasan bahan kimia dari reaktor ke lingkungan disekelilingnya.

#### **4. Safety-Technology Assessment Layer (STAL)**

Tahap terakhir pada SREST layer assessment method adalah tahap *Safety Technology Assessment* atau (STAL) adalah tahap yang sangat penting sebagai kontrol dan pengurangan terhadap risiko kecelakaan. Konsep yang digunakan adalah *inherent safety*. Informasi yang didapat bisa berupa penanganan limbah untuk mengurangi efek terhadap lingkungan dan sistem kontrol untuk mengurangi kecelakaan dan efek terhadap kesehatan. Sebagai contoh, jika suatu pabrik mengeluarkan emisi yang tidak aman, maka diperlukan sistem kontrol untuk mengurangi risiko bahaya terhadap lingkungan. Penggunaan teknologi keselamatan dilakukan untuk mengantisipasi hasil kajian yang dilakukan pada tahap sebelumnya yaitu sebelas kategori bahan kimia untuk SAL, indeks reaktifitas dari RAL dan kajian scenario terburuk dari tahap EAL.

#### **2.4.2. Alat Bantu (Tools) Kajian Bahaya Reaktifitas Kimia**

Untuk menilai suatu bahaya atau risiko dari suatu proses atau tempat kerja diperlukan pendekatan yang sistematis. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah dalam suatu proses industri terdapat potensi bahaya reaktifitas kimia (Joseph, 2003), yaitu:

- Studi ketidaksesuaian menggunakan NOAA Worksheet.
- Studi literatur.
- Program Komputer ASTM CHETAH.

Semua metode diatas banyak digunakan dalam berbagai penelitian bahaya reaktifitas kimia sebagai alat bantu. Untuk kajian bahaya reaktifitas secara komprehensif maka sebaiknya menggunakan beberapa alat bantu secara bersamaan, karena alat bantu



NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) *Chemical Reactivity Worksheet* juga dapat digunakan untuk mengetahui reaktifitas kimia dari material-material yang berbeda apabila mereka di campur sehingga kita dapat mengetahui apakah mereka kompatibel atau tidak kompatibel. Terdapat sekitar 6000 jenis bahan kimia dalam database ini. Dari worksheet ini kita dapat memprediksi kemungkinan potensi konsekuensi interaksi dari material yang bercampur seperti panas, tekanan, gas yang dilepaskan, dan sebagainya.

#### 2.4.2.2. Studi Literatur

Untuk mengidentifikasi bahaya reaktifitas kimia dapat juga dilakukan dengan studi literatur. Banyak sumber informasi yang dapat digunakan untuk mendapatkan data bahaya reaktifitas kimia. Banyak penelitian mengenai bahaya reaktifitas yang menggunakan studi literatur sebagai data pendukung untuk menentukan jenis bahaya dan besar dampak dari bahaya tersebut. Sumber informasi dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. *Material Safety Data Sheet (MSDS)*

MSDS ini diterbitkan oleh pembuat bahan kimia. Informasi yang terdapat didalam MSDS ini sangat lengkap mulai dari sifat-sifat fisik dan kimia, *toxicology*, alat pelindung diri, stabilitas sampai pada cara penyimpanan bahan. Mengacu pada ISO standar, terdapat 16 jenis informasi yang seharusnya terdapat didalam MSDS dan salah satunya adalah informasi mengenai reaktifitas.

2. Literatur terbuka.

Terdapat beberapa sumber informasi yang sangat lengkap untuk mendapatkan informasi bahaya reaktifitas, seperti *Bretherick's handbook for chemical reactivity*, *Sax for general chemical hazards*, *NFPA for fire protection*, *NIOSH pocket guide to chemical hazards* dan berbagai informasi dan guidance yang dikeluarkan oleh CCPS (Legget, 2006).

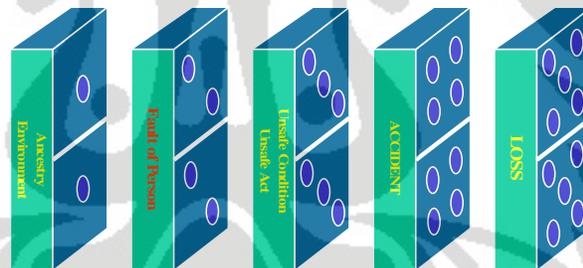
Jenis data dan informasi yang diperlukan dalam melakukan identifikasi dan evaluasi bahaya reaktifitas adalah sebagai berikut (Legget, 2004):

- Nama bahan kimia
- Sifat fisika (*melting point, boiling point, vapor pressure, flammable limit, auto-ignition temperature, minimum ignition energy*).

- Sifat kimia (*stability/reactivity, toxicity/exposure, NFPA/HMIS rating incompatibilities, oxidizer/reducer, pyroporic, polymerizes, react expositively, inhibitor required, impact/friction sensitive, temperatur control needed, sensitive to heat, high hazard reaction or functional group, water reactive, peroxide former*).

## 2.5. Teori Penyebab Kecelakaan Kerja

Kecelakaan dapat dikategorikan kedalam dua kelompok yaitu, kecelakaan individu dan kecelakaan organisasi (Reason, 1997). Kecelakaan individu dapat diklasifikasikan sebagai kecelakaan minor dan kecelakaan organisasi diklasifikasikan kecelakaan mayor atau dikenal dengan istilah *catastrophic accident*. Kecelakaan mayor ini jarang terjadi, namun apabila terjadi menyebabkan kerugian yang sangat besar baik terhadap properti, pekerja maupun lingkungan. Kecelakaan mayor umumnya terjadi pada industri dengan teknologi modern seperti industri energi nuklear, industri petrokimia, industri kimia dan lain-lain.



Gambar 2.10. Teori Domino dari W.H. Heinrich.

Sumber : Reason, 1997

Teori yang paling terdahulu tentang penyebab kecelakaan adalah teori domino yang diperkenalkan oleh Henrich pada tahun 1931. Menurut Henrich, 88% kecelakaan disebabkan oleh tindakan tidak aman dari manusia, sedangkan sisanya disebabkan oleh hal-hal lain yang tidak berkaitan dengan manusia. Gambar 2.10 menunjukkan susunan batu domino yang diibaratkan sebagai faktor-faktor penyebab terjadinya kecelakaan. Apabila domino pertama roboh, maka dia akan merobohkan domino-domino lainnya. Artinya jika terdapat satu kegagalan atau kesalahan manusia maka akan tercipta *unsafe condition* dan *unsafe act*. Maka menurut teori ini, jika

*unsafe condition* dan *unsafe act* dihilangkan maka kecelakaan dapat dicegah (Cooper, 2001). Konsep dasar pada model ini adalah:

1. *Accident* adalah sebagai suatu hasil dari **serangkaian kejadian** yang **berurutan**. *Accident* tidak terjadi dengan sendirinya.
2. Penyebab-penyebabnya adalah faktor manusia dan faktor fisik.
3. *Accident* tergantung kepada lingkungan fisik, dan lingkungan sosial di tempat kerja.
4. *Accident* terjadi karena **kesalahan manusia**.

Dr. Michael Zabetakis, direktur akademi MSHA's (Mine Safety and Health Administration) mengembangkan teori Domino dengan konsep baru model penyebab kecelakaan langsung (Gambar 2.11). Konsep penyebab langsung yaitu pelepasan energi atau bahan berbahaya yang tidak direncanakan. Dr. Zabetakis menjelaskan bahwa kebanyakan kecelakaan disebabkan oleh pelepasan energi (listrik, kimia, mekanik, panas, radiasi) atau bahan kimia berbahaya (misalnya CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>) yang tidak direncanakan atau diinginkan. Pelepasan ini sebagian besar disebabkan oleh tindakan tidak aman (*unsafe act*) dan lingkungan kerja tidak aman (*unsafe condition*).

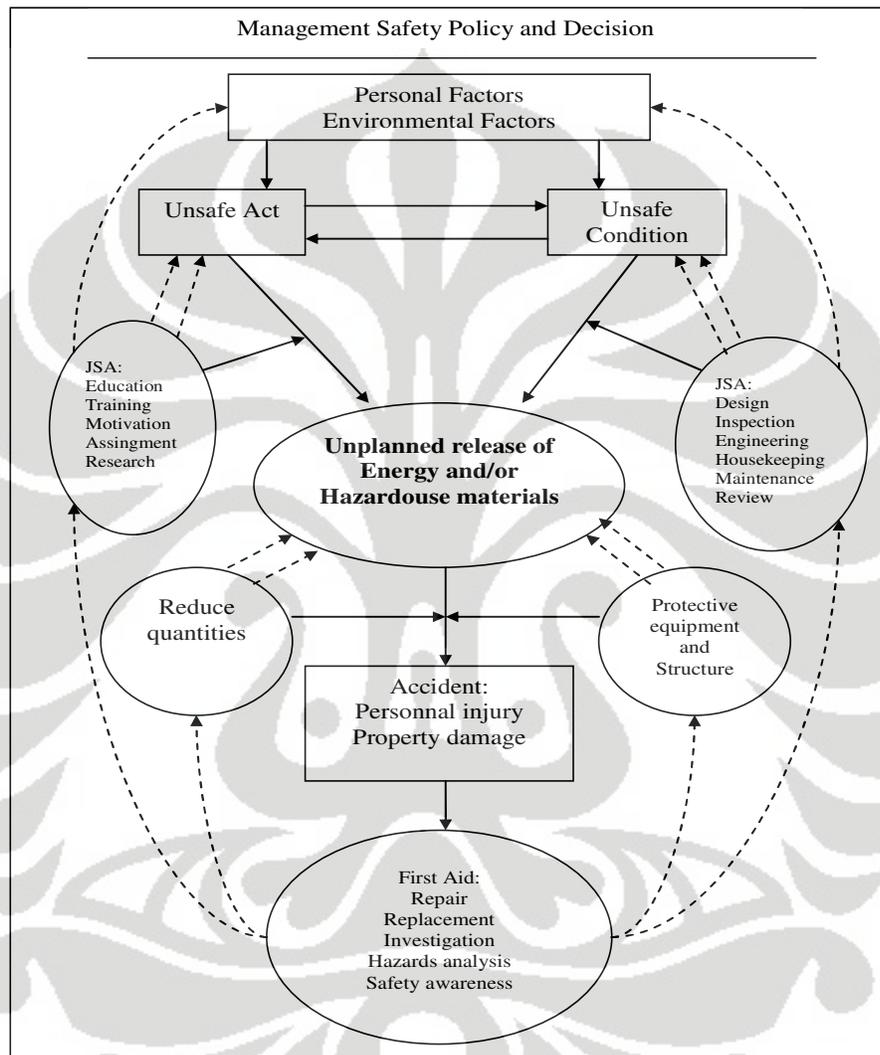
Pada awalnya kebanyakan pencegahan kecelakaan hanya fokus pada identifikasi dan perbaikan terhadap tindakan tidak aman dan kondisi tidak aman. Sementara untuk peningkatan jangka panjang sebaiknya dilakukan identifikasi dan perbaikan pada penyebab dasar kecelakaan. Penyebab dasar kecelakaan dapat dikelompokkan pada tiga kelompok yang saling berhubungan, yaitu (Heinrich, 1980):

1. Kebijakan dan keputusan manajemen.
2. Faktor personal (pekerja)
3. Faktor lingkungan.

Kelompok pertama adalah kebijakan dan keputusan manajemen, misalnya adalah target produksi dan keselamatan; prosedur kerja; pencatatan; penugasan tanggung jawab dan otoritas, dan kepercayaan; pemilihan karyawan, pelatihan, penempatan, pengawasan dan pengarahan; prosedur komunikasi; prosedur inspeksi; peralatan, suplai, dan disain fasilitas, pembelian dan perawatan; prosedur pekerjaan standar dan darurat; dan kebersihan dan kerapian.

Kelompok kedua adalah faktor personal atau pekerja, misalnya adalah motivasi; keadaan fisik dan mental; waktu reaksi; kepedulian pribadi. Kelompok

ketiga adalah faktor lingkungan, misalnya adalah temperatur; tekanan; kelembaban; debu; gas; uap; aliran udara; kebisingan; pencahayaan; kondisi alami lingkungan (permukaan yang licin, hambatan, penopang yang tidak baik, benda berbahaya).

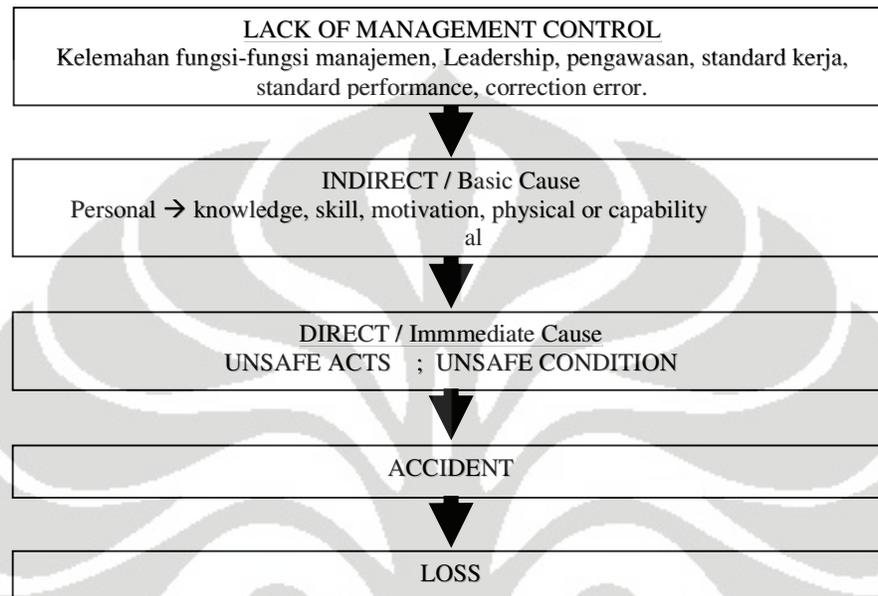


Gambar 2.11. Teori Penyebab Kecelakaan Zabetakis.

Sumber : Heinrich, 1980

Bird dan Loftus pada tahun 1970an mengembangkan teori domino dari Henrich dengan pemikiran yang lebih modern. Gambaran dari teori yang dikembangkan oleh Bird dan Loftus dapat dilihat pada Gambar 2.12. Teori ini tidak jauh berbeda dengan teori Heinrich dimana melibatkan 2 faktor kecelakaan kerja *unsafe act* dan *unsafe condition*. Namun dalam teori ini, Bird dan Loftus tidak lagi

melihat kesalahan terjadi pada manusia/pekerja semata, tetapi lebih menyorot bagaimana manajemen lebih mengambil peran dalam melakukan pengendalian agar tidak terjadi kecelakaan (Cooper, 2001).

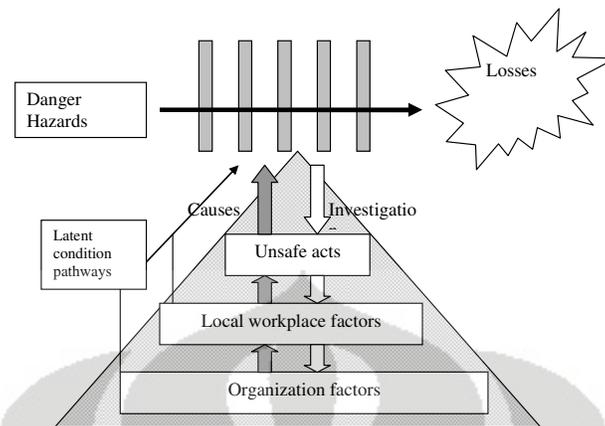


Gambar 2.12. Teori Penyebab Kecelakaan oleh Loftus dan Bird.

Sumber : Cooper, 2001

Reason (1997) mengembangkan model investigasi kecelakaan organisasi (Gambar 2.13). Model ini menghubungkan berbagai elemen yang berkontribusi terhadap kecelakaan organisasi tersebut. Menurut teori ini kecelakaan organisasi bermula dari kegagalan faktor organisasi dalam membuat keputusan strategis, proses organisasi seperti *forecasting*, *budgeting*, alokasi sumber daya, komunikasi, audit, perencanaan dan lain-lain. Kegagalan organisasi ini akan mewarnai budaya organisasi, sikap pekerja dan cara-cara pekerja dalam menjalankan proses bisnis.

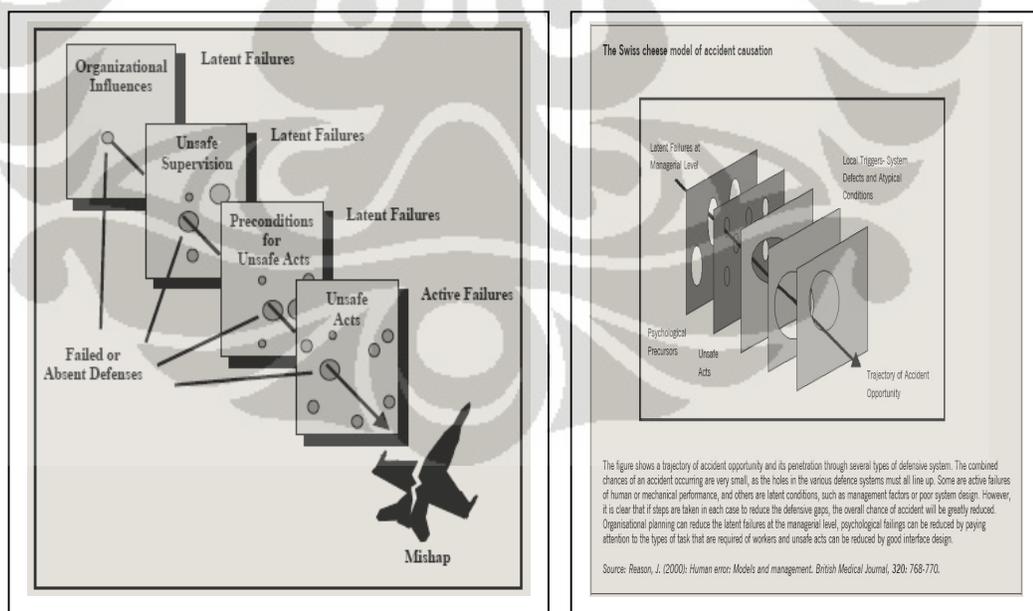
Konsekuensi dari kegagalan faktor organisasi akan menyebar pada seluruh area kerja yang pada akhirnya akan memicu cara-cara kerja yang tidak aman (*unsafe act*). Hal ini termasuk peralatan kerja yang tidak memadai, training yang tidak memadai, pengawasan yang kurang, perawatan mesin yang tidak memadai, komunikasi yang buruk dan lain sebagainya. Hal-hal tersebut memicu dan memperbesar potensi terjadinya kecelakaan organisasi.



Gambar 2.13. Model Perkembangan dan Investigasi Kecelakaan Organisasi

Sumber : Reason, 1997

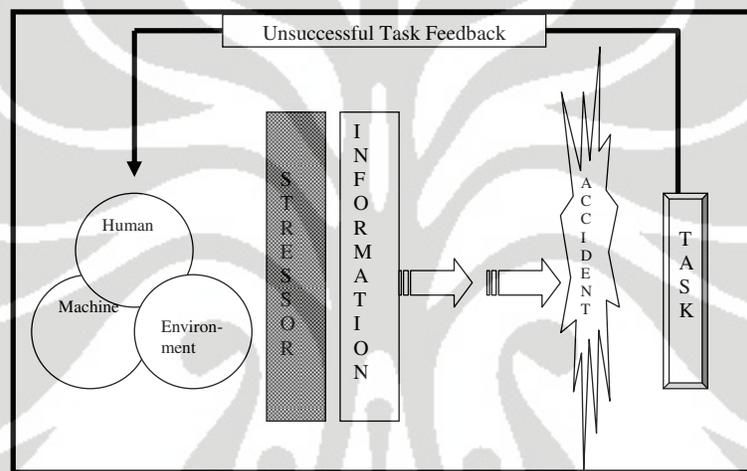
Reason (2000) juga mengusulkan model keju Swiss (*Swiss Cheese Model of Human Error*), dimana dalam model ini terdapat empat tahapan kegagalan manusia sehingga terjadi kecelakaan (Gambar 2.14). Model yang diajukan oleh Reason sangat bermanfaat dalam investigasi kecelakaan karena mendorong setiap investigator untuk memperhatikan dengan seksama kegagalan laten (*latent Failure*) dalam menajangi seluruh peristiwa yang terjadi di setiap tahapan penyebab.



Gambar 2.14. Model Keju Swiss Dalam Teori Kecelakaan Organisasi.

Sumber : Reason, 2000

Kegagalan laten dapat terjadi akibat faktor organisasi, pola supervisi dan juga faktor prakondisi yang mendukung terjadinya tindakan tidak aman. Bila pada tiap tahapan tersebut terdapat lubang-lubang atau tidak adanya pertahanan maka akan memudahkan terbentuknya tindakan tidak aman. Namun Reason tidak menguraikan secara jelas lubang-lubang tersebut dalam konteks operasional. Namun demikian ketidak pastian lubang-lubang tersebut juga lebih memudahkan para investigator untuk tidak terlalu terpaku pada faktor-faktor klasik yang selalu menjadi pusat perhatian.



Gambar 2.15. Penyebab Kecelakaan Model Firenze

Sumber : Wiegmann and Shappell, 2003.

Model Firenze memprediksi terjadinya kecelakaan atau kegagalan sistem yang disebabkan oleh ketidak sinkronan antara manusia, mesin komponen lingkungan (Wiegmann and Shappell, 2003). Pada model ini diasumsikan bahwa mesin berfungsi dengan baik dan demikian juga komponen lingkungan sangat mendukung untuk menghasilkan keluaran yang baik. Masalah muncul ketika ada tekanan pada manusia atau pekerja seperti kelelahan, kecemasan dan sikap-sikap yang menghambat proses pembuatan keputusan sehingga memicu terjadinya kecelakaan (Gambar 2.15). Meskipun demikian, berdasarkan teori Firenze untuk menurunkan tingkat kecelakaan tidak bisa hanya fokus pada manusianya saja, melainkan harus dilihat dari keseluruhan sistem, yaitu mesin, manusia dan lingkungan.

CCPS (1992) menjelaskan elemen-elemen dari suatu proses kecelakaan dalam industri kimia. Suatu kecelakaan merupakan serangkaian proses yang berurutan,

dimulai dengan proses inisiasi yang dapat berupa kegagalan pada perangkat keras (peralatan) dan/atau perangkat lunak (software), kegagalan sistem manajemen, kesalahan manusia dan kejadian eksternal. Namun kecelakaan juga dapat terjadi setelah proses inisiasi jika tidak terdapat sistem proteksi terhadap kecelakaan. Tahap berikutnya adalah tahap intermediet (lanjutan) yang dibagi menjadi dua kelas yaitu faktor propagasi dan faktor pengurangan risiko. Faktor propagasi yaitu kegagalan dalam membuat lapisan proteksi dan lingkungan yang memperuncing kecelakaan. Faktor pengurangan risiko meliputi respon yang baik dari pekerja dan administratif kontrol serta lingkungan yang dapat mengurangi frekuensi dan kerusakan akibat kecelakaan.

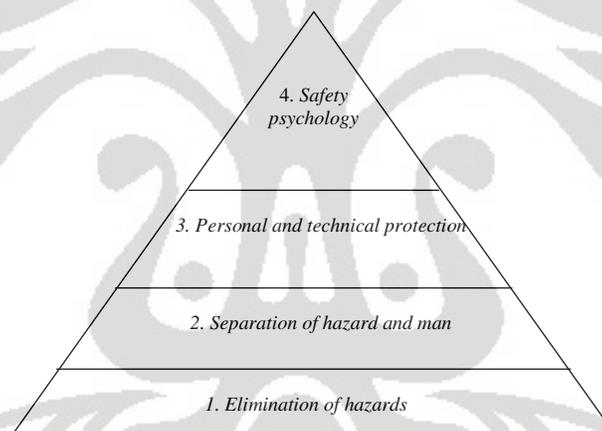
### **2.5.1. Faktor Lingkungan Kerja**

Tindakan tidak aman sering kali dinyatakan sebagai penyebab terjadinya kecelakaan kerja. Sejumlah data kecelakaan yang dilaporkan menunjukkan bahwa kecelakaan terjadi akibat buruknya praktek kerja, salah dalam membuat keputusan, kurangnya kontrol, kesembronan dan tindakan yang bodoh. Berdasarkan hal tersebut banyak yang berpendapat bahwa dengan menghentikan *unsafe act* maka kecelakaan tidak akan terjadi. Menerima pendapat ini secara harfiah malah dapat menjadi salah kaprah dalam menerapkan sistem keselamatan terutama dalam upaya meningkatkan kondisi kerja yang aman (*safe working kondision*).

Jika diamati lebih jauh dan dalam banyak kasus, kecelakaan yang terjadi disebabkan oleh kombinasi antara kondisi kerja yang tidak aman dan tindakan atau perilaku tidak aman. Jarang sekali terjadi kecelakaan yang semata-mata disebabkan oleh tindakan tidak aman sementara kondisi kerja sangat aman. Kondisi kerja tidak aman misalnya adalah disain dan konstruksi sistem kerja yang buruk, kerapian dan kebersihan yang buruk, prosedur kerja yang dapat menimbulkan bahaya, instruksi kerja tidak memenuhi standar, kurangnya sistem pengaman pada mesin, perawatan mesin yang kurang baik, mesin yang sudah tua sehingga kinerjanya sudah tidak optimal dan lain sebagainya (DeReamer, 1981).

Kondisi kerja yang tidak aman ini akan memperbesar potensi terjadinya tindakan tidak aman dari pekerja. Untuk memperkecil terjadinya tindakan tidak aman dari pekerja maka kondisi kerja harus diperbaiki, maka ada teori yang membahas hubungan antara mesin dengan manusia (DeReamer, 1981) dan teknologi keselamatan

dengan faktor manusia (Hoyos, 1998). Kedua teori ini lebih banyak melakukan pendekatan dari sisi teknologi atau kondisi kerja (lingkungan). Teori Hoyos berpedoman pada hirarki sistem keselamatan kerja seperti pada Gambar 2.16 Tahap pertama adalah mengurangi bahaya dengan cara menggunakan bahan-bahan yang kurang berbahaya, misalnya menggunakan bahan kimia yang tingkat bahayanya rendah. Jika menggunakan bahan berbahaya tidak dapat dihindari maka dilakukan tahap kedua yaitu dengan memisahkan sumber bahaya dengan manusia, misalnya dengan menggunakan sistem proses yang tertutup, dinding tahan api, tangki tahan tekanan dan temperatur tinggi, dan lain-lain. Tahap berikutnya adalah memberikan alat pelindung diri dan melengkapi mesin atau peralatan dengan pengaman seperti alarm, tombol darurat, kontrol otomatis untuk mengurangi kontak dengan manusia dan lain-lain.



Gambar 2.16. Hirarki Pencegahan Kecelakaan Kerja.

Sumber : Hoyos, 1998

Selanjutnya tahap terakhir adalah memperbaiki perilaku pekerja dalam melakukan pekerjaan. Meskipun ketiga aspek sebelumnya sudah dilaksanakan, namun apabila pekerja tidak mematuhi peraturan yang ada, seperti menggunakan alat pelindung diri, menempatkan bahan baku sesuai dengan kategori yang sudah ditentukan, melakukan pengamatan secara benar dan baik terhadap parameter proses dan lain-lain, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja masih besar.

Tujuan yang paling penting dari peningkatan kondisi atau lingkungan kerja yang aman adalah mengurangi kemacetan, tekanan dan ketegangan dari alur proses kerja. Beberapa program yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi kerja

adalah disain mesin atau peralatan, perawatan mesin, tata letak, metode proses, pencahayaan, pemanasan, ventilasi, sistem pertukaran udara, peredam suara dan lain-lain (DeReamer, 1981).

Proses dan fasilitas produksi pada umumnya melalui beberapa tahapan pengembangan, dan tahapan-tahapan tersebut dapat dinyatakan sebagai suatu siklus. Siklus dari proses dan fasilitas produksi secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut (Johnson et al., 2003):

- *Initial concept/laboratory research*
- *Process development; small-scale or pilot plant operations*
- *Full-scale engineering design and facility construction*
- *Full-scale startup and operation, including shutdown and maintenance activities*
- *Modifications and expansions*
- *Mothballing/decommissioning and demolition.*

Setiap tahapan tersebut harus dikaji secara mendalam faktor-faktor yang berkaitan dengan keselamatan kerja untuk meminimalkan resiko terjadinya kecelakaan.

### **2.5.2. Faktor Manajemen**

Kegagalan manajemen merupakan salah faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan, seperti dalam teori kecelakaan oleh Bird dan Loftus. Banyak perusahaan yang sudah menerapkan berbagai sistem manajemen untuk meningkatkan kualitas, produktifitas serta menghilangkan potensi terjadinya kerugian akibat kecelakaan dan berhasil mencapai sasaran yang diharapkan dengan menerapkan berbagai sistem manajemen tersebut. Namun tidak jarang pula perusahaan gagal mencapai tujuan dari penerapan sistem manajemen ini. Dalam hal ini banyak faktor dan kendala yang dapat menyebabkan kegagalan manajemen sehingga tujuan penerapan tidak tercapai. Gallagher (2001) menyampaikan beberapa kendala atau hambatan dalam penerapan sistem manajemen keselamatan pada suatu perusahaan sehingga tujuan penerapan sistem ini tidak tercapai, yaitu:

- Sistem yang diterapkan tidak sesuai dengan kondisi dan kebutuhan perusahaan.
- Lemahnya komitmen pimpinan perusahaan dalam menerapkan sistem manajemen tersebut.

- Kurangnya keterlibatan pekerja dalam perencanaan dan penerapan.
- Audit tool yang digunakan tidak sesuai serta kemampuan auditor yang tidak memadai.

Selanjutnya pertanyaan yang timbul adalah, apakah sistem manajemen yang diterapkan sudah efektif dalam meningkatkan kualitas, produktifitas atau keeselamatan kerja dan bagaimana cara mengukur efektifitas dari suatu sistem manajemen. Secara umum ada dua cara yang umum digunakan dalam mengukur kinerja sistem manajemen keselamatan, yaitu: metode konvensional dengan cara mengukur insiden dan klaim kompensasi, dan metode yang kedua yaitu *positive performance indicators* (PPIs) dengan mengukur relevansi sistem manajemen keselamatan, proses, manajemen dan kesesuaian dengan praktek dilapangan.

Dalam penerapan sistem manajemen keselamatan ditemukan ada dua model yaitu *rational organisation theory* dan *socio-technical system theory*. *Rational organisation theory* menekankan pada pendekatan *top-down*, penerapan sistem manajemen keselamatan didasarkan pada kebijakan atau instruksi dari top level manajemen dan diteruskan sampai pada level yang paling bawah. Sementara *socio-technical system theory* melakukan pendekatan dengan intervensi organisasi yang didasarkan pada analisa hubungan antara teknologi, orientasi dari pekerja dan struktur organisasi (Gallagher, 2001).

Gallagher juga mengklasifikasikan sistem manajemen keselamatan ke dalam 4 tipe, yaitu:

1. *Safe Person Control Strategy*; strategi pencegahan difokuskan pada kontrol perilaku pekerja.
2. *Safe Place Control Strategy*; strategi pencegahan difokuskan pada bahaya dari sumbernya melalui identifikasi, kajian dan pengendalian.
3. *Traditional Management*;
  - Peran kunci dalam K3 dipegang oleh supervisor dan EHS spesialis.
  - Integrasi sistem manajemen keselamatan ke dalam sistem manajemen yang lebih luas masih sangat rendah.
  - Keterlibatan karyawan masih rendah.
4. *Innovative Management*;
  - Peran kunci dalam K3 dipegang oleh senior dan line manager.

- Integrasi sistem manajemen keselamatan kedalam sistem manajemen yang lebih luas sudah sangat baik.
- Keterlibatan karyawan tinggi.

Metode implementasi dari manajemen keselamatan dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu, *voluntary*, *mandatory* dan *hybrid* (Gallagher, 2001). *Voluntary* adalah pelaksanaan manajemen keselamatan secara sukarela didasarkan pada tanggung jawab perusahaan terhadap keselamatan dan kesejahteraan karyawannya. Dengan cara ini akan lebih mudah melibatkan karyawan untuk berpartisipasi dalam berbagai program K3. Sementara sebaliknya kategori *mandatory* didasarkan pada keharusan atau kewajiban untuk memenuhi persyaratan dari pemerintah atau pelanggan. Dan implementasinya terlihat dipaksakan dan sedikit melibatkan karyawan karena tujuannya tidak sepenuhnya melindungi pekerja melainkan *compliance*. Kategori yang ketiga adalah *hybrid* yang merupakan kombinasi *voluntary* dan *mandatory*, disamping untuk memenuhi persyaratan dari undang-undang juga bertujuan untuk melindungi pekerja dan aset perusahaan.

### **2.5.3. Faktor Manusia**

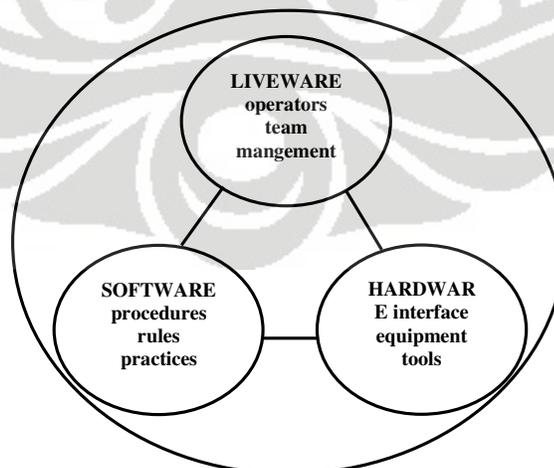
#### **2.5.3.1. Kesalahan Manusia**

Faktor manusia (*human factors*) secara sederhana didefinisikan sebagai faktor-faktor yang berkaitan atau berhubungan dengan manusia. Pengetahuan mengenai *human factors* berkembang dengan sangat pesat, meningkat dan melembaga sejak akhir abad lalu, dan sekarang didukung lagi dengan ilmu-ilmu pengetahuan, dan banyak dipergunakan untuk meningkatkan keselamatan dari suatu sistem yang kompleks, misalnya pada penerbangan sipil. Kurang lebih 75% dari kecelakaan yang terjadi pada industri penerbangan diakibatkan oleh kurangnya *performance* pada manusianya dan ini umumnya dikategorikan sebagai “**pilot error**”. Istilah “pilot error” tidak memberikan kontribusi pada pencegahan kecelakaan. Bahkan menjadi kontra produktif, sebab meskipun istilah tersebut dapat menentukan dimana kegagalan dari suatu sistem, namun tidak dapat menentukan mengapa kecelakaan itu terjadi. Kesalahan manusia pada suatu sistem dapat dipengaruhi dan distimulasi oleh training yang kurang efektif, rancangan sistem prosedur yang buruk atau konsep yang kurang matang baik pada tampilan checklist atau buku manual.

Maka dalam pendekatan ini kesalahan manusia ditinjau dalam kerangka sistim secara lebih menyeluruh. Manusia atau individu tetap dipandang sebagai pusat perhatian, namun individu dipandang bukan semata-mata penyebab tunggal terjadinya kesalahan. Model yang dikembangkan dalam pendekatan ini dikenal dengan **SHELL** Model (Gambar 2.17). Kegagalan atau kesalahan manusia dapat terjadi akibat interaksi antara manusia (liveware) dengan manusia lain (liveware), dengan lingkungan (environment) dan dengan prosedur, peraturan (software) serta dengan peralatan mesin (Hardware) dan seterusnya.

Model SHEL diusulkan oleh Edwards (1972) dan dimodifikasi oleh Hawkins (1987) dalam ruang lingkup penerbangan, mengusulkan bahwa system dilihat dari semua proses produktif yang selalu dihubungkan dengan empat komponen:

1. **Hardware**, mewakili komponen fisik dan non-manusia dari suatu sistem seperti peralatan, manual, simbol dan lain-lain.
2. **Software**, mewakili semua komponen seperti peraturan, prosedur, kebijakan, norma, dan semua peraturan formal atau non-formal yang menjelaskan bagaimana tiap komponen yang berbeda dari suatu system berinteraksi satu sama lainnya.
3. **Liveware**, menunjukkan komponen manusia serta aspek kerasionalan dan komunikasinya.
4. **Environment**, menunjukkan lingkungan sosio-politik dan ekonomi tempat terjadinya interaksi.



Gambar 2.17. SHEL Model

Menurut model tersebut, analisa dari sistem sosio-teknik harus memfokuskan pada interaksi antara sumber-sumbernya. Pada analisa faktor manusia, interaksi yang paling penting adalah yang melibatkan komponen liveware (L-H, L-S, L-L, L-E). Dari perspective individu, kita lebih tertarik dengan interaksi antara L-S yang menjelaskan interaksi dengan komponen yang sangat penting untuk berjalannya suatu sistem (software adalah dasar kedua paling penting dalam perspektif psikologi kultural).

Henrich pada tahun 1928 telah mengembangkan teori bahwa 80% kecelakaan kerja disebabkan oleh *unsafe act* (perilaku tidak aman), 18% kecelakaan disebabkan oleh *unsafe condition* (lingkungan tidak aman) dan 2 % kecelakaan disebabkan oleh faktor lain yang tidak dapat diperkirakan. Teori ini juga menitik beratkan pada faktor manusia sebagai penyebab terjadinya kecelakaan dengan berperilaku tidak aman. Banyak hal yang berkaitan dengan perilaku manusia (*human behavior*) masuk dalam bidang keselamatan, dimana perilaku manusia ini menjadi aspek yang sangat penting. Demikian pula dalam bidang ilmu kesehatan kerja, perilaku juga mendapat perhatian dengan ditemukannya fakta bahwa gaya hidup (*life style*) yang tidak sehat dapat meningkatkan angka penyakit. Sejalan dengan hal tersebut, berkembang ilmu perilaku manusia pada waktu sehat (*health behavior*), perilaku manusia pada waktu sakit (*illness behavior*), perilaku manusia dalam menggunakan fasilitas kesehatan (*health service behavior*) dan lain-lainnya. Dalam ilmu keselamatan juga berkembang berbagai teori dan model yang berupaya menjelaskan hubungan antara faktor perilaku manusia dengan berbagai kecelakaan kerja, misalnya teori faktor manusia (*human factors psychology*), teori mengenai pribadi cenderung celaka (*accident proneness*), kesalahan manusia (*human error*), perilaku selamat (*safety behavior*), dan juga budaya selamat (*safety culture*) dan lain-lainnya (Syaaf R. Z., 2008).

Dalam upaya peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja dari aspek pendekatan pada faktor manusia maka berkembang program seperti promosi kesehatan kerja agar manusia mampu memperbaiki gaya hidup yang lebih sehat, kemudian *behavior-based safety*, *safety culture* dan *safety climate* untuk mengurangi tingkat kesalahan manusia (*human error*) sehingga tingkat kecelakaan dapat diturunkan pada level yang paling rendah atau minimal (Syaaf R.Z., 2008).

### 2.5.3.2. Perilaku Keselamatan (Safety Behavior)

Perilaku diterjemahkan dari kata bahasa Inggris “behavior” dan kata tersebut sering dipergunakan dalam bahasa sehari-hari, namun seringkali pengertian perilaku ditafsirkan secara berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Perilaku juga sering diartikan sebagai tindakan atau kegiatan yang ditampilkan seseorang dalam hubungannya dengan orang lain dan lingkungan disekitarnya, atau bagaimana manusia beradaptasi terhadap lingkungannya. Perilaku, pada hakekatnya adalah aktifitas atau kegiatan nyata yang ditampilkan seseorang yang dapat teramati secara langsung maupun tidak langsung. Perilaku keselamatan adalah tindakan atau kegiatan yang berhubungan dengan faktor-faktor keselamatan kerja.

Menurut Zhou et al., (2007) ada empat faktor yang paling efektif untuk meningkatkan perilaku keselamatan, yaitu:

- *safety attitudes,*
- *employee's involvement,*
- *safety management systems and procedures,*
- *and safety knowledge.*

Faktor iklim keselamatan lebih berpengaruh terhadap perilaku keselamatan jika dibandingkan dengan pengalaman pekerja. Diperlukan strategi gabungan antara iklim keselamatan dan pengalaman kerja untuk meningkatkan perilaku keselamatan secara maksimal guna mencapai total budaya keselamatan.

Rundmo dan Hale (2003) melakukan studi terhadap sikap (attitude) manajemen terhadap keselamatan dan pencegahan terjadi kecelakaan. Hasil studi menunjukkan bahwa perilaku dipengaruhi oleh sikap. Sikap yang ideal untuk manajemen adalah komitmen yang tinggi, kefatalan rendah, toleransi terhadap pelanggaran rendah, emosi dan kekhawatiran tinggi, tunakuasa rendah, prioritas keselamatan tinggi dan penguasaan dan kesadaran tinggi.

Paul P.S. dan Maiti J. (2007) mempelajari peranan perilaku keselamatan pekerja terhadap terjadinya kecelakaan pada perusahaan tambang. Dari studi yang dilakukan diperoleh struktural model yang menunjukkan hubungan *work injury* secara signifikan dipengaruhi oleh: pengaruh negatif, pengambilan risiko, ketidakpuasan kerja, umur dan kinerja keselamatan.

Menurut Mullen J. (2004), ada beberapa faktor yang mempengaruhi perilaku keselamatan individu pekerja, yaitu:

- Faktor organisasi; yaitu beban kerja yang berlebih, persepsi kinerja keselamatan, pengaruh sosialisasi, sikap keselamatan dan persepsi terhadap risiko.
- Faktor *personal image*; yaitu kesan macho dan mampu untuk menghindari konsekuensi negatif, misalnya diejek atau diremehkan rekan kerja dan ketakutan kehilangan posisi.

Menurut Mullen bahwa faktor organisasi menentukan perilaku keselamatan pekerja. Sosialisasi organisasi terhadap karyawan baru sedini mungkin akan mempengaruhi persepsi pekerja terhadap iklim keselamatan, sikap keselamatan, komitmen terhadap keselamatan dan perilaku keselamatan.

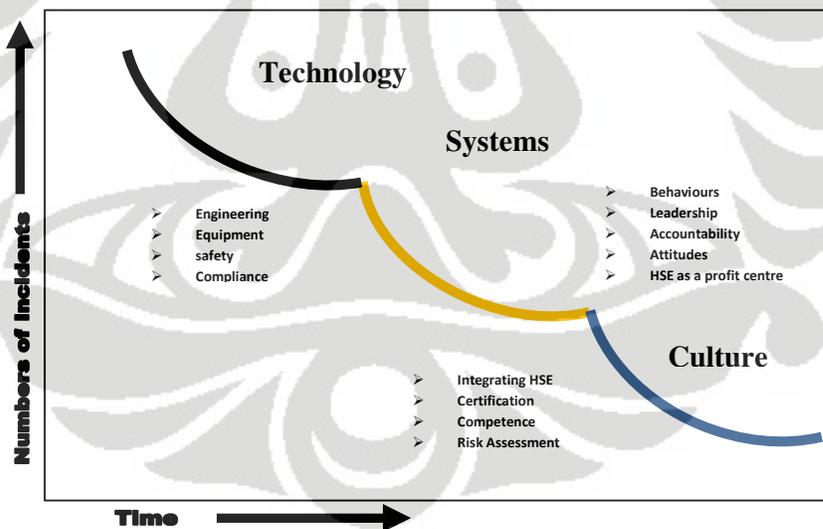
OHS training dan edukasi serta penegakan aturan, inspeksi, dan komunikasi merupakan karakteristik perilaku yang paling dibutuhkan untuk meningkatkan kinerja keselamatan untuk semua posisi diatas. Mengembangkan atau merubah budaya organisasi merupakan tantangan serta membutuhkan biaya dan waktu yang lama. Dengan menentukan target yang tepat, seperti OHS advisor dan supervisor, kemudian mengidentifikasi keahlian dan kemampuan serta perilaku yang paling dibutuhkan yang dapat mengarah kebudayaan keselamatan yang positif, kinerja keselamatan dapat diperbaiki dan dimaksimalkan. Dalam hal ini ditunjukkan pentingnya peran pimpinan dalam merubah budaya organisasi dan keselamatan. Pimpinan disini bukan hanya pada tingkatan manajemen akan tetapi sampai pada pimpinan lapangan seperti *foremen* (Dingsdag et al., 2008).

Pendekatan budaya keselamatan dimulai dari level manajemen ke level yang lebih rendah (*top-down approach*), sementara pendekatan perilaku keselamatan dimulai dari level bawah ke level atas (*bottom-up approach*). Keberhasilan kedua pendekatan tersebut bergantung pada ada tidaknya perubahan pada tata nilai dasar dari organisasi, itikad, dan asumsi tentang keselamatan di tempat kerja. DeJoy (2005) mengusulkan metode pendekatan terintegrasi antara pendekatan budaya keselamatan dan perilaku keselamatan. Pendekatan budaya keselamatan lebih bersifat komprehensif namun kurang memberikan solusi pada masalah keselamatan yang spesifik. Disisi lain, pendekatan perilaku lebih bersifat spesifik dalam menyelesaikan masalah keselamatan namun kurang komprehensif. Dengan demikian, disimpulkan bahwa kombinasi pendekatan kedua metode ini akan saling melengkapi dan menghasilkan perubahan yang lebih komprehensif sekaligus menyelesaikan masalah-

masalah keselamatan yang spesifik. Model pendekatan terintegrasi yang diusulkan sangat baik dan dapat diterima secara konsep (DeJoy, 2005).

### 2.5.3.3. Budaya Keselamatan (Safety Culture)

Berawal dari laporan International Atomic Energy Authority (IAEA) pada tahun 1991 tentang kecelakaan yang terjadi di Chernobyl yang memperkenalkan budaya keselamatan, perhatian akan budaya keselamatan pada suatu organisasi mulai dilirik sebagai salah satu penyebab terjadinya major accident. Usaha untuk menurunkan tingkat kecelakaan dimulai dari usaha untuk memperbaiki dan meningkatkan teknologi (*engineering, equipment, Safety, compliance*) dan sistem (*integrating HSE, certification, competence, risk assessment*), namun demikian teknologi dan sistem ini tidak dapat menurunkan tingkat kecelakaan sampai pada tingkat yang diinginkan (Gambar 2.18). Kemudian pada akhir tahun 1990 dilakukan pendekatan budaya (*behavior, leadership, accountability, attitudes, HSE as profit center*), ternyata pendekatan ini dapat menurunkan tingkat kecelakaan ke level yang lebih rendah. (Hudson, 2007).

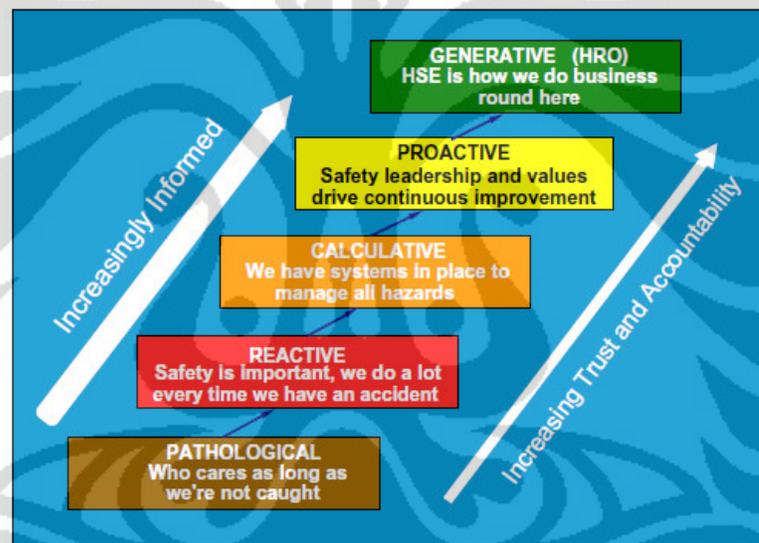


Gambar 2.18. Perkembangan Usaha Untuk Menurunkan Tingkat Kecelakaan.

Sumber : Hudson, 2007

Gambar 2.19 menggambarkan tingkatan-tingkatan budaya keselamatan K3. Tingkatan paling bawah dari budaya keselamatan adalah *pathological*, dimana pada kondisi ini setiap orang yang ada dalam organisasi tidak ada yang peduli satu sama

lain karena menganggap itu adalah tanggung jawab dan risiko masing-masing. Tingkatan kedua sedikit lebih baik daripada tingkatan pertama yaitu reaktif, dimana sudah terbentuk budaya bertindak setelah terjadi kecelakaan atau kegagalan. Tingkatan ketiga adalah *calculative* dimana pada tingkatan ini sudah terdapat sistem pengendalian bahaya dan risiko di tempat kerja. Tingkatan keempat adalah proaktif dimana *safety leadership* dan *values* sudah diterapkan, dan perbaikan secara terus menerus sudah dilakukan dengan melibatkan pekerja untuk bersifat proaktif dalam mengidentifikasi potensi bahaya dan risiko. Tingkatan paling tinggi adalah *generatif*, pada tingkatan ini keselamatan dan kesehatan kerja sudah merupakan bagian dari setiap proses dan kegiatan bisnis pada perusahaan tersebut dalam segala tingkatan (Hudson, 2007).



Gambar 2.19. Tangga budaya Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Sumber : Hudson, 2007.

Edgar Schein, ahli psikologi organisasi, mengembangkan model tentang budaya organisasi yang dikelompokkan pada tiga tingkatan yaitu sesuatu yang dapat langsung teramati yang disebut artifak dan perilaku, sedangkan yang tidak teramati tapi bisa diketahui dan dijabarkan adalah tata nilai, dan yang terakhir adalah asumsi dasar. Menurut model ini setiap budaya keselamatan pada hakekatnya mempunyai karakteristik tertentu. Karakteristik tersebut akan tampak pada tiap tingkatan baik pada tingkat artifak dan perilaku, tingkat tata nilai maupun pada tingkat asumsi dasar (Syaaf R.Z., 2008).

Menurut Grote G. (2007) budaya keselamatan dapat ditinjau dari kaca mata ketidakpastian manajemen organisasi. Ada dua pendekatan terhadap ketidakpastian organisasi, yaitu:

1. Meminimalkan ketidakpastian (minimizing uncertainties-MU).
2. Mengatasi ketidakpastian (Coping with uncertainties-CU).

Ada kekurangan dan kelebihan masing-masing dari kedua metode pendekatan diatas. Sistem budaya keselamatan diusulkan untuk mengkoordinasikan dan mengintegrasikan kedua metode tersebut. Berdasarkan konsep *socio-technical model* dari budaya keselamatan dikembangkan angket pertanyaan yang dapat digunakan untuk audit manajemen dan budaya keselamatan. Ada 3 pendekatan konsep *socio-technical model* yaitu *Proactive*, *Socio-technical integration* dan *Values consciousness*. Mengaitkan sistem manajemen, budaya keselamatan dan sociotechnical model dapat mengurangi kelemahan budaya keselamatan, karena:

- Budaya keselamatan akan lebih terpancang dan mengakar pada keseluruhan organisasi.
- Disain organisasi akan terhubung dengan prinsip keselamatan baik dari sisi material dan immaterial (moral).

Peran budaya keselamatan dalam pendekatan CU adalah *soft coordination* sementara pendekatan MU adalah *hard coordination*. Pendekatan CU dengan *soft coordination* lebih sesuai dilakukan untuk peningkatan partisipasi, keterlibatan, perilaku, tanggungjawab, kepemimpinan dan interaksi team. Sementara pendekatan MU dengan *hard coordination* lebih menekankan pada perintah dan kontrol sehingga lebih sesuai untuk pekerjaan rutin.

Menurut Choudhry R.M., et al. (2007), untuk mengembangkan budaya keselamatan yang positif ada beberapa point yang harus dilakukan yaitu; merubah sikap dan perilaku, komitmen manajemen, keterlibatan karyawan, strategi promosi, training & seminar dan spesial program. Budaya keselamatan yang positif memiliki lima komponen:

1. Komitmen manajemen terhadap keselamatan.
2. Perhatian manajemen terhadap pekerja.
3. Kepercayaan antara manajemen dan pekerja.
4. Pemberdayaan pekerja.

5. Pengawasan, tindakan perbaikan, meninjau ulang sistem dan perbaikan secara terus menerus.

Ada dua pendekatan untuk mengukur kinerja sistem keselamatan:

- *Reactive, Downstream or Lagging Indicators*
- *Proactive, Upstream or Leading Indicators*

Berdasarkan hasil kajian berbagai literatur tentang budaya keselamatan yang dilakukan oleh Choudhry R.M., et al. maka dapat disimpulkan bahwa:

- Ditemukan banyak organisasi termasuk bidang konstruksi sangat tertarik dengan konsep budaya keselamatan sebagai media untuk mengurangi kecelakaan kerja.
- Dari sisi definisi dapat ditegaskan bahwa budaya keselamatan tidak sama dengan iklim keselamatan. Iklim keselamatan merupakan produk dari budaya keselamatan.
- Budaya keselamatan yang positif akan menghasilkan sistem manajemen keselamatan yang efektif.

#### **2.5.3.4 Metodologi Kajian Keselamatan Faktor Manusia**

Ada beberapa jenis metodologi yang digunakan dalam melakukan kajian keselamatan faktor manusia dalam suatu organisasi dengan tujuan yang berbeda-beda. Misalnya kajian perilaku dan budaya keselamatan dapat dilakukan untuk melihat pada tahap mana perilaku dan budaya keselamatan suatu organisasi berada atau untuk melihat hubungan antara tingkat kecelakaan dengan perilaku dan budaya keselamatan. Setiap organisasi selalu memiliki ciri-ciri atau karakteristik sendiri-sendiri. Untuk melihat ciri dan karakteristik tersebut dapat dilakukan dengan metode survey pada seluruh pegawai dan juga pada organisasi. Data yang diinginkan dapat diperoleh melalui metode wawancara, kuesioner, diskusi kelompok terfokus maupun dengan cara pengamatan. Tentunya setiap metode yang ada mempunyai kelebihan dan keterbatasannya sendiri-sendiri. Data yang diperoleh tentunya ada yang bersifat kuantitatif maupun kualitatif dan masing-masing membutuhkan cara analisis tersendiri untuk memperoleh suatu kesimpulan yang tepat.

##### **1. Penyebaran Angket (*Questionare*)**

Metode yang paling sering digunakan dalam berbagai penelitian perilaku dan budaya keselamatan adalah penyebaran angket secara langsung kepada para

pekerja untuk mendapat informasi dan data. Angket digunakan di dalam survey atau sensus untuk memperoleh laporan fakta, sikap dan pernyataan subjektif lainnya. Ada tiga perspektif teori yang harus diperhatikan dalam membuat angket, yaitu (Martin, 2006):

1. Model Standar (*The Model of the Standardized Survey Interview*)

Menurut teori ini angket harus terdiri dari pertanyaan standar dengan tolok ukur yang sama sehingga jawaban atau respon dari responden dapat dibandingkan satu sama lainnya.

2. *Question Answering as a Sequence of Cognitive Tasks*

Teori ini distimulasi oleh usaha untuk mengaplikasikan psikologi kognitif. Responden harus melakukan serangkaian tugas pengamatan untuk menjawab pertanyaan dari angket. Mereka harus memahami dan menginterpretasikan pertanyaan, menggali informasi dari ingatan, memadukan informasi dan kemudian baru merespon pertanyaan.

3. Wawancara sebagai Percakapan (*The Interview as Conversation*)

Responden tidak harus mengartikan dan menjawab pertanyaan secara harfiah, akan tetapi mereka dapat menyimpulkan dan mengartikan pertanyaan tersebut sesuai dengan pemahaman dan kondisi mereka. Pertanyaan dibuat dalam bentuk naskah komunikasi yang memungkinkan adanya interaksi antara penanya dan responden.

## 2. Observasi

Observasi adalah kegiatan memperhatikan secara akurat, mencatat fenomena yang muncul, mempertimbangkan hubungan antar aspek dalam fenomena tersebut. Tujuan observasi adalah untuk mendeskripsikan setting yang dipelajari, aktivitas-aktivitas yang berlangsung dan makna kejadian yang diamati tersebut. Deskripsi harus akurat, faktual sekaligus teliti tanpa harus dipenuhi berbagai catatan panjang lebar yang tidak relevan. Patton (1990) mengatakan data hasil observasi menjadi data penting karena (Poerwandari, 2005):

- Peneliti akan mendapatkan pemahaman lebih baik tentang konteks yang diamati.
- Memungkinkan peneliti untuk bersikap terbuka, berorientasi pada penemuan daripada pembuktian, dan mendekati masalah secara induktif.

- Memungkinkan peneliti mengamati hal hal yang oleh partisipan sendiri kurang disadari.
- Memungkinkan memperoleh data yang tidak diungkapkan oleh subyek yang diteliti.
- Memungkinkan bergerak lebih jauh dari presepsi selektif yang ditampilkan subyek.
- Memungkin peneliti merefleksikan dan bersikap introspektif terhadap penelitian yang dilakukannya.

### 3. Audit Dokumen dan Catatan

Dokumen dan catatan sudah lama digunakan dalam penelitian sebagai sumber informasi atau data. Dokumen dan catatan yang digunakan dalam penelitian tentunya adalah dokumen dan catatan resmi yang dapat dipertanggungjawabkan, seperti laporan kecelakaan, *work permit*, *work instruction*, laporan hasil rapat dan sebagainya. Alasan penggunaan dokumen dan catatan sebagai sumber data adalah sebagai berikut (Moleong, 2005):

- Merupakan sumber yang stabil, kaya dan mendorong.
- Berguna sebagai bukti untuk suatu pengujian.
- Mudah diperoleh.

### 4. KJ Analysis (*Affinity Diagram*)

*KJ analysis* atau yang banyak dikenal dengan nama *affinity diagram* adalah suatu teknik dalam menggali dan mengorganisasi informasi verbal kedalam bentuk visual terstruktur. Metode ini dikembangkan oleh Jiro Kawakita pada tahun 1960, dan banyak digunakan sebagai tools untuk perbaikan atau peningkatan kinerja bisnis. Suatu *KJ analysis* dimulai dengan suatu ide yang spesifik yang dapat kemudian dikembangkan menjadi kategori yang lebih luas. *KJ analysis* dapat digunakan untuk:

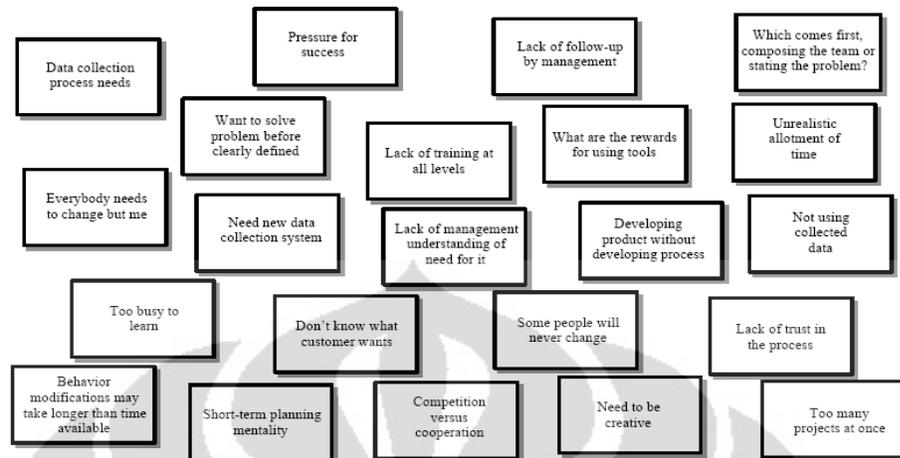
- 1) Menentukan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap suatu masalah atau kegagalan dan,
- 2) Mengidentifikasi area-area yang dapat diperbaiki.

*KJ analysis* merupakan suatu tools yang sangat bagus digunakan untuk mengajak peserta diskusi untuk lebih kreatif dalam mencari solusi suatu permasalahan. Metode ini sangat baik digunakan dalam suatu kelompok yang

memiliki latar belakang dan keahlian yang berbeda-beda, atau situasi yang cukup rumit dan membingungkan dimana situasi yang dihadapi belum tergalai atau diketahui secara baik oleh peserta diskusi. Beberapa hal yang unik dari metode KJ analysis adalah:

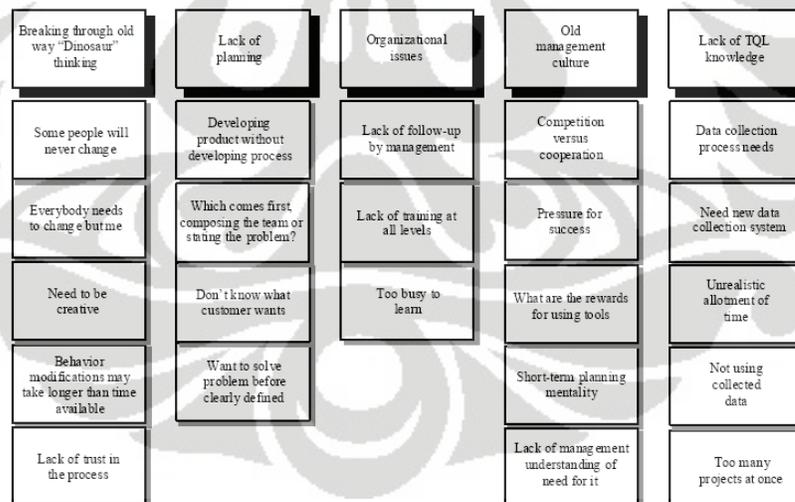
1. ***Affinity silently***; adalah cara yang paling efektif dalam menyampaikan ide dalam sebuah kelompok yaitu dengan menampilkan ide secara tertulis tanpa bicara. Hal ini memiliki dua hal yang positif yaitu mendorong cara berfikir yang tidak konvensional dan yang kedua mengurangi pertengkaran atau pertentangan.
2. ***Go for gut reaction***; adalah mendorong anggota kelompok untuk bereaksi cepat terhadap apa yang dilihat atau dipikirkan. Dan semua anggota kelompok dapat menyampaikan apa yang ada dalam pikirannya.
3. ***Handle disagreement simply***; adalah cara sederhana untuk menangani ketidaksepakatan dalam cara pandang terhadap suatu ide. Jika seseorang atau anggota kelompok tidak setuju terhadap suatu ide pada kategori tertentu, mereka tinggal memindahkan ke dalam kategori yang lebih tepat hingga ditemukan konsensus, jika tidak ditemukan konsensus maka dapat dibuat duplikat ide untuk kedua kategori.

Metode ini dilakukan dengan cara *brainstorming* untuk mendapatkan ide-ide dari peserta diskusi sesuai dengan topik diskusi. *Brainstorming* dilakukan bukan dengan menyampaikan pendapat secara verbal akan tetapi disampaikan secara tertulis di atas sepotong kertas berupa kartu atau post-it note. Kemudian ide-ide atau pendapat tersebut ditempelkan pada papan tulis atau dinding dimana memungkinkan untuk mengelompokkan ide-ide yang sama ke dalam satu kategori (Gambar 2.20). Semua peserta kelompok diskusi diajak untuk membaca semua ide-ide yang tertempel dan mengelompokkan secara bersama-sama untuk mendapatkan konsensus serta memberi nama kategori-kategori tersebut (Gambar 2.21). Melalui diskusi dengan peserta kemudian dicari hubungan sebab dan akibat dari semua kategori yang ada.



Gambar 2.20. Ide-ide dalam bentuk post-it note yang ditempelkan oleh peserta diskusi

Metode-metode tersebut diatas dapat digunakan secara sendiri-sendiri atau gabungan beberapa metode, hal ini tentunya tergantung dari jenis dan kedalaman informasi yang ingin diperoleh. Namun dalam banyak penelitian budaya dan perilaku keselamatan, metode yang paling sering digunakan adalah metode penyebaran angket. Beberapa penelitian menggabungkan penyebaran angket dengan fokus grup diskusi dan audit dokumen dan catatan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.



Gambar 2.21. Ide-ide dalam bentuk post-it note yang ditempelkan oleh peserta diskusi dan telah dikelompokkan

## 2.6. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan dan kesehatan kerja harus mempunyai kerangka pikir yang bersifat sistematis dan berorientasi kesistiman pada penerapannya di berbagai sektor didalam kehidupan atau disuatu organisasi. Untuk menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja ini diperlukan juga pengorganisasian secara baik dan benar. Sehingga diperlukan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) yang terintegrasi dan perlu dimiliki oleh setiap organisasi. Melalui sistem manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, pola pikir dan berbagai pendekatan yang ada diintegrasikan ke dalam seluruh kegiatan operasional organisasi sehingga organisasi dapat berproduksi dengan cara yang sehat dan aman, efisien serta menghasilkan produk yang sehat dan aman pula serta tidak menimbulkan dampak lingkungan yang tidak diinginkan.

Dewasa ini, perlunya organisasi memiliki sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang terintegrasi sudah merupakan suatu keharusan dan telah menjadi peraturan. Organisasi Buruh Sedunia (ILO) menerbitkan panduan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Di Indonesia panduan yang serupa dikenal dengan istilah SMK3, sedang di Amerika OSHAS 1800-1, 1800-2 dan di Inggris BS 8800 serta di Australia disebut AS/NZ 480-1. Secara lebih rinci lagi asosiasi di setiap sektor industri di dunia juga menerbitkan panduan yang serupa seperti misalnya khusus dibidang transportasi udara, industri minyak dan gas, serta instalasi nuklir dan lain-lain sebagainya. Baru-baru ini organisasi tidak hanya dituntut untuk memiliki sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang terintegrasi, namun juga diharapkan memiliki budaya sehat dan selamat (*safety and health culture*) dimana setiap anggotanya menampilkan perilaku aman dan sehat.

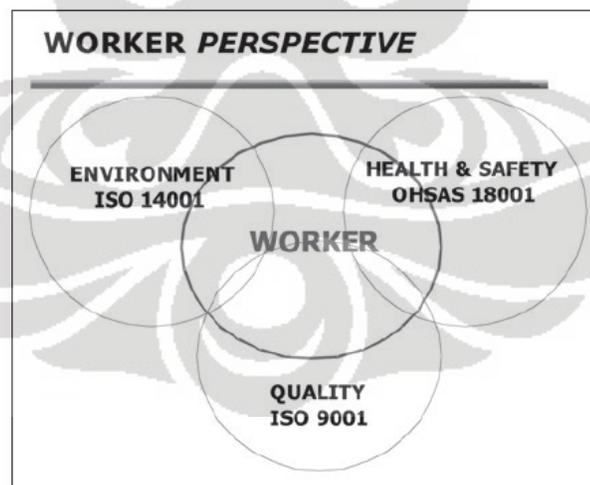
### 2.6.1. Sistem Manajemen Keselamatan Terintegrasi

Definisi "integrasi" didalam kamus bahasa sering diartikan "menggabungkan". Dalam banyak kasus mengintegrasikan sistem manajemen standar adalah menggabungkan elemen-elemen dari berbagai sistem dan hasil penggabungan tersebut dikatakan sebagai sistem terintegrasi. Berdasarkan definisi dari British Standard Institute, bahwa perubahan gabungan menjadi terintegarsi adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 – Pengabungan: Sistem manajemen yang terpisah digunakan secara bersama-sama dalam satu organisasi.

- Langkah 2 – Dapat diintegrasikan: Elemen-elemen umum didalam sistem manajemen telah diidentifikasi.
- Langkah 3 – Mengintegrasikan: Elemen-elemen umum yang telah diidentifikasi sedang diintegrasikan.
- Langkah 4 – Terintegrasi: Ada satu sistem yang menggabungkan semua elemen-elemen umum.

Strategi penggabungan sudah terdapat didalam standar primer kunci, sebagai contoh adalah Anex B dari ISO 14001 yang menjelaskan hubungan antara ISO 9001:2000 dan ISO 14001:2004. Tabel A.1 dari OHSAS 18001:1999 memperlihatkan hubungan antara OHSAS 18001:1999, ISO14001:1996 (versi lama) dan ISO 9001:2000. Meskipun terlihat mudah untuk mengintegrasikan dari sistem-sistem tersebut, namun sebenarnya tidak semudah yang dibayangkan dengan hanya menggabungkan begitu saja elemen-elemen yang sama. Integrasi yang sejati (*genuine integration*) tidak hanya sekedar menggabungkan elemen-elemen umum menjadi satu sistem akan tetapi adalah bagaimana suatu organisasi dapat mendorong proses integrasi itu lebih jauh dengan cara melibatkan karyawan, proses review dan pendekatan sistem sehingga sistem tersebut benar-benar terintegrasi secara sistem dan terintegrasi penuh kedalam organisasi operasi bisnis (Pojasek R.B., 2006).



Gambar 2.22. Sistem Terintegrasi Dari Sudut Pandang Pekerja.

Sumber : Pojasek R.B., 2006

Untuk mendapat sistem terintegrasi yang benar, maka fokus dari sistem manajemen harus dipusatkan pada karyawan yang menjadi pelaksana dari sistem

yang diintegrasikan tersebut didalam suatu organisasi (Gambar 2.22). Integrasi dari komponen-komponen sistem manajemen terfasilitasi apabila karyawan yang bekerja dalam suatu organisasi bertanggung jawab langsung terhadap masalah-masalah kualitas, lingkungan dan keselamatan dan kesehatan kerja. Integrasi sistem manajemen dalam tingkat pekerja akan mengurangi kebingungan pekerja yang sering terjadi apabila berhadapan dengan multistandar dari berbagai sistem (Pojasek R.B., 2006).

Konsep manajemen keselamatan yang lebih moderen memiliki filosofi bahwa keselamatan kerja berhubungan dengan kualitas produk. Hal ini dapat dilihat dari proses evolusi dari sistem manajemen keselamatan dan dibandingkan dengan sistem manajemen kualitas maka dapat dilihat ada kesamaan dalam proses evolusi kedua sistem tersebut (Tabel 2.6). Kedua sistem manajemen ini mengarah pada konsep yang sama yaitu Total Quality dan Total Safety. Dumas (1987) melakukan kajian dilebih 200 perusahaan selama 5 tahun, dan dia menyimpulkan bahwa ada kesamaan komponen dari sistem manajemen kualitas dan keselamatan. Dan salah satu kesimpulan dari studi yang dilakukan Dumas adalah bahwa keselamatan adalah salah satu dimensi dari kualitas, misalnya mengurangi cacat produk berarti juga mengurangi pratek tindakan tidak aman. Minter (1991) juga memastikan bahwa sebagai konsekuensi dari segala sesuatu yang aman atau selamat akan berdampak pada kualitas yang baik. Oleh karena tujuan dari kontrol kualitas adalah memperbaiki kualitas produk melalui pendeteksian dan pengurangan produk cacat, dengan cara yang sama maka tujuan dari kontrol keselamatan dapat didefinsikan sebagai pengurangan kecelakaan melalui pengurangan tindakan tidak aman dan kondisi kerja tidak aman (Herrero G.S. et. al., 2002).

Tabel 2.6 Tahapan Evolusi Dari Konsep Manajemen Keselamatan dan Kualitas

Quality management steps	Safety management steps
Quality control	Safety control
Quality assurance	Safety assurance or guarantee
Total quality	Total safety

Sumber : Herrero G.S. et. al., 2002

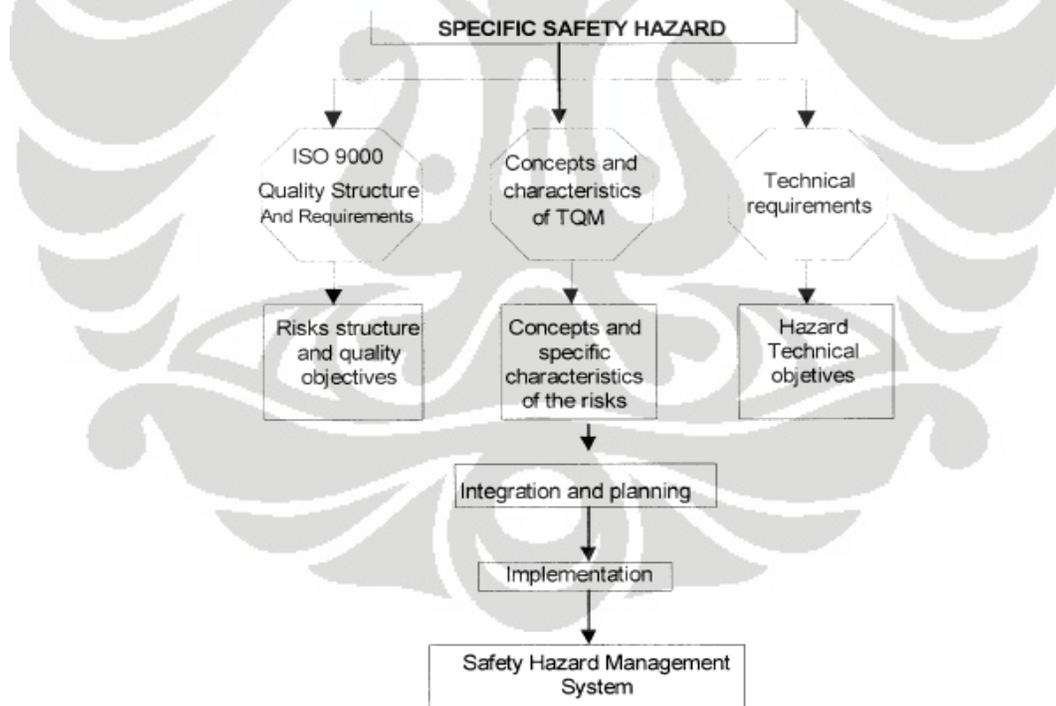
Dengan melihat adanya kesamaan dari berbagai elemen dari kedua sistem manajemen ini (Tabel 2.7), maka dalam konsep manajemen keselamatan yang

moderen kedua sistem ini mulai diintegrasikan dalam penerapannya. Menurut Manzella (1977), sistem manajemen keselamatan yang terintegrasi dengan sistem manajemen kualitas akan menghasilkan kinerja keselamatan yang sangat baik.

Tabel 2.7. Prinsip dan Hubungan Sistem Manajemen Kualitas dan Keselamatan Kerja

Safety	Quality
Objective: zero accidents	Objective: zero defects
Analysis of incidents	Analysis of events
Documenting the politics of safety the procedures and the instructions	Documenting the politics of quality the procedures and the instructions of work
Safety committees	Quality circles
Participation of the workers	Participation of the workers
Statistical analysis	Statistical control of the process
All accidents and injuries could be prevented	The not conformities could be prevented

Source: Manzella (1997)



Gambar 2.23. Sistem Keselamatan Terintegrasi yang Dikembangkan oleh Weinstein  
Sumber : Herrero G.S. et. al., 2002

Rahimi (1995) mengusulkan integrasi rencana strategik (jangka panjang) dari keselamatan kerja kedalam Total Quality Management System (TQMS). Dari model

yang diusulkan oleh Rahimi termasuk konsep strategic safety management (SSM) dan self-managed teams (SMT). Salah satu karakteristik dari model Rahimi ini adalah team yang juga terintegrasi antara team keselamatan kerja dan kualitas sehingga terbentuk kerjasama yang baik (teamwork). Weinstein (1996) mengembangkan Safety Hazard Management System (SHMS) yang mengintegrasikan prinsip-prinsip TQM, persyaratan dari ISO 9000 dan persyaratan teknis dari standar atau regulasi yang ada, bentuk sistem tersebut seperti pada Gambar 28 (Herrero G.S. et. al., 2002)..

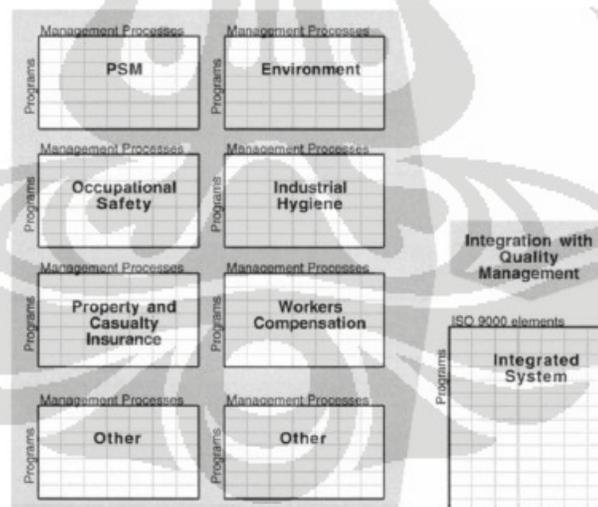
Dalam banyak kasus, perusahaan tidak memiliki pilihan dalam menerapkan sistem manajemen tersebut secara terpisah, hal ini disebabkan karena rentang waktu dari proses ratifikasi sistem manajemen tersebut yang memang sangat berjauhan. Sebagai contoh, ISO 9000 diratifikasi pertama kali tahun 1987, sementara ratifikasi ISO 14000 baru dilakukan pada tahun 1996 dan OHSAS 18001 pada tahun 2000. Hal ini telah menyebabkan pendekatan terhadap penyelesaian masalah baik kualitas, keselamatan dan lingkungan dilakukan secara bagian per bagian (*piecemeal approach*). Pendekatan seperti ini telah mulai berubah karena dianggap tidak efektif dan efisien, banyak perusahaan sudah melakukan pendekatan yang lebih kearah sistem manajemen yang bersifat lebih komprehensif dan terintegrasi. Sistem terintegrasi tidak hanya menguntungkan akan tetapi dari sisi operasional juga lebih hemat dan bersinergis (Krause L.J. et.al., 2008).

Pada umumnya kebanyakan perusahaan melakukan integrasi antara sistem manajemen lingkungan ISO 14001 dengan sistem manajemen keselamatan OHSAS 18001 dan/atau sistem manajemen kualitas ISO 9001. Dalam perkembangannya sistem manajemen ISO 14001 dan ISO 9001 telah diselaraskan dan diharmoniskan sehingga lebih mudah untuk diintegrasikan. Demikian pula halnya dengan OHSAS 18001 yang juga telah memiliki kesamaan struktur dengan ISO 14000 sehingga dapat diintegrasikan baik dengan ISO 14001 maupun ISO 9001 (Krause L.J. et.al., 2008).

Pada tahun 1996, CCPS mengeluarkan *guideline* untuk mengintegrasikan antara *Process Safety Management, Environment, Safety, Health and Quality*. Sistem manajemen tersebut dikembangkan secara terpisah dan mandiri, meskipun elemen-elemennya memiliki kesamaan disana-sini. Hal tersebut membuat penerapan beberapa sistem tersebut secara terpisah menjadi tidak efektif dan efisien. Hal inilah yang melatar belakangi dikeluarkannya *guideline* ini dan ditambah dengan adanya kebutuhan pada saat itu oleh perusahaan-perusahaan di Amerika, yaitu:

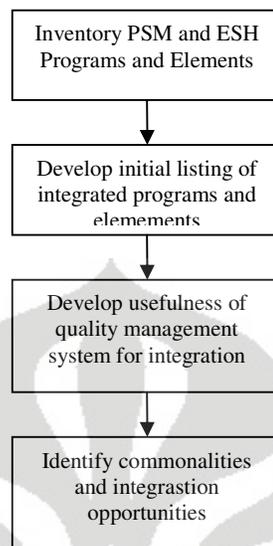
1. Meningkatnya dan tumpang tindihnya regulasi yang dikeluarkan oleh pemerintah, hal ini berdampak pada sistem dokumentasi, program dan perbaikan kinerja.
2. Adanya tekanan untuk menurunkan biaya operasional dan pada saat yang sama harus meningkatkan kinerja.
3. Adanya tekanan untuk melakukan perbaikan terus menerus dan berhenti melakukan tindakan koreksi terhadap kegagalan.
4. Menyadari adanya keuntungan dari sistem integrasi manajemen yang lain yang sudah diterapkan.

Gambar 2.24 memperlihatkan kerangka sistem terintegrasi yang dimaksud oleh CCPS dalam guideline ini. Meskipun guideline ini dikembangkan untuk mengintegrasikan PSM dan ESH, namun tidak menutup kemungkinan untuk menambahkan program lain (CCPS, 1996). Proses penggabungan beberapa sistem ini berangkat dari kesamaan masing-masing elemen untuk setiap program. Dalam mempersiapkan justifikasi awal untuk mengintegrasikan sistem manajemen tersebut maka perlu dilakukan tahapan seperti pada Gambar 2.25



Gambar 2.24. Kerangka Sistem Terintegrasi *Process Safety Management, Environment, Safety, Health and Quality*.

Sumber : CCPS, 1996



Gambar 2.25. Tahap Pengembangan Justifikasi Awal Sistem Terintegrasi.

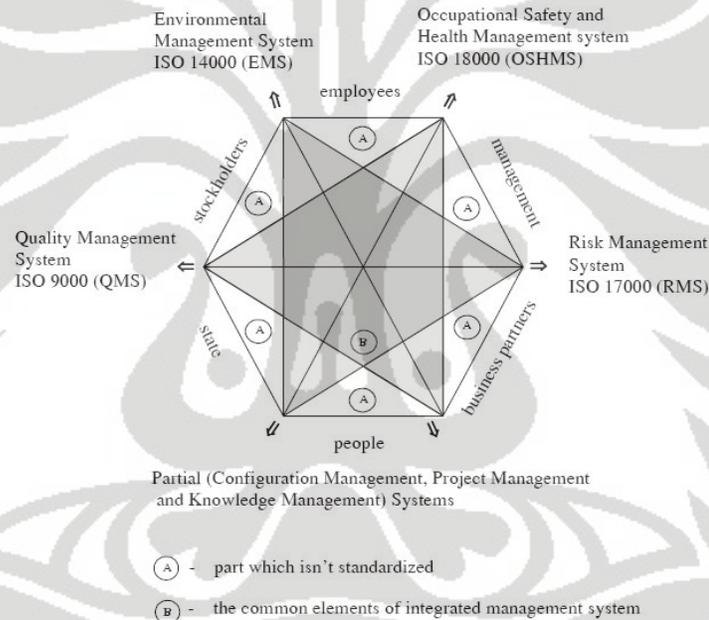
Sumber : CCPS, 1996

Langkah pertama yang dilakukan adalah menginventarisir semua program dan elemen-elemen yang terdapat dalam sistem manajemen PSM, ESH dan kualitas. Dalam melakukan inventarisir elemen-elemen dan program dari masing-masing sistem manajemen ini harus diketahui dengan baik tujuan dan isi dari elemen dan program tersebut, sekaligus dilihat dan dipelajari kemungkinan elemen dan program itu dikembangkan kedalam sistem manajemen lainnya. Sebagai contoh, apakah program pencegahan tumpahan bahan kimia dalam sistem manajemen lingkungan dapat digunakan atau dikembangkan kedalam sistem manajemen keselamatan, PSM atau kualitas. Langkah kedua adalah membuat daftar semua elemen-elemen atau program-program yang memungkinkan untuk diintegrasikan, kemudian membuat prioritas mana yang lebih penting atau yang harus didahulukan. Tahap ketiga melihat atau mempelajari manfaat atau masalah yang mungkin muncul dari masing-masing elemen atau program terintegrasi tersebut, termasuk mempelajari dampaknya terhadap proses dan biaya operasional. Dan tahap terakhir adalah mengidentifikasi hal-hal yang berlaku umum dan kemungkinan untuk diintegrasikan (CCPS, 1996)

Menurut Savic.S (2001), mengintegrasikan sistem terdiri dari tiga fasa, yaitu; fasa pertama adalah mengurai semua sistem manajemen yang akan diintegrasikan, fasa kedua menyatukan elemen-elemen yang umum dan fasa ketiga adalah

mengintegrasikan elemen-elemen umum tersebut. Elemen-elemen dikatakan umum apabila memiliki:

- Kepentingan dan tujuan yang sama.
- Proses organisasi dan lingkungan yang sama.
- Metoda dan teknik, teori manajemen dan praktek yang sama.
- Proses manajemen konsep yang serupa.
- Sumber daya manajemen konsep yang serupa.
- Konsep pengukuran, analisa dan perbaikan yang sama.
- Tanggung jawab manajemen yang sama.
- Konsep bisnis, misi dan visi organisasi yang sama.



Gambar 2.26. Ilustrasi Dari Sistem Manajemen Terintegrasi.

Sumber : Savic.S, 2001

Berdasarkan konsep pengembangan sistem terintegrasi ini maka memungkinkan untuk mengembangkan sistem manajemen terintegrasi seperti ilustrasi sistem manajemen terintegrasi pada Gambar 2.26 Dimana dalam sistem manajemen terintegrasi tersebut dibangun oleh elemen-elemen umum dari sistem manajemen yang diintegrasikan (B) dan memungkinkan juga terdapat elemen atau program yang tidak standar (A).

### 2.6.2. Sistem Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia

Manajemen bahaya reaktifitas kimia adalah upaya terus menerus untuk melindungi properti, pekerja, kontraktor, masyarakat dan lingkungan dari bahaya reaktifitas kimia (Johnson et al., 2003). Pada tahun 2003, CCPS mempublikasikan *guidelines* cara pelaksanaan manajemen bahaya reaktifitas kimia (*Essential Practice for Managing Chemical Reactivity Hazards*) yang lebih mudah dipahami (Berger, 2006). Dalam *guidelines* baru ini terdapat 12 elemen penting dari manajemen bahaya reaktifitas kimia, dimana elemen-elemen tersebut sejalan dengan sistem manajemen yang sudah ada yaitu *Proses Safety Management Standard* (PSM), Tabel 2.8. Sebagian elemen-elemen yang terdapat dalam PSM telah menerapkan prinsip-prinsip manajemen bahaya reaktifitas kimia.

Tabel 2.8. Perbandingan Manajemen Bahaya dari CCPS, OSHA PSM/EPA RMP Rule dan Seveso II

<i>Chemical Reactivity Hazard Management</i>	<i>CCPS Elements</i>	<i>OSHA PSM Standard and EPA RMP Rule</i>	<i>Seveso II</i>
2.2. <i>Life Cycle Issues</i>	<i>Management of Change</i>	<i>Management of Change</i>	<i>Management of Change</i>
2.4. <i>Product Stewardship</i>	<i>Enhancement of Process Safety Knowledge</i>	—	—
4.1. <i>Develop System to Manage Chemical Reactivity Hazards</i>	<i>Management Systems</i>	<i>Management System</i>	<i>Safety Management System</i>
4.2. <i>Collect Chemical Reactivity Data</i>	<i>Process Knowledge and Documentation</i>	<i>Process Safety Information</i>	<i>Identification of Major Hazards</i>
4.3. <i>Identify Chemical Reactivity Hazards</i>	<i>Process Risk Management</i>	<i>Process Hazard Analysis</i>	<i>Identification of Major Hazards</i>
4.4. <i>Test for Chemical Reactivity</i>	<i>Process Knowledge and Documentation</i>	<i>Process Safety Information</i>	<i>Identification of Major Hazards</i>
4.5. <i>Assess Chemical Reactivity Risks</i>	<i>Process Risk Management</i>	<i>Process Hazard Analysis</i>	<i>Evaluation of Major Hazards</i>
4.6. <i>Identify Process Controls and Risk Management Options</i>	<i>Process Risk Management</i>	<i>Process Hazard Analysis</i>	<i>Operational Control</i>
4.7. <i>Document Chemical Reactivity Risks and Management Decisions</i>	<i>Process Knowledge and Documentation Process Risk Management</i>	<i>Process Safety Information, Process Hazard Analysis and Operating Procedures</i>	<i>Operational Control</i>
4.6. <i>Communicate and Train on Chemical Reactivity Hazards</i>	<i>Training and Performance Process Risk</i>	<i>Training Contractors</i>	<i>Organization and Personnel</i>

	<i>Management</i>		
<i>4.9. Investigate Chemical Reactivity Incidents</i>	<i>Incident Investigation</i>	<i>Incident Investigation</i>	<i>Monitoring Performance</i>
<i>4.10. Review, Audit, Manage Change, and Improve Hazard Management Practice/Program</i>	<i>Audits and Corrective Action Management of Change Enhancement of Process Safety Knowledge</i>	<i>Compliance Audits Management of Change</i>	<i>Audit and Review Management of Change</i>

Sumber : Johnson et al, 2003

Meskipun banyak diantara keduabelas elemen tersebut diatas sejalan dengan sistem manajemen yang sudah ada yaitu *Proses Safety Management Standard (PSM)* yang dikeluarkan oleh CCPS, OSHA dan Seveso II, namun masih terdapat beberapa elemen dari ketiga PSM tersebut yang belum masuk atau terakomodasi dalam sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia (Tabel-2.9).

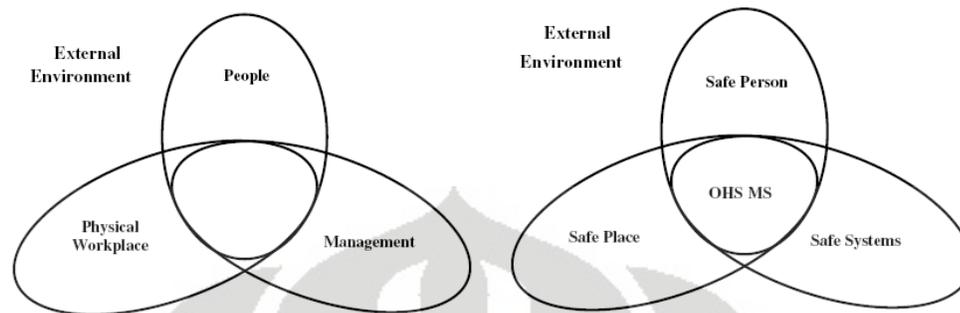
Tabel 2.9. Elemen-Elemen PSM yang Belum Masuk Dalam Sistem Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia

<b>CCPS Elements</b>	<b>OSHA PSM Standard and EPA RMP Rule</b>	<b>Seveso II</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Process Safety Review</li> <li>• Procedures for Capital Projects</li> <li>• Process and Equipment Integrity</li> <li>• Human Factors</li> <li>• Company Standards, Codes and Regulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Employee Participation</li> <li>• Pre-Startup Safety Review</li> <li>• Mechanical Integrity</li> <li>• Hot Work Permit</li> <li>• Emergency Planning and Response</li> <li>• Trade Secrets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planning for Emergencies</li> </ul>

Sumber : Johnson et al., 2003

Menurut Makin (2008) bahwa sistem manajemen keselamatan harus dibangun dan disesuaikan dengan individu organisasi. Konsep tersebut harus mencakup tiga strategi secara bersamaan yaitu *safe place, safe person and safe system* (Gambar 2.27). Ketiga strategi tersebut terkait dengan bahaya ditempat kerja (workplace hazards), yaitu:

1. *Focusing on the physical workplace.*
2. *Focusing on people.*
3. *Focusing on management issues.*



Gambar 2.27. Strategi Dalam Hal Menangani Bahaya yang Kompleks.

Sumber : Makin, 2008

Tabel 2.10 menjelaskan kerangka konsep dari sistem manajemen keselamatan, dimana terdapat keseimbangan antara ketiga strategik elemen sebagaimana tersebut diatas yaitu *safe place*, *safe person* dan *safe system*, yang mencakup perencanaan ke depan atau program yang bersifat lebih proaktif; implementasi dari masing-masing strategik elemen, baik yang bersifat rutinitas maupun yang memerlukan keahlian khusus; pengambilan langkah darurat saat langkah pencegahan dan kontrol tidak berjalan dengan baik, juga pengkajian dan monitoring terhadap elemen-elemen yang ada untuk meningkatkan efektifitas proses. Kebanyakan elemen-elemen dari suatu sistem manajemen keselamatan tradisional lebih fokus pada pencegahan dan kontrol yang merupakan respon terhadap bahaya, misalnya tidak adanya arahan dan fokus yang jelas dalam suatu organisasi diatasi dengan adanya kebijakan dan visi-misi perusahaan yang terukur, training bagi pekerja dilakukan untuk mengatasi minimnya keterampilan dan tingkat penguasaan atau kompetensi dari pekerja, melakukan update prosedur dan mengakses peraturan-peraturan yang terkini untuk menghindari masalah pada penggunaan data atau informasi yang sudah kadaluarsa. Umumnya, sistem manajemen keselamatan memisahkan antara pengendalian bahaya untuk bahaya-bahaya yang umum dengan bahaya yang unik pada industri atau proses tertentu, yang kemudian diklasifikasikan menjadi syarat-syarat umum untuk mengidentifikasi dan mengontrol bahaya di tempat kerja secara keseluruhan. Pendekatan tersebut dapat merubah nilai dan tujuan dari beberapa elemen yang ada dalam sistem manajemen keselamatan yang umum dan memberikan petunjuk yang jelas hanya untuk beberapa bahaya yang ada pada organisasi (Makin, 2008).

Tabel 2.10. Pengelompokan Strategi OHS-MS

Safe place	Safe person	Safe systems
Baseline risk assessment	Equal opportunity/anti-harassment	OHS policy
Ergonomic assessment	Training needs analysis	Goal setting
Access/agress	Inductions-contractors/visitors	Accountability
Plant/equipment	Selection criteria	Due diligence review/gap analysis
Materials storage/handing/disposal	Work organization	Resource allocation/administration
Amenities/environment	Accommodating diversity	Procurement with OHS Criteria
Electrical	Job descriptions	Supply with OHS consideration
Noise	Training	Competent supervision
Hazardous substances	Behavior modification	Safe working procedures
Biohazards	Health promotion	Communication
Radiation	Networking, mentoring, further education	Consultation
Installations/demolition	Conflict resolution	Legislative updates
Preventive maintenance	Employee assistance programs	Procedural updates
Modifications- peer review/commissioning	First aid/ reporting	Record keeping/archives
Security - site/personal	Rehabilitation	Customer service-recall/hotlines
Emergency preparedness	Health surveillance	Incident management
housekeeping	Performance appraisals	Self assessment tool
Plant inspections/monitoring	Feedback programs	Audits
Risk review	Review of personnel turnover	System review

Sumber : Makin, 2008

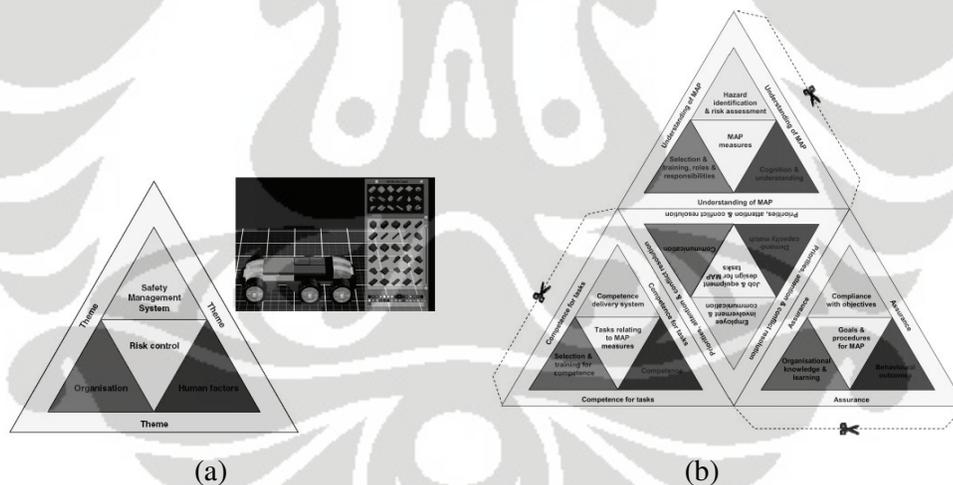
Bellamy (2008) mengembangkan suatu model pengendalian risiko terintegrasi antara faktor manusia, sistem manajemen keselamatan dan isu organisasi yang bersifat holistik, dimana ketiga faktor utama tersebut merupakan satu kesatuan yang kuat dan tidak dapat berdiri sendiri. Model ini dikembangkan berdasarkan kajian terhadap berbagai kecelakaan katastrofik yang pernah dilaporkan seperti Flixborough (1974), Grangemouth (UK, 13 March 1987), Allied Colloids (UK, 1992), Hickson and Welch (UK, 1992), Cindu (The Netherlands, 1992), Associated Octel (UK, 1994), Texaco (UK, 1994) dan Longford (Australia, 1998). Bellamy mengembangkan model terintegrasi ini melalui tiga tahapan penting, yaitu:

1. Mengembangkan *taxonomy*
2. Mendisain model kerja
3. Melakukan workshop untuk validasi

Dari hasil pengembangan *taxonomy* dari berbagai kajian terhadap kecelakaan kerja diatas, maka diperoleh satu atau lebih kontributor utama disetiap kecelakaan yaitu organisasi, manajemen keselamatan, faktor manusia dan sistem kontrol risiko. Jumlah elemen *taxonomy* dari keseluruhan kecelakaan adalah 400, termasuk 44 diantaranya

bukan dari faktor manusia, sistem manajemen atau organisasi. Komponen-komponen yang diintegrasikan berbasis analisa kecelakaan tersebut terdiri dari 50 elemen organisasi, 162 elemen sistem manajemen keselamatan, 92 elemen faktor manusia dan 52 elemen sistem kontrol risiko. Tahapan yang terpenting adalah menentukan alasan utama atau hipotesa mengapa faktor manusia, sistem manajemen keselamatan dan isu organisasi ada secara bersama-sama didalam suatu kecelakaan. Dalam elemen-elemen *taxonomy* yang dihasilkan dari studi kasus ini, dapat dilihat beberapa fungsi kritis yang umum untuk banyak kasus sehingga dapat dilihat hubungannya, sementara banyak juga yang tidak dapat dilihat hubungannya.

Untuk mengintegrasikan elemen-elemen taxonomy yang cukup kompleks tersebut, maka Bellamy menggunakan *warning triangle model* yang diambil dari NFPA *hazard diamond concept* (Gambar 2.28a). Keuntungan dari model ini adalah bahwa tiga kandidat elemen yang diintegrasikan dapat digabungkan dengan triangle-triangle lain untuk membentuk suatu triangle yang lebih besar (pyraMAP; pyramide Major Accident Prevention ) dengan kontrol risiko sebagai pusat (Gambar 2.28b).



Gambar 2.28. Warning Triangle Model Dalam Mengintegrasikan Faktor Manusia, Organisasi dan Sistem Manajemen Menjadi Suatu Sistem yang Bersifat Holistik.

Sumber : Bellamy, 2008

## 2.7. Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan di Indonesia

Jumlah pekerja seluruh Indonesia berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik per Februari 2007 adalah 97,583,141 pekerja baik industri formal maupun informal. Sementara jumlah perusahaan yang bergerak di bidang

manufaktur skala besar dan sedang pada tahun 2005 berjumlah 20,729 perusahaan yang memperkerjakan sekitar 12,094,067 pekerja. Meskipun jumlah pekerja di industri manufaktur hanya 12,4% dari total seluruh pekerja di Indonesia, namun para pekerja di industri manufaktur ini sangat tinggi tingkat risiko kesehatannya karena tingkat pajanan bahaya selama bekerja (BPS, 2007).

Pada tahun 2002, Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Jacob Nuwa Wea menyatakan keprihatinannya terhadap keselamatan kerja, dengan menyebutkan bahwa kecelakaan kerja menyebabkan hilangnya 71 juta jam orang kerja (71 juta jam yang seharusnya dapat secara produktif digunakan untuk bekerja apabila pekerja-pekerja yang bersangkutan tidak mengalami kecelakaan) dan kerugian laba sebesar 340 milyar rupiah. Tabel 2.11 berikut ini menyajikan jumlah kecelakaan kerja dan santunan kecelakaan kerja yang dibayarkan selama periode 1996-1999. Data yang disajikan dalam industri ini diambil dari database ASEAN OSHNET.

Tabel 2.11. Jumlah Kecelakaan Tercatat yang Terkait Dengan Pekerjaan dan Jumlah Kompensasi yang Dibayarkan Selama Periode 1995-1999

Tahun	Kasus kecelakaan				Kompensasi/ ganti rugi yang dibayarkan (dalam milyaran rupiah)
	Total	Fatal	Cacat permanen	Cacat sementara	
1995	65.949	902	13.282	51.765	39
1996	82.066	784	8.907	72.375	50
1997	95.759	1.089	7.877	86.773	71
1998	88.336	1.375	11.86	78.163	76
1999	80542	1.476	11.871	67.195	83

Sumber : The ASEAN OSHNET

Sementara jumlah tenaga pengawas ketenagakerjaan yang minim menyebabkan pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Indonesia masih sangat buruk. Akibatnya, setiap tahun perusahaan harus mengalami pengurangan produktivitas, dan kerugian ditaksir mencapai Rp 80 miliar-Rp 100 miliar setiap tahun. "Pelaksanaan K3 tidak hanya untuk buruh, tetapi juga perusahaan. Karna itu, semua pihak harus bersama mengindahkan dan melaksanakan K3," kata Ketua Dewan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional (DK3N), di sela-sela acara *Training of Trainer (ToT) K3 se-Sumatera*, yang dilaksanakan oleh Asosiasi Pengusaha Indonesia (Apindo) Sumut, Kamis (30/10). Dikatakannya, minimnya pengawas ketenagakerjaan tersebut, terlihat dari anggaran yang disiapkan pemerintah

dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Yakni, dialokasikan hanya untuk penambahan 60 orang tenaga pengajar saja setiap tahun (Medan Online, 31/10/2008).

Sayangnya, masih sedikit perusahaan di Indonesia yang berkomitmen untuk melaksanakan pedoman SMK3 dalam lingkungan kerjanya. Menurut catatan SPSI, baru sekitar 45% dari total jumlah perusahaan di Indonesia (data Depnaker tahun 2002, perusahaan di bawah pengawasannya sebanyak 176.713) yang memuat komitmen K3 dalam perjanjian kerja bersamanya. Jika perusahaan sadar, komitmennya dalam melaksanakan kebijakan K3 sebenarnya dapat membantu mengurangi angka kecelakaan kerja di lingkungan kerja. Dengan sadar dan berkomitmen, perusahaan akan melakukan berbagai upaya untuk mewujudkan kondisi kerja yang aman dan sehat. Komitmen perusahaan yang rendah ini diperburuk lagi dengan masih rendahnya kualitas SDM di Indonesia yang turut memberikan point dalam kejadian kecelakaan kerja, data dari Badan Pusat Statistik tahun 2003 menunjukkan bahwa hanya 2,7% angkatan kerja di Indonesia yang mempunyai latar belakang pendidikan perguruan tinggi dan 54,6% angkatan kerja hanya tamatan SD (Info Safety, 2009).

Beberapa faktor yang menghambat atau menjadi kendala dalam pelaksanaan K3 di negara-negara berkembang adalah [Rosenstock, 2004]:

- Akses terhadap informasi K3 yang sangat terbatas.
- Tingkat pengetahuan K3 para manajer dan pekerja yang rendah.
- Alat-alat safety yang tersedia di pasaran sangat terbatas dan berkualitas rendah.
- Konflik regional, tekanan ekonomi, faktor klimatologi dan pertukaran tenaga asing yang sedikit sehingga mempersulit pelaksanaan K3.
- Jumlah tenaga kerja tinggi sementara lapangan kerja sedikit.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut diatas, maka strategi yang harus diterapkan harus meliputi strategi berskala internasional, nasional, tempat kerja (organisasi) dan individu pekerja.

Intervensi dari pemerintah dalam menciptakan aturan dan sistem ditempat kerja dalam bidang K3 sangatlah penting. Hal ini dibuktikan oleh negara-negara industri yang memiliki kerangka kebijakan K3 yang kuat dan penegakan hukum secara tegas dapat memperbaiki situasi ditempat kerja secara signifikan. Disamping

itu kontrol dari pemerintah terhadap pelaksanaan K3 dilapangan lebih efektif untuk memperbaiki kesehatan pekerja, hal ini dapat dicapai dengan mengembangkan strategi K3 untuk meningkatkan daya saing perusahaan [Rosenstock, 2004].

## 2.8. Profil Industri Kimia Hilir di Indonesia

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari direktori/profil perusahaan, Koleksi Pusat Data dan Informasi (PUSDATIN) Departement Perindustrian, terdapat 10 klasifikasi industri kimia dengan 299 perusahaan yang tersebar diseluruh Indonesia (Tabel 2.12). Penentuan jenis industri kimia hilir pada studi ini didasarkan pada Peraturan Menteri Perindustrian Perindustrian Republik Indonesia Nomor: 07/M-IND/PER/5/2005, tentang Penetapan Jenis-jenis Industri dalam Pembinaan Masing-masing Direktorat Jendral di Lingkungan Departemen Perindustrian, jumlah cabang industri yang berada dalam lingkup pembinaan Direktorat Industri Kimia Hilir (IKH) ada 55 jenis industri berdasarkan pada KBLI 5 Digit (Deprin, 2008).

Tabel 2.12. Klasifikasi dan Jumlah Industri Kimia yang Terdaftar di PUSDATIN.

Klasifikasi Industri Kimia	Jumlah Industri
Industri Kimia Dasar Anorganik Gas Industri	44
Industri Kimia Dasar Anorganik Khlor dan Alkali	5
Industri Kimia Dasar Anorganik Pigment	10
Industri Kimia Dasar Organik yang Tidak Diklasifikasikan di Tempat Lain	48
Industri Kimia Dasar Organik yang Menghasilkan Bahan Kimia Khusus.	50
Industri Kimia Dasar Organik yang Bersumber dari Minyak Bumi, Gas Bumi dan Batu Bara	7
Industri Kimia Dasar Organik, Bahan Baku Zat Warna dan Pigmen, Zat Warna dan Pigmen	20
Industri Kimia Dasar Organik, yang bersumber dari hasil pertanian.	37
Industri Kimia Dasar Organik yang Tidak Diklasifikasikan di Tempat Lain	37
Industri Bahan Kimia dan Barang Kimia Lainnya	41
<b>Total</b>	<b>299</b>

Manajemen bahaya reaktifitas kimia juga tidak begitu dikenal dikalangan industri kimia baik hulu maupun hilir di Indonesia. Beda halnya dengan PSM yang sudah diterapkan oleh sebagian industri kimia hulu, dan hanya beberapa industri kimia hilir terutama perusahaan multinasional (PMA) yang sudah menerapkan PSM ini. Rendahnya tingkat penerapan PSM dan manajemen bahaya reaktifitas kimia pada

industri kimia hilir adalah karena keterbatasan sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan seperti sumber daya manusia, teknologi dan dana. Disamping itu elemen-elemen yang terdapat dalam manajemen reaktifitas kimia yang dikeluarkan oleh CCPS tidak mudah untuk diterap di industri kimia hilir. Salah satu contoh adalah *test for chemical reactivity*, dimana perusahaan diharuskan untuk melakukan pengujian bahaya reaktifitas kimia untuk setiap bahan baku maupun produk yang digunakan, sementara pengujian reaktifitas membutuhkan peralatan laboratorium yang mahal dan pengujiannya memakan waktu yang lama dan tidak mudah.

Sistem manajemen keselamatan yang banyak diterapkan oleh industri kimia hilir adalah SMK3 Permenaker dan OHSAS 18001, karena penerapan sistem ini, khususnya SMK3 Permenaker, sudah diharuskan oleh pemerintah. Namun kedua sistem manajemen keselamatan ini tidak mengatur secara spesifik pengendalian bahaya reaktifitas kimia, sehingga potensi terjadinya kecelakaan akibat bahaya reaktifitas masih terbuka lebar dan tingkat risikonya tetap tinggi. Secara umum keterbatasan dari industri kimia hilir dalam menerapkan berbagai sistem manajemen adalah karena:

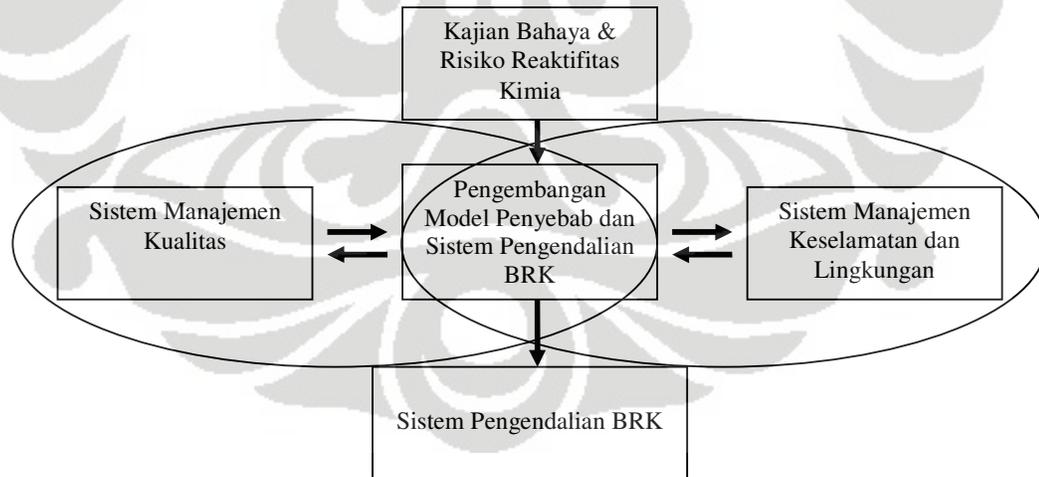
1. Keterbatasan sumberdaya manusia,
2. Keterbatasan dana,
3. Keterbatasan teknologi,
4. Keterbatasan infrastruktur penunjang.

Sementara sistem manajemen yang wajib diterapkan karena tuntutan pelanggan demi meningkatkan persaingan dipasar adalah sistem manajemen kualitas (ISO 9000), dan bahkan ada pelanggan terutama diluar negeri yang mewajibkan supliernya untuk memiliki sertifikat OHSAS 18000 atau ISO 14000. Dengan segala keterbatasan perusahaan harus memenuhi tuntutan tersebut, sehingga sistem manajemen keselamatan yang sifatnya sukarela seperti halnya PSM atau Manajemen Reaktifitas Kimia tidak lagi menjadi prioritas dan bahkan tidak mungkin lagi diterapkan karena perusahaan sudah tidak mampu baik dari segi sumber daya maupun finansial.

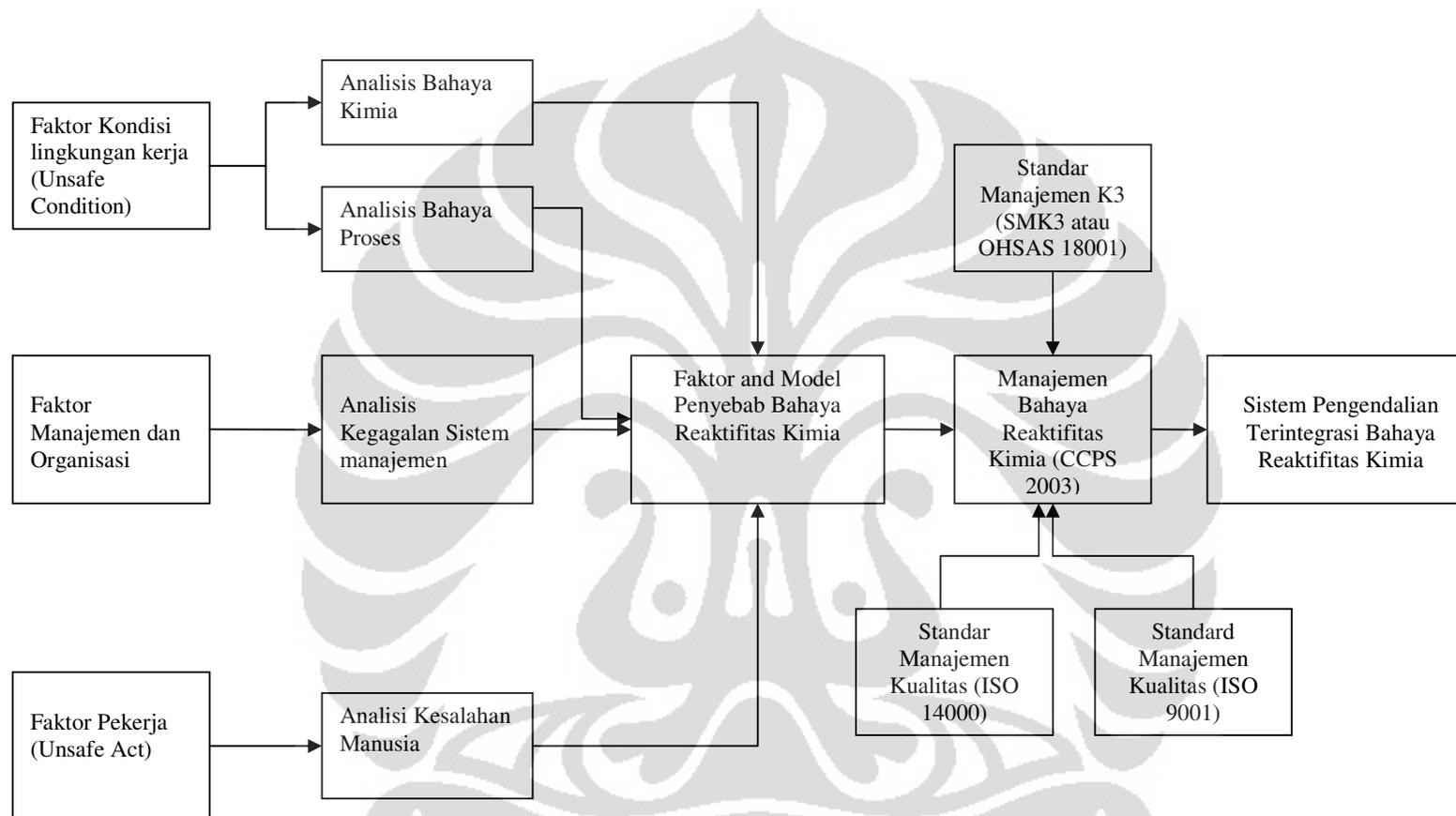
### BAB 3 KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP, DEFINISI OPERASIONAL DAN HIPOTESIS

#### 3.1. Kerangka Teori

Sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia (BRK) yang akan dikembangkan dalam penelitian ini, berangkat dari kondisi ril bahaya reaktifitas kimia yang ada di industri kimia hilir yang diperoleh melalui kajian bahaya dan risiko bahaya reaktifitas kimia, kemudian dikembangkan model penyebab bahaya reaktifitas kimia serta sistem pengendalian yang mengintegrasikan elemen-elemen sistem manajemen kualitas, keselamatan dan lingkungan yang sesuai (Gambar 3.1). Berdasarkan konsep pengembangan sistem terintegrasi ini maka dikembangkan kerangka teori dari penelitian ini seperti pada Gambar 3.2



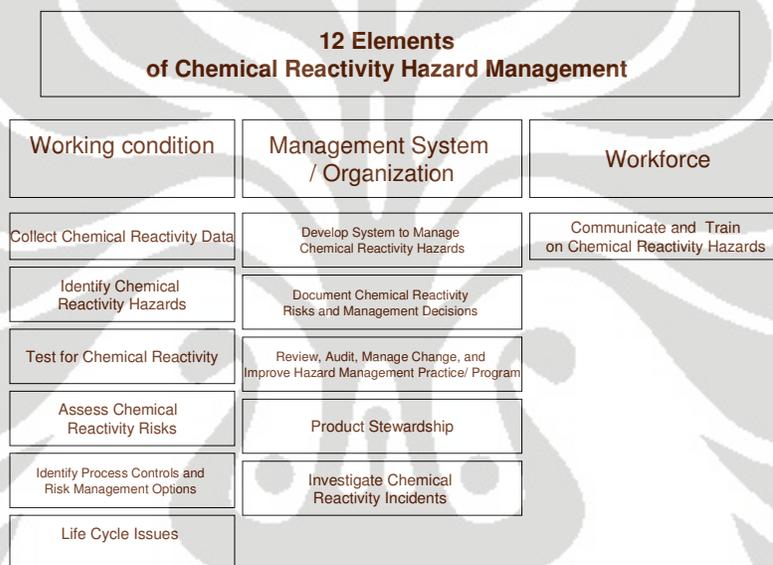
Gambar 3.1. Konsep Pengembangan Sistem Pengendalian BRK



Gambar 3.2. Kerangka Teori Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir.

### 3.2. Kerangka Konsep

Sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang dikembangkan oleh CCPS (2003) belum secara maksimal memasukkan faktor pekerja kedalam elemen-elemen pengendalian bahaya reaktifitas kimia (Gambar 3.3). Sesuai dengan konsep dan teori keselamatan dan kecelakaan kerja yang sudah dibahas sebelumnya, bahwa faktor manusia dalam sistem manajemen keselamatan merupakan bagian yang sangat penting bahkan sama pentingnya dengan kedua faktor lainnya yaitu lingkungan kerja dan manajemen & organisasi.

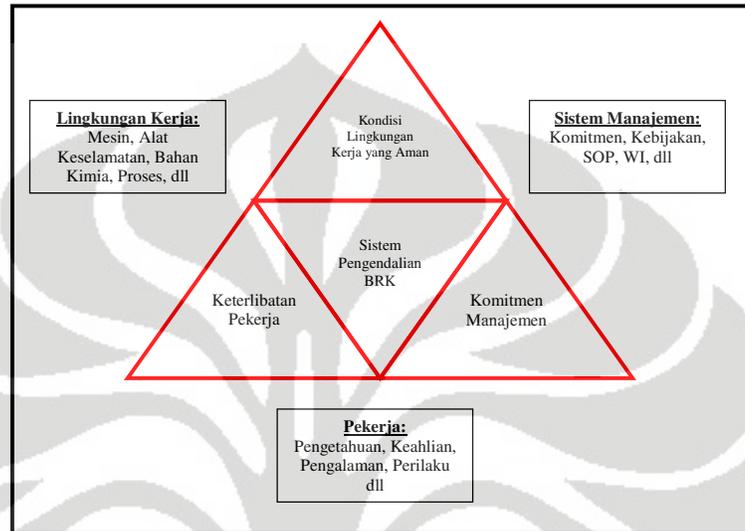


Gambar 3.3. Manajemen Bahaya Reaktifitas Kimia dari CCPS 2003 Dikelompokkan Berdasarkan Tiga Faktor Utama Penyebab Kecelakaan Kerja.

Sumber : Pengelompokan berdasarkan Tabel 15, Makin, 2008

Berdasarkan teori-teori keselamatan dan kecelakaan kerja yang sudah dikembangkan pada berbagai penelitian sebelumnya, maka sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang akan dikembangkan pada penelitian ini merupakan penyempurnaan dari sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang dikeluarkan oleh CCPS serta disesuaikan dengan kemampuan industri kimia hilir di Indonesia. Yang dimaksud dengan penyempurnaan disini adalah suatu sistem pengendalian yang holistik antara ketiga faktor utama keselamatan kerja yaitu faktor lingkungan, faktor manajemen & organisasi dan faktor pekerja, dimana ketiga faktor utama tersebut

merupakan satu kesatuan yang kuat dan tidak dapat berdiri sendiri (Bellamy, 2008). Disamping itu terdapat keseimbangan diantara ketiga faktor tersebut baik dalam pembobotan maupun prioritas dalam penerapannya (Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Ilustrasi Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia yang Lebih Komperhensif dan Holistik

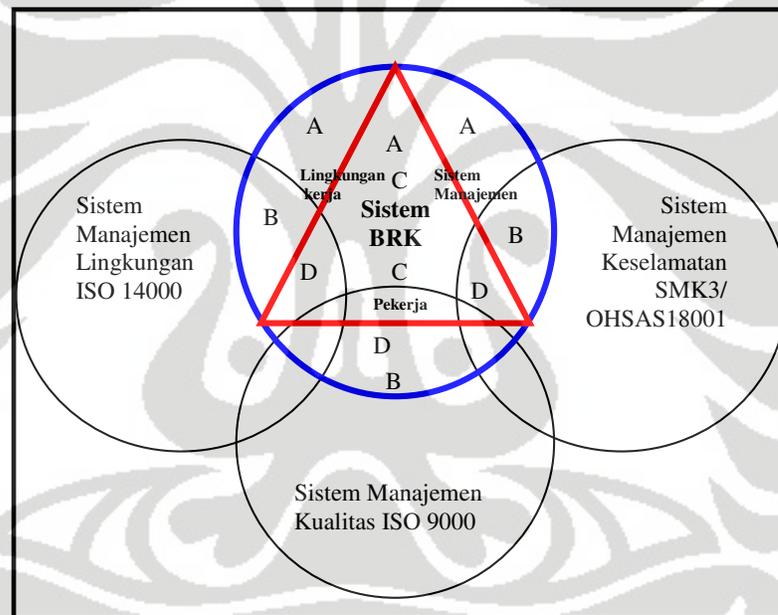
Sumber : Modifikasi, Bellamy, 2008

Disamping bersifat holistik, sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang akan dikembangkan ini juga terintegrasi dengan sistem manajemen lain. Sistem terintegrasi yang dimaksud disini adalah sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen kualitas (ISO 9001), keselamatan (SMK3 Permenaker atau OHSAS 18001) dan lingkungan (ISO14000). Sistem atau program sukarela yang lain seperti *Behavior Base Safety*, *Global Harmonize System*, *5S*, *Responsible Care* dan lain-lain juga akan menjadi masukkan yang sangat berguna dalam membangun sistem terintegrasi ini. Sistem terintegrasi ini akan dibangun oleh-oleh elemen-elemen sebagai berikut:

1. Elemen-elemen standar yang berasal dari sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia CCPS 2003 = A
2. Elemen-elemen tidak standar yang berasal dari hasil kajian risiko bahaya reaktifitas kimia = B.

3. Elemen-elemen standar yang berasal dari sistem manajemen kualitas (ISO 9001), lingkungan (ISO 14000) dan keselamatan (OHSAS 18001 atau SMK3 Permenaker) = C.
4. Elemen-elemen tidak standar yang berasal dari hasil kajian risiko bahaya reaktifitas kimia dan dapat digabungkan dengan elemen-elemen standar dari sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia CCPS 2003, kualitas (ISO 9001), lingkungan (ISO 14000) dan keselamatan (OHSAS 18001 atau SMK3) = D.

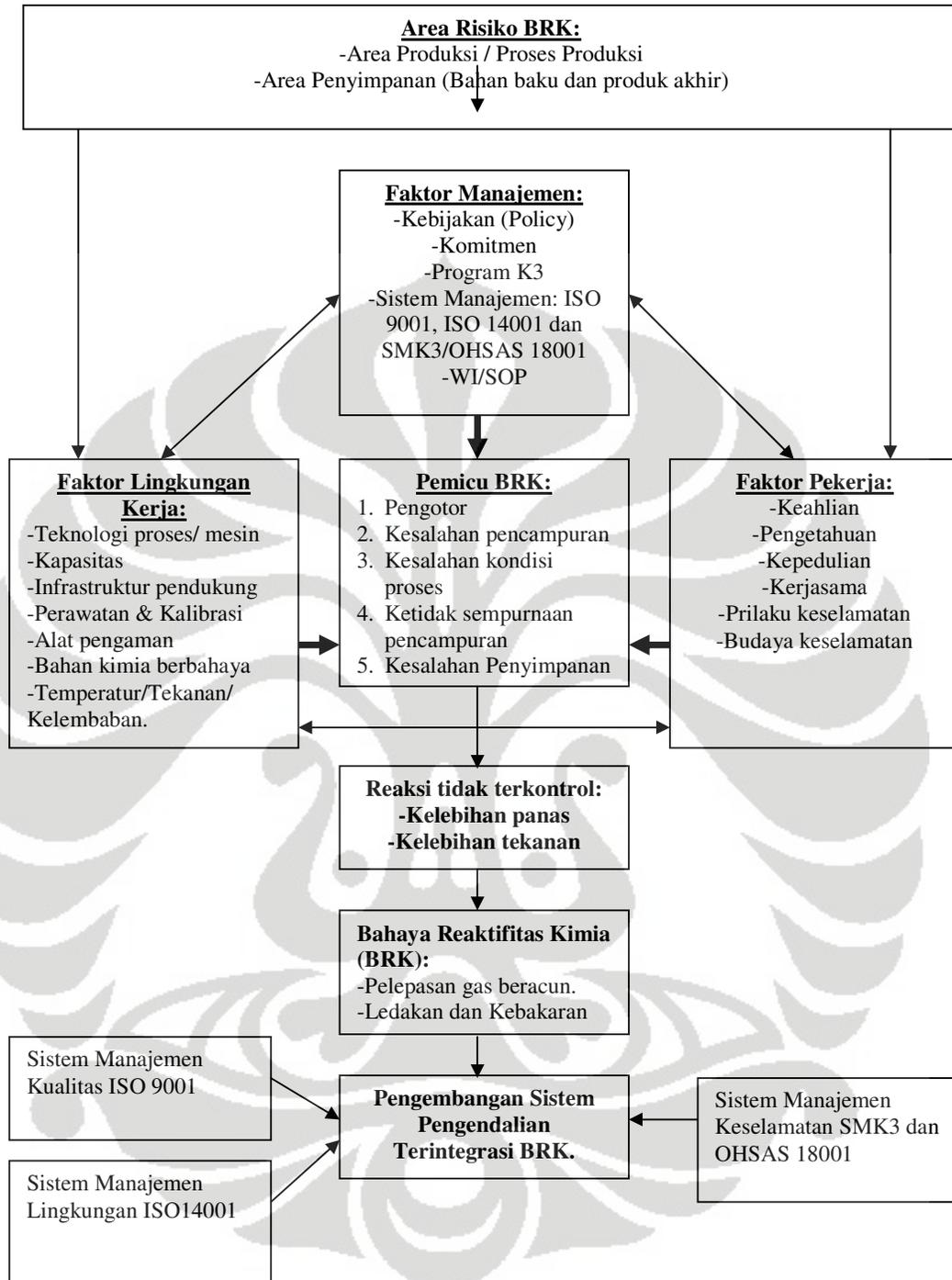
Ilustrasi sistem pengendalian terintegrasi bahaya reaktifitas kimia yang dikembangkan ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Ilustrasi Sistem Pengendalian Terintegrasi Bahaya Reaktifitas Kimia.

Sumber : Modifikasi, Pojasek R.B., 2006 dan Savic.S., 2001

Untuk mendapatkan sistem pengendalian yang holistik dan dapat diintegrasikan, maka dikembangkan kerangka konsep (Gambar 3.6) yang menggambarkan hubungan ketiga faktor utama penyebab kecelakaan kerja dan variabel-variabel yang mempengaruhi faktor pemicu bahaya reaktifitas kimia, kemudian dikembangkan model penyebab bahaya reaktifitas kimia dan sistem pengendalian yang dapat diintegrasikan dengan memasukan elemen- elemen yang ada dalam sistem manajemen kualitas ISO 9000, keselamatan SMK3/OHSAS 18001



Gambar 3.6. Kerangka Konsep Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Industri Kimia Hilir yang Dapat Diintegrasikan dengan Sistem Manajemen Baku ISO 9001, ISO 14000, OHSAS 18001 dan SMK3

dan lingkungan ISO 14000 kedalam sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia serta mempertimbangkan masukkan dari program sukarela yang sedang diterapkan.

Variabel-variabel yang diteliti difokuskan pada variabel-variabel yang berpotensi menyebabkan terjadinya bahaya reaktifitas kimia dari ketiga faktor utama penyebab kecelakaan kerja, baik berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung.

### 3.3. Hipotesis

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan pada penelitian ini, maka di kembangkan tiga hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Terdapat potensi yang cukup tinggi terjadinya kecelakaan bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir.
2. Faktor pekerja memberikan kontribusi paling besar yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan bahaya reaktifitas kimia yang dipicu oleh pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses, ketidak sempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan pada industri kimia hilir di Indonesia.
3. Sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen keselamatan, kualitas dan lingkungan untuk mengendalikan bahaya reaktifitas kimia.

### 3.4. Definisi Operasional

Untuk memudahkan penelitian ini maka terdapat beberapa istilah yang akan dijelaskan definisi atau penjelasan operasionalnya sebagai mana tercantum dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Matrik Variable dan Definisi Operasional

No	Kategori	Variabel	Definisi / Penjelasan Operasional	Alat Ukur	Skala Pengukuran
1	Area Risiko BRK	Proses Produksi	Adalah suatu proses untuk mentransformasi dari bahan dasar menjadi produk	-	-
		Penyimpanan	Tempat penyimpanan bahan kimia yang umumnya memiliki <i>loading/uploading</i> area, mengoperasikan <i>forklift</i> (untuk pemindahan barang) dan penempatan pallets berdasarkan ISO standar.	-	-
2	Faktor Lingkungan Kerja	Teknologi proses / mesin yang digunakan	Teknologi atau mesin otomatis yang digunakan untuk mengubah bahan kimia dasar menjadi produk jadi.	Ceklist	Ordinal
		Proses penyimpanan bahan baku dan produk	Alur proses dan tata letak penyimpanan bahan baku yang digunakan dan produk yang dihasilkan	Ceklist & Kuisioner	Ordinal
		Program perawatan mesin atau alat-alat produksi	Kegiatan mencegah kemungkinan bahwa system melewati <i>fault</i> atau kegagalan tanpa adanya <i>error</i> (CCPS).	Ceklist & Kuisioner	Ordinal
		Kelengkapan alat-alat pengaman	Alat-alat yang digunakan sebagai pencegah atau antisipasi terjadinya suatu kecelakaan.	Ceklist & Kuisioner	Ordinal
		Kebersihan dan keteraturan alat-alat dan area kerja	Program kebersihan, standar kebersihan dan kerapian alat-alat dan area kerja.	Ceklist & Kuisioner	Ordinal

No	Kategori	Variabel	Definisi / Penjelasan Operasional	Alat Ukur	Skala Pengukuran
3	Faktor Manajemen	Kebijakan (Policy)	Kebijakan adalah rangkaian konsep dan asas yang menjadi pedoman dan dasar rencana dalam pelaksanaan suatu pekerjaan, kepemimpinan dan cara bertindak.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Komitmen	Ketetapan pada sesuatu atau seseorang dalam bentuk: komitmen pribadi, sukarela, organisasi, <i>brand</i> , dan sebagainya.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Sistem Manajemen ISO 9000	ISO 9000 adalah kumpulan standar untuk sistem manajemen mutu (SMM) yang meliputi prosedur, pengawasan, pendataan, pemeriksa dan peninjauan. ISO 9000 yang dirumuskan oleh TC 176 ISO, yaitu organisasi internasional di bidang standarisasi.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Sistem Manajemen ISO 14000	ISO 14001 adalah kumpulan standar untuk sistem manajemen lingkungan (SML) yang meliputi syarat-syarat atau aturan komprehensif bagi suatu organisasi untuk mengembangkan sistem pengelolaan dampak lingkungan di suatu industri.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Sistem Manajemen K3 Permenaker	SMK3 adalah kumpulan kebijakan terhadap suatu sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang melibatkan unsur manajemen, tenaga kerja, kondisi dan lingkungan kerja dalam rangka mencegah dan mengurangi kecelakaan dan penyakit akibat kerja serta terciptanya tempat kerja yang aman, efisien dan produktif yang dikeluarkan oleh DEPNAKERTRANS.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Sistem Manajemen OHSAS 18001	Sistem manajemen keselamatan yang dikeluarkan oleh OHSAS.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Prosedur dan standar kerja (SOP/WI)	Dokumen yang menjelaskan aktivitas yang spesifik dan tugas-tugas dalam organisasi dengan perincian yang detail.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Program K3	Program kerja yang dibuat untuk mendukung pelaksanaan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal

No	Kategori	Variabel	Definisi / Penjelasan Operasional	Alat Ukur	Skala Pengukuran
		Program Sukarela	Program yang tidak masuk dalam sistem manajemen baku, namun dibutuhkan untuk mensukseskan program yang ada.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Analisis Bahaya dan Risiko	Kajian sistematis yang dilakukan untuk mengetahui Indeks Bahaya dan Risiko suatu aktifitas atau proses yang dilakukan.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
3	Faktor Pekerja	Pelatihan	Pelatihan adalah proses mempersiapkan peserta latihan untuk mengambil jalur tindakan tertentu yang dilukiskan oleh <u>teknologi</u> dan <u>organisasi</u> tempat bekerja, dan membantu peserta memperbaiki prestasi dalam kegiatannya terutama mengenai pengertian dan keterampilan (Wikipedia, 2010)	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Kompetensi	Kemampuan untuk melakukan suatu tugas, pekerja atau tindakan secara baik dan berhasil.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Keahlian	Kemampuan dan kompetensi yang dimiliki dan dapat dikembangkan melalui pelatihan dan pengalaman	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Pengetahuan	Ilmu, kepedulian dan pengertian yang diperoleh melalui pengalaman, eksperimen dan pembelajaran tentang pekerjaan yang ditangani beserta keselamatannya.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Kepedulian	Sikap, penerimaan dan pemahaman pekerja terhadap keselamatan.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Kerjasama	Proses dimana dua orang atau lebih bekerja sama untuk tujuan yang sama	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Prilaku keselamatan	Tingkah laku pekerja yang memperhatikan faktor keselamatan	Ceklist & Kuosioner	Ordinal
		Kesalahan Pekerja	Kesalahan kerja yang diakibatkan oleh pekerja karena kelalaian dan ketidaktahuan.	Ceklist & Kuosioner	Ordinal

No	Kategori	Variabel	Definisi / Penjelasan Operasional	Alat Ukur	Skala Pengukuran
4	Bahaya reaktifitas kimia	Gas beracun	Gas yang mempunyai bahaya terhadap kesehatan dengan rating 3 atau 4 berdasarkan NFPA 704	CRW 2	Interval
		Ledakan	Pelepasan energi yang menyebabkan gelombang tekanan secara cepat dan mendadak sehingga terjadi kehilangan tekanan dan gelombang ledakan (IUPAC).	CRW 2	Interval
		Kebakaran	Terbakarnya bahan kimia akibat adanya reaksi yang tidak terkendali yang berasal dari proses oksidasi sehingga dihasilkan energi berintensitas tertentu misalnya dalam bentuk panas dan dapat juga menimbulkan asap.	CRW 2	Interval
		Kelebihan panas	Berlebihnya panas dalam suatu sistem yang dapat mengakibatkan bahaya reaktifitas bahan kimia.	CRW 2	Interval
		Kelebihan tekanan	Berlebihnya tekanan dari batasan yang seharusnya dalam suatu sistem yang dapat mengakibatkan bahaya reaktifitas bahan kimia.	CRW 2	Interval
		Kesalahan pencampuran	Kesalahan penambahan satu atau lebih bahan baku kimia diluar ingridien yang ditentukan pada saat proses produksi yang dapat memicu BRK.	Kuosioner	Ordinal
		Kesalahan parameter proses	Kesalahan pengaturan parameter proses diluar standar yang ditetapkan pada saat proses produksi yang dapat memicu BRK.	Kuosioner	Ordinal
		Pengotor	Masuknya bahan lain atau asing kedalam bahan baku kimia atau produk yang dapat memicu BRK.	Kuosioner	Ordinal
		Ketidaksempurnaan pencampuran	Terjadinya pencampuran yang tidak sempurna akibat dari komposisi yang tidak sesuai standar yang ditetapkan atau pengadukkan yang tidak sempurna pada saat proses produksi yang dapat memicu BRK.	Kuosioner	Ordinal
Kesalahan penyimpanan	Penyimpanan bahan baku atau produk yang tidak sesuai dengan standar baku yang ditetapkan.	Kuosioner	Ordinal		

## **BAB 4**

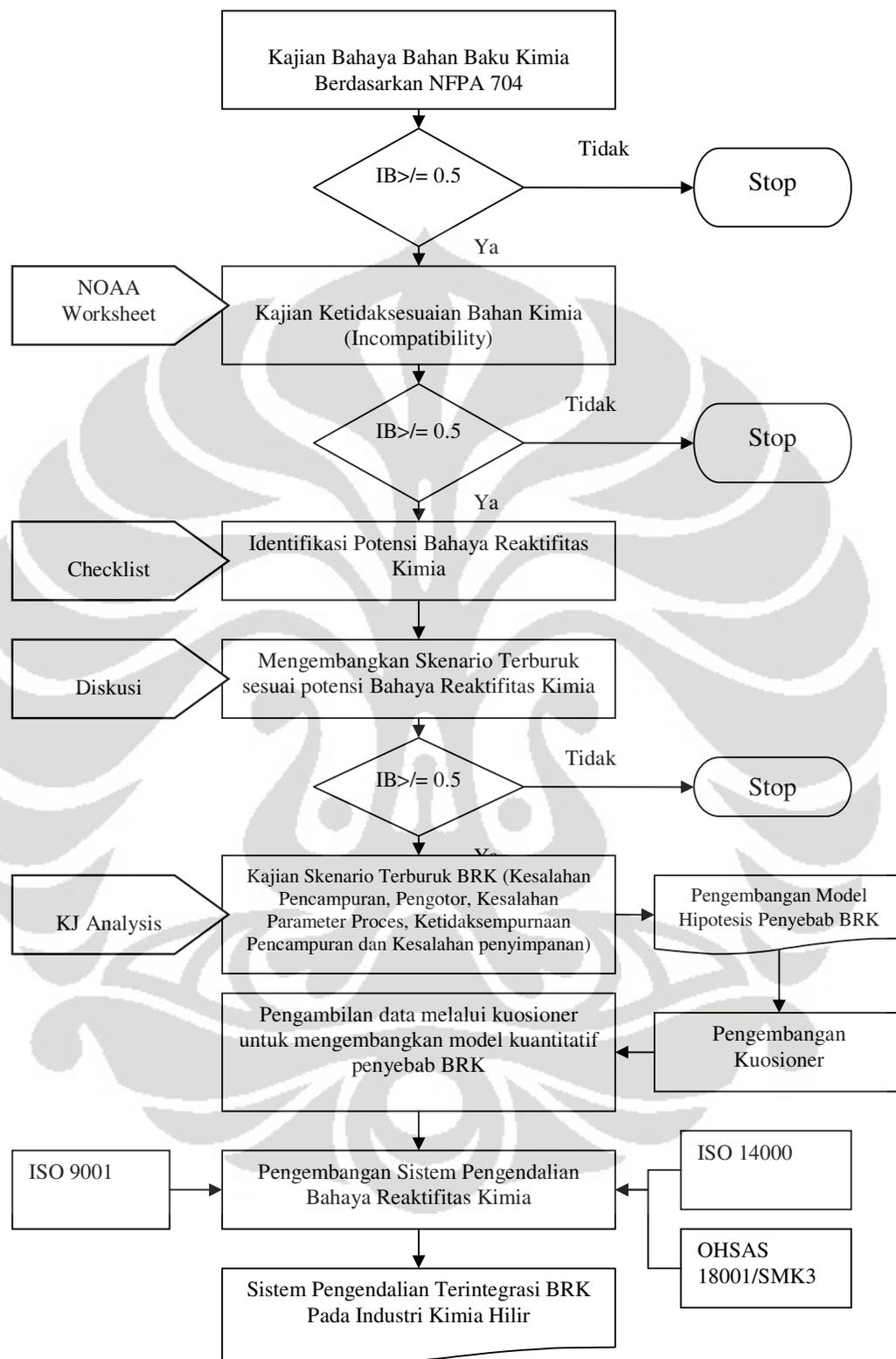
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1. Rancangan Penelitian**

Konsep pendekatan metodologi penelitian yang digunakan pada studi ini merupakan modifikasi dari metode SREST-layer-assessment yang dikembangkan oleh Shah et al. (2005). Metode SREST-layer-assessment yang terdiri dari 4 langkah hanya fokus pada kondisi lingkungan kerja dan kajian dilakukan secara berlapis atau berurutan. Untuk mendapatkan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia yang lebih komprehensif dan dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen lain maka metode ini perlu dimodifikasi dengan memasukkan kajian terhadap faktor manajemen dan faktor pekerja, serta kajian dilakukan secara berurutan pada tiga tahap pertama dan simultan pada empat tahap berikutnya dalam bentuk kajian skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia. Adapun kajian terhadap manajemen dan pekerja dimaksudkan untuk menyempurnakan kajian sehingga lebih komprehensif dengan memperhitungkan semua faktor utama penyebab dasar kecelakaan yaitu faktor lingkungan kerja, faktor manajemen/organisasi dan faktor pekerja. Rancangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Secara garis besar tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian bahaya bahan kimia berdasarkan NFPA 704.
2. Kajian bahaya reaktifitas bahan kimia. Identifikasi potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia.
3. Mengembangkan skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia.
4. Kajian skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia dengan metode KJ Analysis untuk mengembangkan model hipotesis penyebab bahaya reaktifitas kimia.
5. Pengambilan data melalui kuisioner untuk mengembangkan model kuantitatif penyebab bahaya reaktifitas kimia.



Gambar 4.1. Rancangan Penelitian Bahaya Reaktivitas Kimia

## 6. Pengembangan sistem pengendalian bahaya reaktif kimia

Tahapan pertama sampai dengan tahapan kelima adalah untuk mengetahui tingkat bahaya dan risiko dari industri kimia hilir, sekaligus untuk mendapatkan penyebab utama terjadinya BRK. Tahapan keenam dan ketujuh adalah untuk mengembangkan model penyebab BRK dan sistem pengendalian BRK pada industri kimia hilir. Penelitian ini akan dilakukan pada 3 perusahaan industri kimia hilir.

### 4.1.1. Kajian Bahaya Bahan Kimia

Tahap awal dari penelitian ini adalah melakukan kajian bahaya kimia secara individu dari semua bahan kimia yang digunakan. Bahan kimia dikelompokkan berdasarkan indeks bahaya (IB) seperti tercantum dalam tabel 4.1. Terdapat empat kategori IB dalam kajian ini yaitu;

1. Sangat tinggi (IB:  $\geq 0,75 - 1$ )
2. Tinggi (IB:  $\geq 0,5 - 0,75$ )
3. Sedang (IB:  $\geq 0,25 - 0,5$ )
4. Rendah (IB:  $< 0,25$ ).

Pengelompokan IB mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Shah et al (2005).

Tabel 4.1. Indeks Bahaya Bahan Kimia Secara Individu

Parameter	Indikator	IB (0-1)	Keterangan
Flammability Rating NFPA 704	1	0,5	Sedang
	2	0,75	Tinggi
	3, 4	1	Sangat tinggi
Health Rating NFPA 704	1	0,5	Sedang
	2	0,75	Tinggi
	3, 4	1	Sangat tinggi
Reaktif terhadap air (NFPA 704)	1	0,5	Sedang
	2	0,75	Tinggi
	3, 4	1	Sangat tinggi
LD 50 (Mulut)	> 25 atau < 200 mgKg BB	0,5	Sedang
LD 50 (Kulit)	> 25 atau < 400 mgKg BB	0,5	Sedang
LC 50	> 0.5 mg/l dan 2 mg/l	0,5	Sedang
LD 50 (Mulut)	25 mgKg BB	1	Sangat tinggi
LD 50 (Kulit)	25 mgKg BB	1	Sangat tinggi
LC 50	0.5 mg/l	1	Sangat tinggi
Titik nyala (Cairan mudah terbakar)	> 21 C dan < 55 C pd 1 atm	0,5	Sedang
	< 21C, titik didih >20C pada 1 atm	1	Sangat tinggi
Titik didih (Gas Mudah terbakar)	< 20 C pada 1 atm	1	Sangat tinggi

Hanya bahan kimia yang memiliki indeks bahaya  $\geq 0,5$  yang akan diikutkan dalam kajian selanjutnya.

#### 4.1.2. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia

Tahap selanjutnya adalah melakukan kajian bahaya reaktifitas bahan kimia yang memiliki indeks bahaya (IB)  $\geq 0,5$  (memiliki tingkat bahaya sedang). Kajian reaktifitas bahaya kimia dilakukan dengan menggunakan program perangkat lunak NOAA *Worksheet*. Semua bahan kimia dimasukkan kedalam program ini satu persatu untuk melihat ketidaksesuaian bahan kimia tersebut dengan bahan kimia lain apabila tercampur. Keluaran dari kajian ini merupakan suatu matriks ketidaksesuaian bahan kimia (*Incompatibility Matrix*). Bahaya reaktifitas kimia hasil dari program NOAA worksheet ini dikelompokkan berdasarkan indeks bahaya seperti pada tabel 4.2 dan 4.3. Matriks ini akan digunakan untuk merancang skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia pada tahapan selanjutnya.

Tabel 4.2. Indeks Bahaya Reaktifitas Kimia

Parameter	Indikator	Indeks Bahaya (0-1)	Keterangan
Interaksi kimia	Tdk ada interaksi	0	Sangat Rendah
	Heat generation, Fire, innocuous and non-flammable gas generation	0,75	Tinggi
	Toxic and flammable gas generation, explosion, violent polymerization	1	Sangat tinggi
Reaktif terhadap udara	Tdk ada interaksi	0	Sangat Rendah
	Interaksi kritisal	1	Sangat tinggi
Interaksi dengan material konstruksi	Tdk ada interaksi	0	Sangat Rendah
	Interaksi dengan stainless steel	0,5	Sedang
	Interaksi dengan enamel stainless steel	1	Sangat tinggi
Pengotor (logam berat, besi, dll)	Tdk ada pengotor	0	Sangat Rendah
	Pengotor tdk kritisal	0,5	Sedang
	Pengotor kritisal yang dapat menjadi katalis	1	Sangat tinggi
Produk hasil reaksi	Gas	0,75	Tinggi
	Beracun dan mudah terbakar	1	Sangat tinggi

Tabel 4.3. Indeks Bahaya Reaktifitas Kimia CRW 2

Bahaya Reaktifitas	Kode (CRW 2)	Indeks Bahaya (0-1)
Risiko ledakan jika ada guncangan, friksi, api atau sumber api lain.	A2	1
Membentuk senyawa logam eksplosif yang sangat tidak stabil.	A3	1
Bisa membentuk peroksida eksplosif.	A5	1
Reaksi berlanjut dengan ledakan hebat atau membentuk produk yang eksplosif.	A6	1
Meledak jika tercampur dengan bahan dapat terbakar.	A8	1
Panas dihasilkan dari reaksi kimia yang bisa memicu terjadinya ledakan.	A9	0,75
Bisa menjadi mudah terbakar atau memicu kebakaran, khususnya jika ada bahan mudah menyala.	B1	0,75
Panas reaksi menyebabkan produk secara spontan menyala.	B4	0,75
Dapat melepaskan beberapa jenis gas, paling tidak salah satu bersifat mudah terbakar yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan.	B5	1
Dapat melepaskan beberapa jenis gas, termasuk gas beracun dan mudah terbakar yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan.	B6	1
Reaksi eksotermik, dapat menghasilkan panas dan/atau menyebabkan kenaikan tekanan.	C	0,75
Reaksi eksotermik, berpotensi menyebabkan reaksi polimerisasi dan menyebabkan kenaikan tekanan.	D1	1
Dapat melepaskan beberapa jenis gas, paling tidak salah satu bersifat beracun yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan.	D3	1
Dapat melepaskan bahan tidak mudah terbakar, gas tidak beracun yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan.	D4	0,75
Dapat melepaskan bahan gas mudah-menambah menyala (mis Oksigen) yang dapat menyebabkan kenaikan tekanan.	D5	0,75
Reaksi eksotermik, menghasilkan fume beracun dan korosif.	D6	1
Menghasilkan cairan yang bersifat korosif.	D7	0,75
Menghasilkan bahan beracun yang mudah larut dalam air.	E	1
Reaksinya bisa hebat atau dahasyat.	G	0,75
Mungkin berbahaya tapi tidak diketahui	F	
Sangat mudah terbakar	101	1
Agen oksidasi kuat	104	1
Senyawa dapat membentuk peroksida	111	1
Tidak ada reaksi	NR	0

#### 4.1.3. Kajian Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Ada lima faktor pemicu bahaya reaktifitas kimia yang akan diteliti dalam penelitian ini, yaitu:

1. Pengotor (Kontaminasi)
2. Kesalahan pencampuran
3. Kesalahan kondisi proses

4. Ketidaktepatan pencampuran
5. Kesalahan penyimpanan

Untuk menentukan pemicu mana yang paling mungkin terjadi dari suatu proses industri, maka dilakukan screening awal pemicu bahaya reaktifitas kimia seperti pada Gambar 4.2. Ada empat pertanyaan dalam screening awal ini yang dapat menentukan pemicu yang paling mungkin terjadi, pertanyaan tersebut adalah:

1. Apakah terdapat bahan kimia yang tidak sesuai satu sama lain?
2. Apakah terdapat bahan kimia yang bersifat *spontaneously combustible*, *peroxide forming*, *water Reactive*, *oxidizing* dan *self reactive*?
3. Apakah dilakukan reaksi kimia pada proses produksi?
4. Apakah dilakukan proses pencampuran bahan kimia?

#### 4.1.4. Mengembangkan Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia

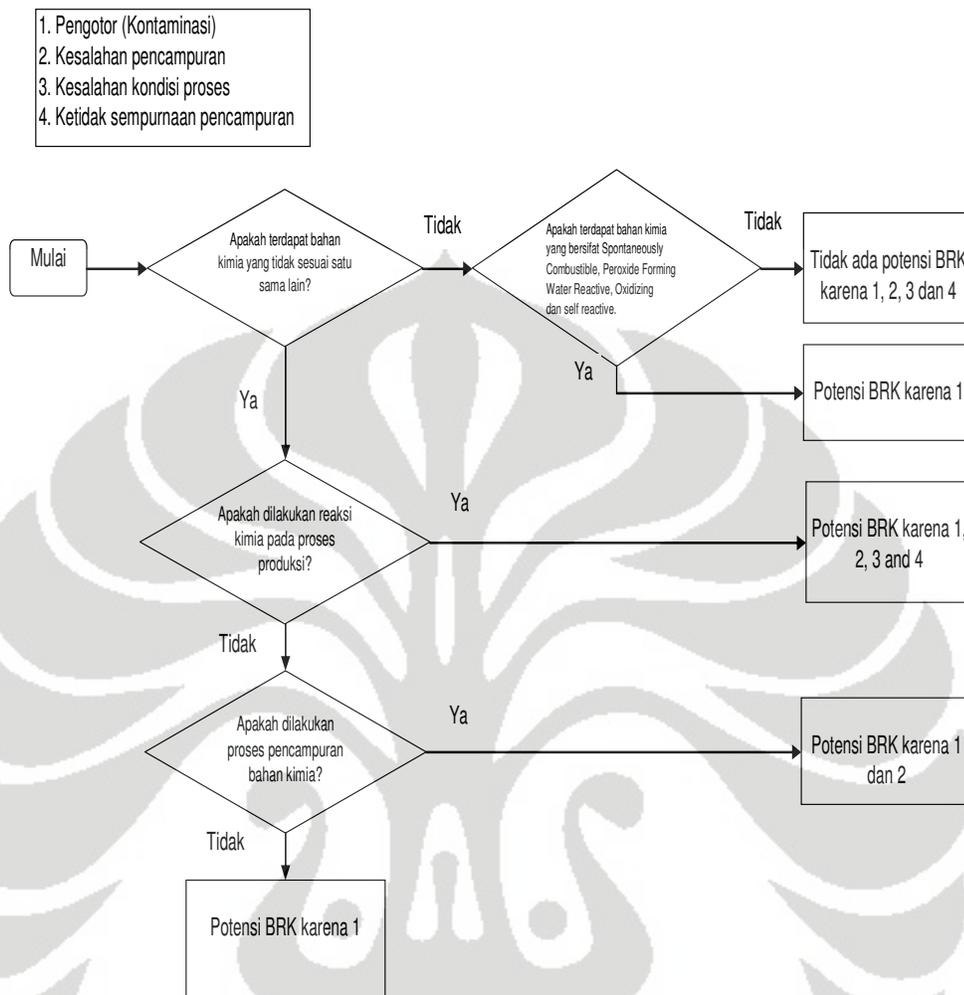
Dalam penelitian ini dirancang skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia berdasarkan lima faktor pemicu tersebut. Skenario terburuk yang dirancang harus sesuai dengan kondisi dilapangan dan memungkinkan untuk terjadi berdasarkan hasil screening yang sudah dilakukan.

##### 1. Skenario Terburuk BRK Karena Pengotor

Skenario terburuk ini dirancang berdasarkan kemungkinan terjadinya kontaminasi bahan baku, produk atau proses. Pengotor yang dipilih adalah pengotor yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan BRK dengan IB  $\geq 0,5$ . Faktor kesalahan penyimpanan dapat terjadi pada semua jenis industri, jadi tidak dimasukkan dalam proses skreening.

##### 2. Skenario Terburuk BRK Karena Kesalahan Pencampuran

Skenario terburuk ini dirancang berdasarkan kemungkinan terjadinya kesalahan pencampuran bahan baku pada proses produksi atau pengolahan limbah. Bahan baku dan proses yang dipilih adalah yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan BRK dengan IB  $\geq 0,5$ .



Gambar 4.2. Skreening Faktor Pemicu Bahaya Reaktifitas Kimia

### 3. Skenario Terburuk BRK Karena Kesalahan Kondisi Proses

Skenario terburuk ini dirancang berdasarkan kemungkinan terjadinya kesalahan pada kondisi proses produksi atau pengolahan limbah, seperti temperatur, tekanan, kecepatan aliran bahan baku dan lain-lain. Kesalahan kondisi proses yang dipilih adalah yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan BRK dengan  $IB \geq 0,5$ .

### 4. Skenario Terburuk BRK Karena Ketidaksempurnaan Pencampuran

Skenario terburuk ini dirancang berdasarkan kemungkinan terjadinya ketidaksempurnaan pencampuran bahan baku pada proses produksi atau pengolahan limbah, seperti kesalahan dalam urutan pencampuran, kekurangan

atau kelebihan salah satu atau lebih bahan baku, ketidakadaan salah satu atau lebih bahan baku dan kurang pengadukan. Ketidaksempurnaan pencampuran yang dipilih adalah yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan yang dapat menyebabkan BRK dengan  $IB \geq 0,5$ .

#### 5. Skenario Terburuk BRK Karena Kesalahan Penyimpanan

Skenario terburuk ini dirancang berdasarkan kemungkinan terjadinya kesalahan penyimpanan bahan baku atau produk, seperti penempatan yang tidak benar sehingga terjadi tumpahan, kemasan dibiarkan terbuka sehingga terkontaminasi, tidak ada label dan bahan kadaluarsa. Kesalahan penyimpanan tersebut berakibat terjadinya BRK dengan  $IB \geq 0,5$ .

Setelah ditentukan jenis skenario terburuk mana yang paling mungkin terjadi untuk masing-masing tempat penelitian, maka dilanjutkan dengan merancang skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia. Proses dalam merancang skenario terburuk adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari komposisi bahan baku untuk setiap produk yang diproduksi, dan melihat kemungkinan terjadinya reaksi yang tidak diinginkan berdasarkan matriks ketidaksesuaian bahan kimia.
2. Mempelajari proses produksi untuk melihat kemungkinan terjadinya potensi penyebab bahaya reaktifitas kimia.
3. Melakukan diskusi dengan bagian produksi dalam merancang skenario terburuk yang mungkin terjadi.

Skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia yang akan dikaji harus memiliki indeks bahaya (IB) minimal 0,5 mengacu pada Tabel 20. Setiap perusahaan yang masuk dalam penelitian ini akan dibuat minimal 3 skenario terburuk, maka total skenario yang dibuat berjumlah minimal 9 skenario terburuk dari 3 perusahaan yang masuk dalam penelitian ini.

#### **4.1.5. Kajian Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia Dengan Metode KJ Analysis**

Skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia dikaji secara mendalam untuk mencari faktor-faktor yang berpotensi menyebabkan terjadinya bahaya reaktifitas kimia sesuai skenario yang dirancang. Kajian ini dilakukan dalam kelompok diskusi yang melibatkan berbagai departemen seperti produksi, QC, R&D, *engineering*, *safety*

dan gudang dengan menggunakan metode *KJ analysis* atau yang lebih dikenal dengan metode *Affinity Diagram*. Keunggulan metode ini sudah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Tahapan yang dilakukan dalam metode KJ analysis ini adalah sebagai berikut:

1. Membentuk grup diskusi dengan persetujuan pihak manajemen perusahaan (Tabel 4.4), dengan kriteria peserta sebagai berikut:
  - a. Departemen: Produksi, QC, R and D, Maintenance Engineering, K3 dan Gudang.
  - b. Jabatan : Operator, Foremen, Supervisor dan Manajer.
  - c. Lama bekerja : Minimal 2 tahun.

Tabel 4.4. Peserta KJ Analysis Skenario Terburuk Pada Tiga Perusahaan

		PT XYZ	PT PQR	PT CDF
<b>Total</b>	<b>Jumlah Peserta</b>	<b>19</b>	<b>12</b>	<b>15</b>
Jabatan	Management	3	2	2
	Supervisor/Engineer	5	3	2
	Lead Operator	6	1	4
	Operator/Teknisi	5	6	7
Asal Departemen	Dept. Produksi	4	5	6
	Dept. Lab/QA	6	2	4
	Dept. Gudang	1	2	2
	Dept. Maintenance	5	2	2
	Dept. K3	3	1	1

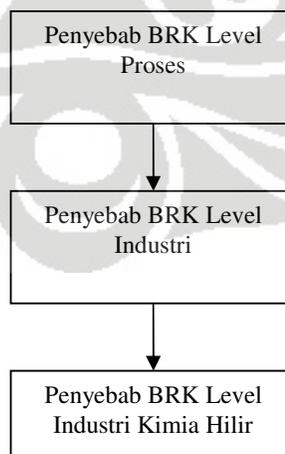
2. Menentukan jadwal diskusi dan membuat undangan untuk peserta diskusi.
3. Melaksanakan diskusi dengan metode KJ Analysis (3-4 jam) untuk setiap skenario:
  - a. Menjelaskan tujuan dan tatacara diskusi dengan metode KJ analysis.
  - b. Menjelaskan skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia yang merupakan permasalahan yang akan didiskusikan.
  - c. Setiap peserta diskusi diminta untuk memberikan masukan dengan cara menuliskan (diatas Post-it Note yang sudah disediakan) faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya bahaya reaktifitas kimia, yang ditinjau dari tiga faktor yaitu; faktor

lingkungan kerja, faktor sistem manajemen dan faktor pekerja. Satu penyebab dituliskan diatas satu lembar Post-it Note, dan peserta diberi kebebasan untuk menuliskan sebanyak yang mereka ketahui. Gambar 4.3 adalah contoh penulisan masukan dengan metode KJ Analisis.



Gambar 4.3. Contoh Masukan KJ Analysis Dari Peserta Diskusi Dalam Post-it Note

- d. Kemudian peserta diskusi diminta untuk menempelkan Post-it Note yang sudah mereka isi ditempat yang sudah disediakan berdasarkan kategori faktor lingkungan kerja, faktor sistem manajemen dan faktor pekerja.
- e. Kemudian semua peserta diskusi diminta untuk kedepan dan membaca semua masukan yang tertempel di papan tulis untuk mendiskusikan masukan-masukkan tersebut serta mengelompokkan kedalam kategori yang lebih rendah lagi.



Gambar 4.4. Proses Penggabungan Penyebab BRK dari Level Proses Kelevel Industri

Model penyebab BRK pada level proses digabungkan menjadi satu model penyebab pada level jenis industri. Penggabungan model penyebab BRK ini didasarkan pada kesamaan kategori risiko. Setelah mendapatkan model penyebab BRK untuk masing-masing jenis industri, kemudian model penyebab pada level industri ini digabungkan dengan cara yang sama seperti menggabungkan model penyebab BRK level proses ke level industri. Hasil penggabungan model penyebab BRK level industri akan diperoleh model penyebab BRK yang mewakili industri kimia hilir (Gambar 4.4).

#### **4.1.6. Audit Sistem Manajemen Keselamatan**

Metode audit dilakukan dengan cara melihat langsung fasilitas dan proses produksi mulai dari kedatangan bahan baku, proses produksi dan pengemasan serta penyimpanan bahan baku dan produk. Audit juga dilakukan terhadap dokumen yang ada seperti prosedur kerja, data-data hasil pengukuran, data-data kecelakaan kerja, dan seterusnya. Metode pencatatan hasil audit adalah dengan menggunakan ceklist yang sudah dipersiapkan sebelumnya. Ceklist dibuat atau dikembangkan berdasarkan hasil diskusi KJ analysis dan kuosioner sebelumnya. Beberapa pertanyaan dalam ceklist juga diambil dari literatur-literatur seperti Seo D.C. (2004), Dingsdag D.P. et al. (2008), Rundmo T. et al. (2003), Zhou Q. et al. (2007), Cox S.J. et al. (2000), teori manajemen BRK (Johnson R.W., 2003), teori audit K3 (DNV, 1994) dan CCPS (1999). Terdapat 96 item dalam checklist yang digunakan untuk observasi lapangan, 96 item tersebut dikelompokkan menjadi 17 kategori. Pengisian checklist dilakukan melalui pengamatan aktifitas dan kondisi proses atau lingkungan kerja, pengecekan dokumen proses, diskusi atau wawancara dengan pekerja dan supervisor/manajer.

#### **4.1.7. Analisa Model Kuantitatif Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Model penyebab bahaya reaktifitas kimia yang sudah dikembangkan sebelumnya, kemudian dilakukan analisa kuantitatif terhadap model tersebut. Metode yang digunakan dalam analisa kuantitatif ini adalah dengan membuat kuosioner (angket pertanyaan). Kuosioner dikembangkan berdasarkan faktor-faktor penyebab bahaya reaktifitas kimia yang muncul dalam model risiko bahaya reaktifitas kimia yang sudah dikembangkan dengan metode kualitatif pada tahap sebelumnya. Kuosioner akan dibagikan kepada pekerja (operator, supervisor dan manajer) dari 3

industri kimia hilir yang masuk dalam penelitian ini. Hasil kuosioner akan diolah dengan program statistik SPSS dan LISREL. Aplikasi SPSS digunakan untuk analisis statistik diskriptif dan LISREL digunakan untuk Structural Equation Model (SEM). SEM secara statistik adalah generasi kedua dari teknik analisis multivariate, yang memungkinkan peneliti untuk menguji hubungan antara variabel yang kompleks baik *recursive* maupun *non-recursive* untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai keseluruhan model yang dibuat.

#### 4.1.7.1. Pengembangan Kuosioner

Dasar pengembangan kuosioner adalah hasil kajian kualitatif curah pendapat dengan metoda KJ Analisis yang sudah dilakukan sebelumnya. Dari kajian kualitatif bahaya reaktifitas kimia tersebut diperoleh 6 variabel utama penyebab langsung dan tidak langsung bahaya reaktifitas kimia berdasarkan skenario terburuk yang dibuat pada tiga perusahaan berbeda. Kemudian dari 6 variabel ini dikembangkan beberapa pertanyaan atau pernyataan yang sesuai dengan masing-masing variabel.

Bentuk pertanyaan yang dikembangkan dalam kuosioner ini adalah pertanyaan tertutup (*closed ended*). Bentuk pertanyaan tertutup ini dipilih karena mudah mengarahkan jawaban responden dan juga mudah diolah (ditabulasi) (Jatiputra, 1991). Responden tinggal memilih jawaban yang sudah disediakan pada setiap pertanyaan atau pernyataan yang diberikan. Alternatif jawaban diberikan dalam bentuk skala angka 1 sampai dengan 5 mengikuti skala Linkert. Skala rating angka 1 berarti sangat tidak setuju, tidak pernah, tidak ada sama sekali atau sangat kecil. Skala rating angka 5 berarti sangat setuju, sangat sering, sangat lengkap atau sangat besar. Dan juga disediakan jawaban tidak tahu untuk memberikan alternatif bagi responden apabila pertanyaan yang diajukan tidak ada hubungannya dengan pekerjaan mereka atau responden benar-benar tidak mengetahui jawabannya. Format skala Linkert ini banyak digunakan dalam penelitian perilaku, budaya dan iklim keselamatan kerja seperti penelitian iklim keselamatan kerja yang dilakukan oleh Seo D.C. et al. (2004).

Dari 6 variabel hasil KJ analisis skenario terburuk dikembangkan sebanyak 47 item pertanyaan, dimana 6 variabel tersebut merupakan variabel independen. Sedangkan untuk variabel dependen terdiri dari 4 faktor pemicu kecelakaan BRK berdasarkan penelitian sebelumnya (Ramussen B., 1989) yaitu kesalahan pencampuran, kontaminasi, kesalahan setting parameter proses dan ketidak

sempurnaan pencampuran. Berdasarkan sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang dikeluarkan oleh CCPS, dimana faktor kesalahan penyimpanan bahan kimia merupakan faktor yang sangat berpotensi menyebabkan kecelakaan BRK, dan juga melihat kondisi dilapangan, maka untuk melengkapi informasi dan model resiko BRK yang dikembangkan ini, maka peneliti menambah 1 faktor kesalahan penyimpanan bahan baku sebagai variabel dependen. Dari 5 variabel dependen ini dikembangkan 17 item pertanyaan. Pada pertanyaan variabel dependen juga ditanyakan konsekuensi yang mungkin terjadi dari masing-masing item pertanyaan, dengan jawaban skala 1 sampai dengan 5. Jadi total item pertanyaan atau pernyataan yang diajukan dalam kuosioner ini adalah 64 item pertanyaan (Lampiran 6).

Pada kuosioner ini responden juga diminta untuk menjawab pertanyaan data demografi seperti umur, jenis kelamin, pendidikan terakhir, lama bekerja, dan sebagainya. Juga ditambahkan tiga pertanyaan yang menyangkut tingkat kepatuhan dalam melaksanakan K3, kejadian hampir celaka dengan bahan kimia dalam satu tahun terakhir dan kejadian kecelakaan dengan bahan kimia yang pernah dialami pekerja dalam lima tahun terakhir.

Setiap item pertanyaan yang dikembangkan mengacu pada literatur-literatur yang ada seperti penelitian sebelumnya oleh Seo D.C. (2004), Dingsdag D.P. et al. (2008), Rundmo T. et al. (2003), Zhou Q. et al. (2007), Cox S.J. et al. (2000), teori manajemen BRK (Johnson R.W., 2003), teori audit K3 (DNV, 1994), CCPS (1999) dan juga berdasarkan hasil diskusi KJ analisis (Lihat Tabel 4.5).

Untuk menyempurnakan kuosioner peneliti juga berkonsultasi dengan pembimbing, manajemen (tenaga ahli) diketiga perusahaan, teman-teman kuliah dan kantor, dan beberapa dosen di FKM dan Fakultas Psikologi Universitas Indonesia.

#### **4.1.7.2. Uji Validitas dan Realibilitas Kuosioner**

##### **4.1.7.2.1. Uji Validitas**

Uji validitas adalah untuk memastikan bahwa skala pengukuran yang digunakan mengukur apa yang seharusnya diukur. Ada 3 jenis validasi yang dapat dilakukan pada suatu kuosioner sebelum dilakukan uji coba dilapangan, yaitu uji validitas isi (*Content Validity*), uji validitas konstruksi (*Construct Validity*), dan uji validitas kriteria (*Criterion Validity*) (Sarwono, 2006).

Uji validitas konstruksi dan isi dapat dilakukan melalui pendapat para ahli dan profesional mengenai kuosioner yang sudah dikembangkan (Sugiyono, 2005). Peneliti melakukan panel diskusi dengan 2 orang ahli dalam bidang keselamatan kerja pada tanggal 12 Maret 2010, pukul 8.30-10.30 WIB bertempat di Lab K3 FKM UI. Panelis yang melakukan evaluasi dan uji validitas pada kuosioner tersebut adalah Dr.rar.nat. Budiawan (FMIPA-Kimia-UI) dan Dr.dr.Meily Temajaya (FKM-K3-UI). Peneliti juga meminta pendapat dari Dr.Robiana Modjo (FKM-K3-UI) dalam diskusi terpisah pada tanggal 25 Februari 2010, pukul 16.00-17.30 WIB di FKM-K3 UI dan Corina PhD (Psikologi-UI) pada tanggal 2 Maret 2010 pukul 12.00-14.00 WIB. Peneliti juga meminta para profesional/ahli dari luar akademis untuk melakukan evaluasi dan memberikan masukan terhadap kuosioner yang dikembangkan, para profesional yang dimintai masukannya adalah Audist Subekti PhD (OH&ES *Professional Advisor* 3M Indonesia), *Operational Director* PT PQR, *Plant Manager* PT XYZ dan *Production Manager* PT CDF.

Dari hasil diskusi dengan para ahli dan profesional, diperoleh masukan dan kesimpulan sebagai berikut:

1. Beberapa kalimat pertanyaan agar lebih disederhanakan agar lebih mudah dipahami oleh responden yang pada umumnya memiliki latar belakang pendidikan SLTA.
2. Masih terdapat beberapa pertanyaan yang memiliki jawaban ganda agar dibagi menjadi dua pertanyaan.
3. Perlu perbaikan mengenai pertanyaan untuk uji pengetahuan atau pemahaman tentang istilah label dan simbol.
4. Jawaban (no. 46 s/d 50) tentang pilihan perlu diperbaiki agar selaras dengan pertanyaan.
5. Beberapa istilah bahasa Inggris agar ditambahkan bahasa Indonesianya.
6. Pengelompokan item-item pertanyaan agar diperbaiki sesuai hasil diskusi.

Semua para ahli dan profesional menyimpulkan bahwa secara keseluruhan kuosioner yang dikembangkan sudah baik dan valid, setelah diperbaiki peneliti sudah dapat melakukan uji coba terlebih dahulu.

Tabel 4.5. Literatur dan Dasar Pengembangan Kuosioner Bahaya Reaktifitas Kimia

Kuosioner BRK	KJ Analysis	Ramussen B. (1999)	Paul P.S. et al. (2007)	Seo D.C. (2004)	Dingsdag D.P. et al. (2008)	Rundmo T. et al. (2003)	Zhou Q. et al. (2007)	Cox S.J. et al. (2000)	Lawrie M. et al. (2006)	Johnson R.W. (2003)	Teori audit K3 (DNV, 1994),	CCPS (1999)
Training dan Kompetensi (X1)	√			√	√		√		√	√	√	
Prosedur dan standar kerja (X2)	√					√	√		√	√	√	√
Faktor Pekerja (X3)	√		√				√					
Komitmen K3 (X4)	√			√	√	√	√	√	√	√	√	
Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja (X5)	√							√		√	√	√
Analisa Resiko (X6)	√					√			√	√		√
Kesalahan Pencampuran (Y1)	√	√								√		√
Kontaminasi / Pengotor (Y2)	√	√								√		√
Kesalahan parameter process produksi (Y3)	√	√								√		√
Ketidaktepurnaan pencampuran (Y4)	√	√								√		√
Kesalahan penyimpanan bahan baku/produk (Y5)	√									√		√

#### 4.1.7.2.2. Uji Reabilitas

Reabilitas menunjukkan adanya konsistensi dan stabilitas nilai hasil skala pengukuran tertentu. Reabilitas berkonsentrasi pada masalah akurasi pengukuran dan hasilnya (Sarwono, 2006). Untuk mengetahui reabilitas kuosioner yang digunakan pada penelitian ini maka dilakukan uji coba pengambilan data pada 40 responden dari dua perusahaan tempat penelitian.

Data hasil kuosioner dari 40 responden (*100% respond rate*) diolah dengan menggunakan program statistik SPSS versi 16 untuk melihat realibilitas kuosioner (*cronbach alpha*). Hasil perhitungan statistik *cronbach alpha* adalah seperti pada Tabel 4.6, semua variabel memiliki nilai *cronbach alpha* lebih besar dari 0,70. Nilai cronbach alpha yang dapat diterima adalah  $\geq 0,70$  (Seo, 2004), artinya tingkat reabilitas dari kuosioner adalah baik atau dapat diterima, dimana terdapat 12 variabel laten dan 64 variabel indikator.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Cronbach Alpha (Reabilitas)

No	Variabel Laten	Cronbach Alpha
1	Training dan Kompetensi (X1)	0,80
2	Prosedur dan standar kerja (X2)	0,78
3	Faktor Pekerja (X3)	0,76
4	Komitmen K3 (X4)	0,83
5	Keamanan Lingkungan Kerja (X5)	0,77
6	Analisis Bahaya atau Resiko (X6)	0,77
7	Kesalahan Pencampuran (Y1)	0,75
8	Kontaminasi / Pengotor (Y2)	0,82
9	Kesalahan parameter process produksi (Y3)	0,86
10	Ketidak sempurnaan pencampuran (Y4)	0,82
11	Kesalahan penyimpanan bahan baku/produk (Y5)	0,75

#### 4.1.7.3. Pengambilan Data Melalui Kuosioner

SEM mensyaratkan jumlah sampel yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan metode analisis multivariate yang lain. Makin besar jumlah sampel maka model yang dihasilkan akan semakin dapat dipercaya, namun jumlah sampel yang terlalu besar akan memerlukan biaya dan waktu yang besar. Menurut Hair et al (2006) bahwa aturan umum yang diterima mengenai minimal jumlah sampel adalah lima kali dari jumlah variabel yang diukur (5:1), dan yang lebih dapat diterima dan realistis adalah 10:1, dan beberapa peneliti lain menyarankan untuk mengambil dengan

perbandingan 20:1. Yang dimaksud dengan jumlah variabel yang diukur disini adalah koefisien faktor atau hubungan antar dua variabel, yaitu varian (variabel eksogen) dan *disturbance* (variabel endogen). Dalam penelitian ini jumlah awal variabel yang akan diukur adalah 38 variabel, maka minimal jumlah sampel yang dibutuhkan adalah minimal 380.

Setelah tahapan uji validitas dan reabilitas, kuosioner dibagikan kepada lebih dari 500 pekerja dari 3 perusahaan industri kimia tempat penelitian dilakukan. Jumlah kuosioner yang dibagikan untuk masing-masing perusahaan adalah sebagai berikut:

1. PT XYZ berjumlah 396 kuosioner, diserahkan pada tanggal 01 April dan 20 April 2010.
  2. PT CDF berjumlah 40 kuosioner, diserahkan pada tanggal 05 April 2010
  3. PT PQR berjumlah 150 kuosioner, diserahkan pada tanggal 06 April 2010
- Total : 586 kuosioner

Jumlah kuosioner yang dikembalikan oleh responden adalah sebagai berikut:

1. PT XYZ berjumlah 365 kuosioner, diterima pada tanggal 09 April dan 30 April 2010.
  2. PT CDF berjumlah 40 kuosioner, diterima pada tanggal 09 April 2010
  3. PT PQR berjumlah 149 kuosioner, diterima pada tanggal 20 April 2010
- Total : 554 Kuosioner

Tingkat pengembalian kuosioner dari 3 perusahaan ini cukup tinggi (94,5%).

#### **4.1.7.4. Pengembangan *Structural Equation Modeling* Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Data yang diperoleh dari kuosioner akan diolah dengan menggunakan program statistik SPSS 16 dan LISREL 8.50. Pengolahan data dengan SPSS untuk uji reabilitas kuosioner, normalitas dan multikolinearitas data. Dan LISREL digunakan untuk membuat model struktur penyebab BRK atau *Structural Equation Modelling* (SEM).

Ada beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebelum dilakukan pemodelan SEM, yaitu (Widarjono, 2010):

1. Normalitas; data harus memenuhi asumsi normalitas, jika asumsi terpenuhi maka pemodelan SEM dapat dilakukan.

2. Linearitas; hubungan antar variabel harus memenuhi asumsi hubungan yang bersifat linear.
3. Multikolinearitas; tidak ada kolinearitas atau hubungan sempurna antar variabel.
4. Outlier; tidak ada outlier pada data.

Ada enam tahapan dalam pembuatan SEM yang harus dilakukan (Hair, et.al., 2006), yaitu:

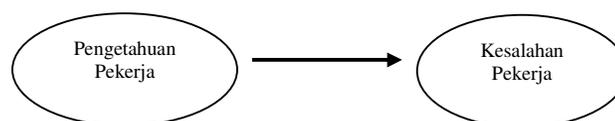
### 1. Mendefinisikan Konstruksi Individu.

Tahap pertama adalah menentukan dan mendefinisikan variabel indikator dan skala yang akan diukur untuk setiap variabel laten yang akan dimasukkan kedalam model. Kedua hal tersebut harus didukung oleh teori yang kuat sehingga konstruksi model yang dibangun dapat dipercaya dan akurat. Tahapan ini dilakukan pada saat pembuatan kuosioner.

### 2. Mengembangkan Model Pengukuran.

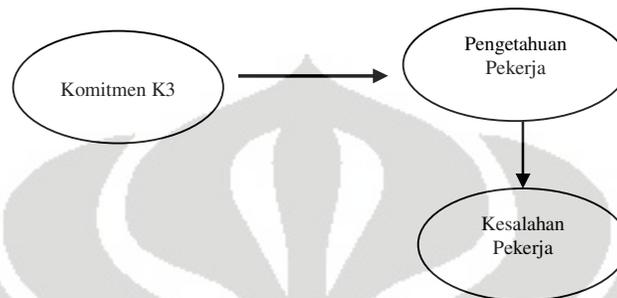
Tahap kedua adalah mengembangkan model pengukuran atau menetapkan model yang akan diestimasi. Model pengukuran yang dimaksud disini adalah pernyataan struktural/statistik tentang hubungan antar variabel (Damayanti, 2007). Pada penelitian ini, model pengukuran ditetapkan pada tahapan analisa kualitatif bahaya reaktivitas kimia. Model pengukuran dikembangkan berdasarkan hasil kajian grup diskusi KJ analisis dan diskusi dengan praktisioner dilapangan serta didukung oleh teori-teori yang mendasari hubungan dari variabel tersebut. Didalam melakukan analisis SEM, ada 2 jenis hubungan dari variabel-variabel yang ada dalam model, yaitu:

- a. Hubungan langsung (Gambar 4.5): yaitu hubungan dari dua variabel yang memiliki arah dan digambarkan dengan panah satu arah. Hubungan ini dapat dianalisa dengan anova atau regresi ganda.



Gambar 4.5. Hubungan Langsung

- b. Hubungan tidak langsung (Gambar 4.6): yaitu hubungan dari dua variabel yang tidak langsung akan tetapi hubungan tersebut melalui variabel lain sebagai perantara.



Gambar 4.6. Hubungan Tidak Langsung

### 3. Mendisain Studi untuk Mendapatkan Hasil Empiris.

Tahapan ketiga adalah mendisain studi untuk mendapatkan hasil empiris, pada tahapan ini ada enam hal yang harus diperhatikan, yaitu:

- a. Jenis analisis data kovarian atau korelasi.

Yaitu menentukan jenis analisa apakah kovarian atau korelasi, meskipun program SEM dapat melakukan pengolahan data tanpa membedakan keduanya. Sebagian besar peneliti menggunakan analisis korelasi karena lebih mudah untuk diinterpretasikan.

- b. Missing data.

Missing data dapat menimbulkan masalah pada interpretasi atau estimasi dari analisa SEM. Missing data yang masih dapat diterima adalah lebih kecil dari 10 persen dan bersifat random.

- c. Ukuran sampel.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa aturan umum yang diterima mengenai minimal jumlah sampel adalah lima kali dari jumlah variabel yang diukur (5:1), dan yang lebih dapat diterima dan realistis adalah 10:1, dan beberapa peneliti lain menyarankan untuk mengambil dengan perbandingan 20:1.

- d. Model struktur.

Tahapan yang paling penting dalam analisis SEM adalah menentukan dan mengkomunikasikan model pengukuran kedalam program dengan cara menspesifikasi parameter model menjadi model estimasi atau dengan kata lain mencoba membuat

model secara statistik. Dalam menspesifikasi model ada dua jenis parameter atau konstanta hubungan antara dua variabel yang harus dispesifikasi, yaitu:

- 1) *Free parameter*; yaitu parameter yang diestimasi oleh analisis SEM dimana nilainya tidak nol.
- 2) *Fixed Parameter*; yaitu parameter yang diestimasi oleh peneliti dimana nilainya adalah nol.

e. Teknik estimasi.

Setelah model dispesifikasi, maka tahap selanjutnya adalah mengestimasi model yaitu mengestimasi *free parameters* dari satu set variabel. Ada beberapa teknik estimasi yang dapat digunakan seperti regresi *Ordinary Least Square* (OLS), *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), *Weighted Least Square* (WLS), *Generalized Least Square* (GLS) dan *Asymptotically Distribution Free* (ADF). Masing-masing metode memiliki keunggulan, dan yang paling banyak digunakan adalah MLE dan menjadi *default* pada banyak program SEM.

f. Program pengolahan data yang digunakan.

Ada beberapa program perangkat lunak (software) yang dapat digunakan untuk analisis SEM seperti LISREL, AMOS, EQS dan CALIS. Program yang paling banyak digunakan adalah LISREL dan AMOS karena relatif lebih mudah aplikasinya.

#### 4. Menilai Validitas Model Pengukuran.

Tahapan keempat adalah melakukan validasi terhadap model pengukuran yaitu dengan menghitung nilai Goodness-of-fit (GOF). GOF merupakan indikasi seberapa cocok/fit matriks kovarian dari hasil estimasi dengan observasi. Semakin sempurna model estimasi maka nilai estimasi matrik kovarian ( $\Sigma_k$ ) dan nilai matrik kovarian hasil observasi (S) akan sama. Index kecocokan yang umum digunakan adalah  $\chi^2$  (Chi-square) GOF, dimana  $\chi^2 \text{ GOF} = (N-1) (S - \Sigma_k)$ , dimana N adalah ukuran sampel. Nilai signifikansi dari  $\chi^2 \text{ GOF}$  adalah dalam bentuk p-value, makin tinggi nilai p-value makin tidak cocok antara model estimasi dengan model observasi. Nilai p-value yang dapat diterima adalah  $<0,05$  (Hair et.al, 2006), dimana pada nilai ini model dapat dianggap cocok/fit atau tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua model. Namun  $\chi^2 \text{ GOF}$  tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya alat untuk menentukan kecocokan/fit dari model, karena  $\chi^2$  dipengaruhi oleh ukuran sampel (N), makin besar

ukuran sample maka makin mudah signifikansi tercapai, padahal signifikansi menunjukkan ketidakcocokan model. Disarankan untuk menggunakan beberapa metode GOF berikut untuk menentukan kecocokan/fit dari SEM:

a) *Absolute Fit Measures*; yaitu ukuran kecocokan secara keseluruhan (model estimasi dan model observasi) terhadap matriks korelasi dan matriks kovarians. Ada beberapa metode pada kategori ini, salah satu contohnya adalah *Goodness-of-Fit Index* (GFI). Metode GFI ini tidak terlalu sensitif terhadap jumlah sample. Nilai GFI berada pada kisaran 0 sampai dengan 1 dimana makin tinggi nilainya makin baik atau cocok/fit model tersebut. Ada yang berpendapat nilai GFI > 0,9 sudah bagus dan juga ada yang berpendapat nilai GFI > 0,95 baru dapat dikatakan bagus. Metode lain yang masuk dalam kategori ini adalah *Root Mean Square Residual* (RMSR); yaitu residu rata-rata antara matriks kovarians/korelasi teramati dan hasil estimasi, nilai RMSR < 0,05 adalah *good fit*. *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA); yaitu merupakan ukuran rata-rata perbedaan per degree of freedom yang diharapkan dalam populasi. RMSEA < 0,08 adalah *good fit*, sedangkan RMSEA < 0,05 adalah *close fit* (Yamin et.al. 2009).

Tabel 4.7. Nilai Signifikansi GFI untuk SEM

uji statistik	n < 250			n > 250		
	m ≤ 12	12 < m < 30	m ≥ 30	m ≤ 12	12 < m < 30	m ≥ 30
X <sup>2</sup>	tidak signifikan	signifikan	signifikan	tidak signifikan	signifikan	signifikan
CFI or TLI or RNI	≥ 0,97	≥ 0,95	> 0,92	≥ 0,95	> 0,92	> 0,90
RNI	sulit terdiagnosa	≥ 0,95	> 0,92	≥ 0,95 tapi tidak	> 0,92 tapi tidak	> 0,90 tapi tidak
				untuk n > 1000	untuk n > 1000	untuk n > 1000
SRMR	bisa bias, gunakan indeks lain	≤ 0,08 (dg CFI ≥ 0,95)	< 0,09 (dg CFI > 0,92)	bisa bias, gunakan indeks lain	≤ 0,08 (dg CFI > 0,92)	≤ 0,08 (dg CFI > 0,92)
RMSEA	< 0,08 dg CFI ≥ 0,97	< 0,08 dg CFI ≥ 0,95	< 0,08 dg CFI > 0,92	< 0,07 dg CFI ≥ 0,97	< 0,07 dg CFI ≥ 0,92	< 0,07 dg CFI ≥ 0,90

Sumber: Multivariate Data Analysis, Hair et al (2006:p753)

b) *Incremental Fit Indices*; yaitu ukuran kecocokan yang bersifat relative, digunakan untuk membandingkan model estimasi dengan *null model* (*some alternative baseline model*). Salah satu contoh metode dalam kategori ini adalah *Normed Fit Index* (NFI) dimana metode ini mengukur perbedaan nilai  $\chi^2$  *fitted model* dan *null model* dibagi

nilai  $\chi^2$  *null model*. Kisaran nilai NFI adalah antara 0 dan 1 dimana nilai 1 menunjukkan model sangat cocok/fit sempurna, dan umumnya nilai yang dapat diterima adalah >0,9. Metode lain yang ada dalam kategori ini adalah Comparative Fit Index (CFI), Tucker Lewis Index (TLI) dan Relative Noncentrality Index (RNI). Menurut Hair (2006), untuk menilai apakah sebuah model sudah fit minimal tiga nilai GFI seperti pada Tabel 4.7 terpenuhi.

### **5. Menspesifikasi Model Struktur.**

Tahapan kelima ini merupakan tahapan yang paling kritikal dalam pengembangan SEM. Pada tahapan ini adalah menentukan kekuatan hubungan antara variabel laten baik exogen maupun endogen. Dengan mengetahui hubungan antar variabel laten tersebut, maka dapat ditentukan variabel-variabel yang paling berpengaruh diantara hubungan tersebut.

### **6. Menilai Validitas Model Struktur**

Ini merupakan tahapan terakhir dari proses SEM, dimana pada tahapan ini dilakukan validasi terhadap model yang sudah dibuat. Validasi dapat dengan cara pengukuran GOF untuk struktural model.

#### **4.1.8. Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia**

Mengacu pada model penyebab BRK yang sudah dikembangkan sebelumnya, dimana sudah diketahui faktor-faktor penyebab bahaya reaktifitas kimia, baik penyebab langsung maupun tidak langsung, maka selanjutnya dapat dikembangkan sistem pengendalian atau kontrol terhadap bahaya reaktifitas kimia tersebut.

Tahapan dalam pengembangan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia adalah sebagai berikut:

1. Menentukan sistem kontrol yang sesuai untuk setiap penyebab bahaya reaktifitas kimia baik penyebab langsung maupun tidak langsung berdasarkan model risiko bahaya reaktifitas kimia. Sistem kontrol yang diusulkan dapat diambil dari sistem yang sudah baku seperti CCPS, NFPA, OHSAS 18001, SMK3, ISO 9001 dan 14001 atau modifikasi dari sistem yang sudah baku tersebut berdasarkan pengalaman praktisi lapangan.

2. Menyatukan sistem kontrol yang sama kedalam satu elemen pengendalian bahaya reaktifitas kimia. Dimana masing-masing sistem kontrol akan menjadi sub-elemen. Elemen-elemen pengendalian bahaya reaktifitas kimia ini akan diintegrasikan dengan elemen-elemen yang terdapat didalam ISO 9001, ISO 14001 dan OHSAS 18001/SMK3.
3. Membuat usulan program untuk mendukung penerapan elemen dan sub elemen secara operasional. Usulan program ini akan terintegrasi dengan program yang dibuat berdasarkan sistem manajemen ISO 9001, ISO 14001 dan OHSAS 18001/SMK3.
4. Membuat *guideline* penerapan sistem pengendalian terintegrasi bahaya reaktifitas kimia.

#### **4.2. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan pada 3 jenis industri kimia hilir yang berlokasi di Banten dan Jawa Barat. Penelitian berlangsung selama lebih kurang 1 tahun dimulai pada bulan Juni 2009 sampai dengan Juni 2010, yaitu industri cat (PT XYZ), kosmetik (PT PQR) dan herbisida (PT CDF). Pemilihan ketiga jenis industri dan perusahaan ini adalah berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

1. Ketiga jenis industri ini termasuk kedalam kategori industri kimia hilir berdasarkan data dari Departemen Perindustrian.
2. Ketiga jenis industri ini menggunakan berbagai bahan kimia sebagai bahan baku produksi.
3. Ketiga jenis industri ini menggunakan sistem batch proses.
4. Ketiga jenis industri ini dapat mewakili proses pencampuran saja (mixing), proses fisika (grinding) dan proses reaksi kimia, ketiga hal tersebut merupakan proses yang berpotensi menimbulkan bahaya reaktifitas kimia.
5. Ketiga perusahaan ini sudah mengaplikasikan sistem manajemen QHSE pada tahapan dan level yang berbeda, sehingga dapat dilihat perbedaan pengaruh sistem tersebut terhadap potensi bahaya reaktifitas kimia.
6. Ketiga perusahaan berlokasi di daerah Jobodetabek yang memungkinkan peneliti untuk melakukan sendiri pengambilan data dilapangan.

7. Ketiga perusahaan ini bersedia untuk bekerjasama dan memberikan kesempatan kepada peneliti untuk melakukan penelitian bahaya reaktifitas kimia.

### **4.3. Pengumpulan Data**

#### **4.3.1. Sumber Data**

Sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Berbagai literatur sifat fisik dan kimia; *NFPA*, *NOAA Worksheet Bretherick's Handbook*, *US CHRIS database*, *NIOSH Pocket Guide* dan lain-lain.
2. Informasi bahan baku dari manufaktur; MSDS, TDS.
3. Data proses dan QC; catatan produksi dan laboratorium.
4. Data bahan baku dari logistik.
5. WI, SOP dan P&ID
6. Data kecelakaan kerja dari departemen safety.
7. Program manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas.
8. Manajemen dan pekerja.
9. Observasi dan survei lapangan.

#### **4.3.2. Jenis Data**

Data yang diambil dari penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer yaitu data yang diperoleh dari wawancara, diskusi, observasi, survei, audit dan penyebaran angket. Sementara data sekunder diperoleh hanya dari audit dokumen.

#### **4.3.3. Cara Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi lapangan dan studi literatur. Pengumpulan data dilapangan dibantu oleh departemen keselamatan (safety), produksi, gudang, laboratorium dan engineering. Cara pengumpulan data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur dan dokumen bahan-bahan kimia untuk mendapat informasi jenis dan bahaya reaktifitas kimia dari bahan yang digunakan.

2. Review dokumen (WI, SOP, Kebijakan K3, Prosedur K3, Laporan K3, dan dokumen-dokumen lain yang dirasa perlu dan berhubungan dengan penelitian ini).
3. Survey dan observasi lapangan untuk melihat potensi dan risiko bahaya reaktifitas kimia untuk membuat skenario terburuk.
4. Diskusi dengan pekerja/manajemen dalam melakukan kajian skenario terburuk untuk mendapatkan informasi faktor-faktor penyebab kecelakaan bahaya reaktifitas kimia.
5. Penyebaran kuosioner untuk analisa kuantitatif model penyebab BRK dengan program statistik SPSS dan LISREL.
6. Audit dan review sistem manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas untuk merancang sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia.

#### **4.4. Pengontrolan Kualitas Data**

Untuk menjaga kualitas data dilakukan sistem kontrol sebagai berikut:

1. Melibatkan petugas keselamatan, produksi, laboratorium, enjiniring dan gudang dalam mengumpulkan data dan kajian risiko bahaya reaktifitas kimia dilapangan.
2. Melakukan diskusi dan review ulang terhadap temuan dilapangan dengan bagian terkait untuk memastikan validitas dan keakuratan data dan informasi temuan tersebut.
3. Peneliti secara langsung melakukan pengambilan dan kajian informasi, data dan risiko dilapangan.
4. Pengumpulan data dan informasi dilakukan dengan menggunakan format yang sudah disiapkan terlebih dahulu untuk menjaga konsistensi proses pengumpulan data dan informasi.

#### **4.5. Analisis Data**

Sebelum dilakukan data analisis terlebih dahulu dilakukan proses manajemen data sebagai berikut:

1. *Editing* dan *cleaning*; semua data hasil observasi akan disaring untuk menghilangkan data atau informasi yang tidak relevan atau janggal.

2. *Entry data*; semua data dan informasi yang diperoleh akan dimasukkan kedalam program komputer untuk memudahkan pengolahan data lebih lanjut.

Ada beberapa jenis pengolahan data yang akan dilakukan untuk mendapat informasi yang dibutuhkan, yaitu:

1. Ketidaksesuaian bahan kimia (*incompatibility material*); data diolah dengan menggunakan *NOAA worksheet* program dan didukung dengan literatur dari *Bretherick's Handbook*, *NIOSH pocket guide* dan *US CHRIS database*.
2. Data KJ analysis diolah dengan program Excel untuk membuat model kualitatif risiko bahaya reaktifitas kimia.
3. Hasil kuosioner akan diolah dengan menggunakan program statistik SPSS dan LISREL.

#### 4.6. Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Setiap industri memiliki sistem manajemen, proses, teknologi dan sumber daya yang berbeda-beda, sehingga diperoleh data yang mungkin sangat beragam dengan tingkat risiko yang berbeda-beda.
2. Hanya 3 Jenis industri yang dipilih dari 14 kategori industri kimia hilir yang masuk dalam kriteria penelitian ini, hal ini disebabkan oleh keterbatasan waktu dan dana yang dimiliki dalam penelitian ini. Namun diharapkan ke-3 jenis industri ini dapat mewakili industri kimia hilir.
3. Beberapa bahan kimia tidak dapat dimasukkan dalam proses pengolahan data karena keterbatasan informasi yang tersedia seperti adanya *trade-secret* dan tidak tersedianya MSDS.

#### 4.7. Etik Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tiga perusahaan industri kimia hilir. Setiap perusahaan memiliki peraturan dan kebijakan yang berbeda-beda dalam memberikan informasi dan data kepada pihak luar, terutama informasi mengenai proses dan formula produk. Untuk mendapatkan ijin dalam melakukan penelitian ini, maka peneliti terlebih dahulu menjelaskan tujuan, ruang lingkup dan manfaat penelitian ini kepada pihak manajemen perusahaan. Kemudian peneliti mengajukan proposal

kerjasama dan jaminan kerahasiaan informasi kepada pihak manajemen perusahaan. Persetujuan dan jaminan kerahasiaan informasi ditanda tangani oleh peneliti dan perwakilan manajemen perusahaan tempat penelitian dilakukan.



## BAB 5 HASIL PENELITIAN

### 5.1. Data Perusahaan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tiga industri kimi hilir, yaitu industri cat (PT XYZ), kosmetik (PT PQR) dan herbisida (PT CDF). Pada tahap pertama dilakukan kajian tingkat bahaya reaktifitas kimia dan pembuatan skenario terburuk untuk mengembangkan kuosioner. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data melalui penyebaran kuosioner untuk mengembangkan model kuantitatif resiko bahaya reaktifitas kimia, dan tahapan terakhir adalah observasi lapangan untuk memvalidasi model resiko yang dikembangkan tersebut.

Tabel 5.1. Data-Data Perusahaan Tempat Penelitian Dilakukan.

No		XYZ –Plant A/B	PQR	CDF
1.	Alamat	Kawasan Industri Gajah Tunggul	Jl. Raya Bogor	Kawasan Industri Manis
2.	Jenis badan usaha	PMDN	PMA	PMA
3.	Jenis usaha	Industri Resin/Cat	Industri Kosmetik	Industri Herbisida
4.	Tahun berdiri	1977	1986	1987
5.	Kapasitas produksi	Resin: 18,000T/anum Cat : 14,400T/anum	220,000,000 pcs/anum	11,000 T/ anum
6.	Jumlah karyawan Pabrik	473	380	47
7	Sertifikasi Sistem Manejemen	ISO 9001-2008	ISO 9001-2008	ISO 9001-2008. OHSAS 18001, ISO 14000; BS 8800; SMK3

PT XYZ yang merupakan industri resin dan cat terkemuka di Indonesia didirikan pada tahun 1977. PT XYZ Plant A memproduksi cat dan Plant B memproduksi resin yang merupakan bahan baku utama cat. Perusahaan ini memproduksi berbagai jenis cat dengan kualitas tinggi seperti untuk *Decorative paint*, *Industrial Metal Finish paint*, *Auto Refinish paint*, *Wood & Rattan finish paint*, *Marine paint* dan *Plastic coating*. Perusahaan cat yang dimiliki oleh pengusaha lokal

ini mendapatkan lisensi khusus dari perusahaan cat terkemuka Jepang untuk memproduksi berbagai jenis produk baik untuk lokal maupun ekspor. Saat ini PT XYZ memiliki kapasitas produksi sebesar 18,000 ton resin pertahun dan 14,400 ton cat pertahun dengan jenis lebih dari 150 cat. Total karyawan PT XYZ berjumlah 473 orang dan semua karyawannya berstatus karyawan tetap. Pada tahun 2002 PT XYZ memperoleh sertifikat sistem manajemen mutu ISO 9001 versi 2000, dan kemudian pada tahun 2009 ditingkatkan menjadi ISO 9001 versi 2008. Awal tahun 2009 PT XYZ mulai mempersiapkan diri untuk menerapkan sistem manajemen lingkungan ISO 14000. Diharapkan pada tahun 2010 ini PT XYZ memperoleh sertifikat ISO 14000 tersebut. Meskipun PT XYZ belum memperoleh sertifikat sistem manajemen keselamatan kerja (SMK3 atau OHSAS 18000), namun perusahaan ini telah lama menerapkan prinsip-prinsip manajemen keselamatan kerja. Hal ini terlihat dari dibentuknya P2K3 (Panitia Pengawas Keselamatan dan Kesehatan Kerja) yang anggotanya terdiri dari berbagai departemen dan melibatkan pihak manajemen, dimana P2K3 ini langsung dipimpin oleh Plant Manager PT XYZ. Perusahaan ini juga memiliki 1 orang ahli K3 umum dan 1 orang ahli K3 Kimia. Mulai awal tahun 2010, manajemen perusahaan sudah mencanangkan akan mempersiapkan diri untuk menerapkan sistem manajemen K3 secara formal dan ditarget untuk memperoleh sertifikat SMK3 pada tahun 2011 atau paling lambat awal tahun 2012.

PT PQR merupakan industri kimia yang memproduksi kosmetik seperti sabun, deodoran, pewangi dan lain-lain. Perusahaan ini merupakan perusahaan penanaman modal asing (PMA) yang mulai beroperasi di Indonesia sejak tahun 1986. PT PQR memiliki karyawan 450 orang pekerja dan 200 diantaranya merupakan karyawan pabrik. PT PQR sudah memiliki sertifikat ISO 9001, dan saat ini sedang dalam mempersiapkan proses sertifikasi ISO 14000. Walaupun perusahaan ini belum menerapkan sistem manajemen keselamatan OHSAS 18001 atau SMK3, akan tetapi perusahaan ini sangat memperhatikan keselamatan kerja para karyawannya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya departemen K3 yang memiliki ahli K3 umum.

PT CDF merupakan industri kimia yang memproduksi herbisida. Perusahaan ini merupakan perusahaan penanaman modal asing (PMA) yang mulai beroperasi di Indonesia sejak tahun 1987. Kapasitas produksi PT CDF adalah 11000 ton pertahun dengan dua jenis produk. Total karyawan PT CDF adalah berjumlah 77 orang dimana 47 orang diantaranya merupakan karyawan pabrik dan sisanya merupakan karyawan

pemasaran. Perusahaan ini sudah memperoleh sertifikat ISO 9001, ISO 14000, OHSAS 18001, BS 8800 dan SMK3. PT CDF juga telah menerapkan *Process Safety Manajemen* (PSM). Penerapan berbagai sistem manajemen secara baik merupakan komitmen dari induk perusahaan (*corporate*) dari PT CDF, hal ini terlihat dari keterlibatan pihak *corporate* dalam audit sistem manajemen keselamatan kerja yang dilaksanakan setiap tahun. PT CDF juga sudah memiliki teknologi produksi yang jauh lebih baik dibanding dengan 2 industri lainnya. Dimana PT CDF sudah menggunakan *software* dalam mengontrol proses produksi. PT CDF juga sudah memiliki ahli K3 umum dan ahli K3 kimia.

## 5.2. Kajian Bahaya Bahan Kimia

Kajian bahaya bahan kimia dilakukan untuk melihat tingkat bahaya bahan kimia yang digunakan pada industri tersebut. Tingkat bahaya bahan kimia dikelompokkan berdasarkan indeks bahaya dari bahan kimia tersebut yang mengacu pada Tabel 4.2.

Tabel 5.2. Indeks Bahaya Bahan Baku Kimia Masing-Masing Perusahaan

No	Tingkat Bahaya	PT XYZ	PT PQR	PT CDF	Total (rata-rata)
1	Jumlah Bahan kimia dengan tingkat bahaya sangat tinggi (IB= 1)	37 (7,39%)	4 (1,13%)	7 (28,00%)	48 (5%)
2	Jumlah Bahan kimia dengan tingkat bahaya tinggi (IB= 0.75)	21 (4,19%)	73 (20,56%)	7 (28,00%)	101 (12%)
3	Jumlah Bahan kimia dengan tingkat bahaya sedang (IB= 0.5)	46 (9,18%)	171 (48,17%)	6 (24,00%)	223 (25%)
4	Jumlah Bahan kimia dengan tingkat bahaya rendah (IB<0.25)	12 (2,40%)	47 (13,24%)	4 (16,00%)	63 (7%)
5	Jumlah Bahan kimia dengan tingkat bahaya tidak diketahui	385 (76,85%)	60 (16,90%)	0 (0,00%)	445 (51%)
6	Total Bahan kimia	501	355	25	881

Hasil kajian bahaya bahan kimia dapat dilihat pada Tabel 5.2. Jumlah bahan kimia yang masuk dalam kajian ini 881 jenis bahan kimia yang berasal dari tiga industri yaitu PT XYZ (501 jenis bahan kimia), PT PQR (355 jenis bahan kimia) dan

PT CDF (25 jenis bahan kimia). Jumlah bahan kimia dengan indeks bahaya sangat tinggi ( $IB=1$ ) pada PT XYZ adalah 37 jenis bahan kimia (7,39%), PT PQR adalah 4 jenis bahan kimia (1,13%) dan PT CDF adalah 7 jenis bahan kimia (28%). Sedangkan jumlah bahan kimia dengan indeks bahaya tinggi ( $IB=0,75$ ) pada PT XYZ adalah 21 jenis bahan kimia (4,19%), PT PQR adalah 73 jenis bahan kimia (20,56%) dan PT CDF adalah 7 jenis bahan kimia (28%). Jumlah bahan kimia dengan indeks bahaya sedang ( $IB=0,5$ ) pada PT XYZ adalah 46 jenis bahan kimia (9,18%), PT PQR adalah 171 jenis bahan kimia (48,17%) dan PT CDF adalah 6 jenis bahan kimia (24%). Sementara jumlah bahan kimia dengan indeks bahaya rendah ( $IB<0,25$ ) pada PT XYZ adalah 12 jenis bahan kimia (2,40%), PT PQR adalah 47 jenis bahan kimia (13,24%) dan PT CDF adalah 4 jenis bahan kimia (16%). Jumlah bahan kimia yang tidak diketahui indeks bahayanya pada PT XYZ adalah 385 jenis bahan kimia (76,85%), PT PQR adalah 60 jenis bahan kimia (16,90%) dan PT CDF adalah 0%. Tingginya jumlah bahan kimia yang tidak bisa ditentukan indeks bahayanya disebabkan oleh minimnya informasi sifat-sifat bahan-bahan kimia tersebut, hal ini disebabkan oleh ketidaktersediaan *Material Safety Datasheet* (MSDS) maupun *Technical data Sheet* (TDS), atau dapat juga disebabkan oleh kerahasiaan dagang dari pihak manufaktur.

Semua bahan-bahan kimia dengan indeks bahaya ( $IB$ )  $\geq 0,5$  harus dimasukkan dalam kajian bahaya reaktifitas kimia pada tahapan berikutnya. Bahan kimia dengan dengan  $IB<0,5$  boleh dimasukkan atau ditinggalkan dalam kajian bahaya reaktifitas, hal ini sangat tergantung pada ketersediaan informasi dalam data base perangkat lunak (software) yang digunakan.

### **5.3. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Kimia**

#### **5.3.1. Skrening Awal Bahaya Reaktifitas Kimia**

Sebelum dilakukan kajian BRK, terlebih dahulu dilakukan skrining awal BRK untuk mengidentifikasi potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia (BRK) pada suatu industri. Dalam proses skrining ini terdapat 12 pertanyaan yang harus dijawab untuk melihat kemungkinan adanya potensi BRK pada industri tersebut. Keduabelas pertanyaan tersebut diambil dari CCPS, *Managing Chemical Reactivity Hazards*.

Tabel 5.3. Hasil Skrining Awal BRK pada Tiga Industri Kimia Hilir

No	Pertanyaan	XYZ	PQR	CDF
1.	Apakah ada proses reaksi kimia yang dilakukan pada proses tersebut? ( <i>Catalytic cracking, Electrochemistry, Polimerisasi, dst</i> ).	X	√	√
2.	Apakah ada proses pencampuran dari bahan kimia yang berbeda? ( <i>Blending, Pengenceran pelarut, dst</i> ).	√	√	√
3.	Apakah ada proses fisika lain yang dilakukan? ( <i>Distilasi, pengeringan, penyarangan, penggerusan, dst</i> ).	√	√	√
4.	Apakah ada bahan berbahaya yang disimpan atau digunakan? ( <i>mudah terbakar, korosive, beracun, dst</i> ).	√	√	√
5.	Apakah hanya proses pembakaran dengan udara yang dilakukan? ( <i>Boiler, flare, burner, dst</i> ).	X	X	X
6.	Apakah ada panas yang dihasilkan dari proses pencampuran atau proses fisika yang dilakukan?	X	X	√
7.	Apakah ada bahan kimia yang bersifat terbakar secara spontan apabila kontak dengan udara?	X	X	X
8.	Apakah ada bahan kimia pembentuk peroksida?	√	X	√
9.	Apakah ada bahan kimia yang bersifat reaktif terhadap air?	√	√	X
10.	Apakah ada bahan kimia yang bersifat pengoksidasi?	√	X	√
11.	Apakah ada bahan kimia yang bersifat <i>self-reactive</i> ?	X	X	X
12.	Dapatkah bahan kimia yang tidak kompatibel saling kontak satu sama lain?	√	√	√

Catatan : √= Ada, X= Tidak ada

Skrining awal ini dilakukan dengan metode observasi lapangan, diskusi dengan manajemen perusahaan dan kajian terhadap data bahan baku yang diberikan oleh pihak perusahaan. Dari hasil kajian ini ditemukan fakta bahwa industri kimia hilir pada umumnya menyimpan dan menggunakan berbagai jenis bahan kimia dalam jumlah banyak dari sisi jenis bahan kimia dan jumlah kecil sampai dengan sedang dari sisi kuantitas bahan kimia. Industri cat, PT XYZ Plant A, tidak melakukan proses reaksi kimia, semua proses yang dilakukan hanya merupakan proses pencampuran bahan kimia yang berbeda. PT XYZ-Pant B melakukan proses reaksi esterifikasi untuk resin Alkyd, Formalin proses dan Metilolisis untuk resin Amino yang bersifat

endotermik dalam pembuatan resin tersebut yang akan digunakan sebagai bahan baku cat. Sementara industri kosmetik pada umumnya melakukan proses pencampuran dan sedikit melakukan proses reaksi. Pada PT PQR yang memproduksi berbagai jenis bahan kosmetik, hanya melakukan satu jenis proses reaksi yaitu reaksi penyabunan, namun reaksi ini bersifat eksotermik. Industri herbisida, PT CDF melakukan proses reaksi penggaraman yang juga bersifat eksotermik dan dilanjutkan dengan proses pencampuran pada saat finishing. Dari hasil kajian skreening awal ini dapat disimpulkan bahwa terdapat potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia pada ketiga jenis industri tersebut diatas.

### 5.3.2. Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Baku Kimia

Hasil kajian bahaya reaktifitas menggunakan program CRW terangkum dalam Tabel 5.4. Jumlah bahan kimia yang dimasukkan dalam kajian ini adalah 492 jenis bahan kimia dari tiga industri, PT XYZ berjumlah 112 bahan kimia, PT PQR berjumlah 355 jenis bahan kimia dan PT CDF berjumlah 25 jenis bahan kimia. Total pasangan campuran dari hasil olahan data CRW 2 untuk PT XYZ adalah 6328 pasang, PT PQR adalah 63190 pasang dan PT CDF adalah 300 pasang. Jumlah pasangan campuran yang ada interaksi atau reaksi kimia pada PT XYZ adalah 561 pasangan bahan kimia (8,87%), PT PQR adalah 470 pasangan bahan kimia (0,74%) dan PT CDF adalah 12 pasangan bahan kimia (4%). Jumlah pasangan campuran yang diketahui tidak ada interaksi atau reaksi kimia pada PT XYZ adalah 615 pasangan bahan kimia (9,72%), PT PQR adalah 427 pasangan bahan kimia (0,68%) dan PT CDF adalah 16 pasangan bahan kimia (5,33%). Tingkat bahaya reaktifitas yang berpotensi terjadi dengan indeks bahaya sangat tinggi ( $IB=1$ ) pada PT XYZ adalah 356 pasangan bahan kimia (5,64%), PT PQR adalah 304 pasangan bahan kimia (0,48%) dan PT CDF adalah 5 pasangan bahan kimia (1,67%). Tingkat bahaya reaktifitas yang berpotensi terjadi dengan indeks bahaya tinggi ( $IB=0,75$ ) pada PT XYZ adalah 203 pasangan bahan kimia (3,22%), PT PQR adalah 166 pasangan bahan kimia (0,26%) dan PT CDF adalah 7 pasangan bahan kimia (2,33%). Sementara tingkat bahaya reaktifitas yang berpotensi terjadi dengan indeks bahaya sedang ( $IB=0,5$ ) dan rendah ( $IB<0,25$ ) tidak ditemukan (0) pada ketiga industri.

Tabel 5.4. Hasil Kajian Bahaya Reaktifitas Bahan Baku Kimia

No	Tingkat Bahaya	XYZ	PQR	CDF	Total (rata-rata)
1.	Total bahan kimia yang masuk dalam kajian reaktifitas.	112	355	25	492
2.	Total pasangan campuran bahan kimia dalam kajian reaktifitas.	6328	63190	300	69818
3.	Jumlah pasangan campuran bahan kimia yang ada interaksi/reaksi kimia.	561 (8,87%)	470 (0,74%)	12 (4,00%)	1043 (1,49%)
4.	Jumlah pasangan campuran bahan kimia yang tidak ada interaksi/reaksi kimia.	615 (9,72%)	427 (0,68%)	16 (5,33%)	1058 (1,52%)
5.	Jumlah pasangan campuran bahan kimia yang ada interaksi/reaksi dengan tingkat bahaya sangat tinggi (IB= 1)	356 (5,64%)	304 (0,48%)	5 (1,67%)	665 (0,95%)
6.	Jumlah pasangan campuran bahan kimia yang ada interaksi/reaksi dengan tingkat bahaya tinggi (IB= 0,75)	203 (3,22%)	166 (0,26%)	7 (2,33%)	376 (0,54%)
8.	Jumlah pasangan campuran bahan kimia dengan tingkat bahaya tidak diketahui.	5152 (81,42%)	62293 (98,58%)	272 (90,66%)	67717 (96,99%)

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat potensi bahaya reaktifitas kimia dari bahan baku yang digunakan dengan indeks bahaya sangat tinggi (IB=1) dan indeks bahaya tinggi (IB=0,75) pada ketiga jenis industri pada penelitian ini.

### 5.3.3. Kajian Bahaya Reaktifitas Kimia Produk Antara dan Akhir

Kajian bahaya reaktifitas kimia dalam produk antara (*intermediete*) dan akhir adalah untuk melihat apakah didalam formulasi atau campuran bahan kimia untuk setiap produk antara dan akhir terdapat interaksi atau reaksi kimia. Dalam kajian ini juga dilihat potensi bahaya reaktifitas jika terjadi campuran antar produk baik produk antara maupun akhir. Pengolahan data juga menggunakan program *software* CRW 2.

Jumlah produk antara dan akhir yang masuk dalam kajian ini adalah 351 produk yang terdiri dari PT XYZ 102 produk, PT PQR 247 produk dan PT CDF 2 produk. Jumlah total produk antara dan akhir pada PT XYZ lebih dari 300 produk, dan yang masuk dalam kajian ini hanya 30% dari total produk yang ada, karena pihak manajemen perusahaan hanya bersedia memberikan formula 102 produk. Sementara pada PT PQR dan CDF dilakukan untuk semua produk yang ada (100%) pada kedua

perusahaan tersebut, pihak manajemen bersedia memberikan semua formula produk pada peneliti untuk dilakukan kajian bahaya BRK.

Tabel 5.5. Hasil Kajian Bahaya Reaktifitas Produk Antara dan Akhir

No	Tingkat Bahaya	XYZ	PQR	CDF	Total (rata-rata)
<b>Total produk yang masuk dalam kajian.</b>		102	247	2	351
I	Jumlah produk yang memiliki potensi interaksi/reaksi bahan baku dalam formulanya.	51 (50%)	58 (23%)	2 (100%)	111 (32%)
	Memiliki Indeks Bahaya = 1	48 (47%)	22 (9%)	2 (100%)	72 (21%)
	Memiliki Indeks Bahaya = 0,75	3 (3%)	36 (15%)	0 (0%)	39 (11%)
	Tidak diketahui	51 (50%)	189 (77%)	0 (0%)	240 (68%)
II	Jumlah produk yang berpotensi saling berinteraksi/bereaksi jika tercampur.	89 (87%)	204 (83%)	2 (100%)	295 (84%)
	Total pasangan campuran produk yang memiliki potensi interaksi/reaksi	4005	11035	2	15042
	Memiliki Indeks Bahaya = 1	457 (11%)	2247 (20%)	2 (100%)	2706 (18%)
	Memiliki Indeks Bahaya = 0,75	344 (9%)	4506 (41%)	0 (0%)	4850 (32%)
	Tidak diketahui	3204 (80%)	4282 (39%)	0 (0%)	7486 (50%)

Dari hasil kajian ketidaksesuaian bahan kimia menggunakan *software* CRW 2, diperoleh 111 produk (32%) memiliki potensi interaksi/reaksi bahan baku dalam formulanya. Meskipun dalam proses produksi tidak dilakukan reaksi kimia dalam membuat produk tersebut, namun terdapat beberapa bahan baku yang digunakan berpotensi bereaksi satu sama lain jika kondisi untuk terjadinya reaksi kimia terpenuhi. Jumlah pasangan interaksi/reaksi kimia dengan IB = 1 dalam masing-masing produk antara dan akhir adalah 72 produk (21%) dan IB = 0,75 adalah 39 produk (11%). Data ini menunjukkan bahaya BRK yang dapat terjadi cukup tinggi pada ketiga jenis industri. Namun industri cat (PT XYZ) dan herbisida (PT CDF) menunjukkan tingkat bahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan industri kosmetik (PT PQR). PT XYZ memiliki IB=1 sebesar 47% dan PT CDF sebesar 100%, sementara PT PQR hanya 9%.

Jumlah produk yang berpotensi saling berinteraksi/bereaksi jika tercampur adalah 295 produk (84%), yang terdiri dari PT XYZ sebanyak 89 produk (87%), PT PQR sebanyak 204 produk (83%) dan PT CDF sebanyak 2 produk (100%). Ketiga perusahaan menunjukkan potensi terjadinya BRK yang sangat tinggi dimana sebagian besar (>80%) produk antara dan akhir dapat bereaksi jika tercampur dan kondisi yang dibutuhkan untuk bereaksi terpenuhi. Jumlah pasangan produk yang berinteraksi/bereaksi dengan  $IB = 1$  adalah sebanyak 2706 pasangan (18%) dan  $IB = 0,75$  adalah sebanyak 4850 pasangan (32%) dan tidak ada pasangan dengan indeks bahaya 0,5. Sementara jumlah pasangan yang tidak diketahui indeks bahayanya adalah sebanyak 7486 pasangan (50%). Tingginya jumlah IB yang tidak diketahui disebabkan oleh banyaknya bahan baku yang tidak terdapat didalam data base CWR 2 dan tidak jelasnya nama kimia bahan baku yang digunakan.

Dari hasil kajian reaktifitas produk antara dan akhir dapat disimpulkan bahwa terdapat potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia dari bahan baku penyusun produk antara dan akhir, dan juga terdapat potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia dari beberapa produk antara atau akhir apabila saling tercampur.

#### **5.4. Kajian Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

##### **5.4.1. Skrining Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Untuk menentukan penyebab langsung mana yang paling mungkin terjadi dari suatu proses industri, maka dilakukan screening awal penyebab bahaya reaktifitas kimia. Proses skreening dilakukan dengan cara observasi lapangan, diskusi dengan pihak produksi, QA dan gudang serta kajian terhadap bahan kimia dan reaktifitas bahan kimia yang sudah dilakukan pada tahapan awal. Hasil skreening penyebab bahaya reaktifitas kimia dari 3 perusahaan kimia dapat dilihat pada Tabel 5.6. Dari hasil skrining penyebab bahaya reaktifitas kimia pada ketiga perusahaan tempat penelitian dilakukan dapat disimpulkan bahwa ketiga jenis industri ini memiliki potensi bahaya reaktifitas kimia yang disebabkan oleh pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses dan ketidaksempurnaan pencampuran. Hanya PT XYZ Plant A yang tidak memiliki potensi bahaya reaktifitas yang disebabkan oleh kesalahan kondisi proses.

Tabel 5.6. Hasil Skrining Penyebab Bahaya Reaktifitas pada Tiga Industri

No	Pertanyaan	XYZ Plant A	XYZ Plant B	PQR	CDF
1	Apakah terdapat bahan kimia yang tidak sesuai satu sama lain?	√	√	√	√
2	Apakah terdapat bahan kimia yang bersifat Spontaneously Combustible, Peroxide Forming Water Reactive, Oxidizing dan self reactive?	√	√	X	√
3	Apakah dilakukan reaksi kimia pada proses produksi?	X	√	√	√
4	Apakah dilakukan proses pencampuran bahan kimia?	√	√	√	√
5	Potensi BRK yang dapat terjadi	Pengotor, kesalahan pencampuran dan ketidak sempurnaan pencampuran	Pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses dan ketidak sempurnaan pencampuran	Pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses dan ketidak sempurnaan pencampuran	Pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses dan ketidak sempurnaan pencampuran

Catatan : √= Ya, X= Tidak

#### 5.4.2. Rancangan Skenario Terburuk Bahaya Reaktifitas Kimia

Ada 16 rancangan skenario terburuk yang dibuat pada ketiga industri yaitu, 7 skenario pada PT XYZ (2 skenario pengotor, 1 skenario kesalahan pencampuran, 2 skenario kesalahan kondisi proses, 1 skenario ketidak sempurnaan pencampuran dan 1 skenario umum kegagalan program K3), 4 skenario pada PT PQR (1 skenario pengotor, 1 skenario kesalahan pencampuran, 1 skenario kesalahan kondisi proses dan 1 skenario ketidaksempurnaan pencampuran), 5 skenario pada PT CDF (2 skenario pengotor, 2 skenario kesalahan kondisi proses dan 1 skenario umum kegagalan program K3). Semua skenario terburuk BRK diatas kecuali skenario umum memiliki IB=1 (sangat berbahaya). Dalam rancangan skenario ini juga terdapat kasus kecelakaan bahaya reaktifitas kimia yang pernah terjadi yaitu, 2 kasus pada PT XYZ, 1 kasus pada PT PQR dan 1 kasus pada PT CDF. Skenario umum dibuat atas masukkan dari manajemen perusahaan untuk mengetahui penyebab kecelakaan kerja

secara umum, yang juga diyakini ada keterkaitannya dengan penyebab bahaya reaktifitas kimia. Rancangan skenario terburuk bahaya reaktifitas kimia untuk ketiga jenis industri dapat dilihat pada lampiran 4.

#### **5.4.3. KJ Analysis Skenario Terburuk Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Jumlah peserta diskusi dari ketiga perusahaan berjumlah 46 pekerja dari berbagai departemen yaitu; produksi, Lab/QA, Gudang, Maintenance dan K3. Peserta diskusi juga dihadiri oleh level manajemen sampai operator/teknisi. Keterwakilan peserta diskusi baik dari sisi departemen dan posisi atau jabatan sudah sangat baik sehingga masukan yang diperoleh akan sangat komprehensif.

Metode KJ Analysis juga sangat tepat digunakan dalam diskusi yang berbentuk curah pendapat (*brainstroming*) dengan peserta yang sangat bervariasi baik dari sisi latar belakang maupun jabatan. Metode ini memberikan kesempatan kepada peserta untuk memberikan masukan dengan cara menuliskan pada kertas yang sudah disediakan, sehingga peserta dengan jabatan teknisi atau supervisor tidak perlu merasa takut atau segan untuk menyampaikan masukan didepan atasan atau manajer. Hal ini dapat dilihat dari ringkasan hasil KJ Analysis pada Tabel 5.7. Jumlah total masukan dari tiga perusahaan berjumlah 805 masukan yang terdiri dari PT XYZ 366 masukan, PT PQR 211 masukan dan PT CDF 228 masukan (lihat lampiran 4).

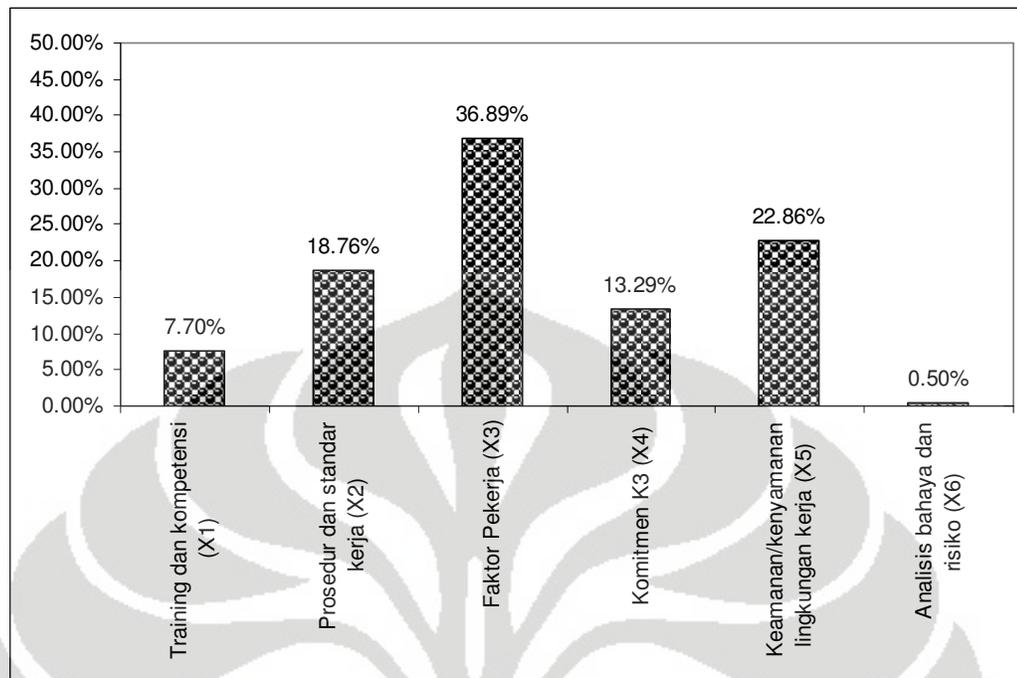
Dari 805 masukan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 31 faktor-faktor yang dianggap paling dominan sebagai penyebab kesalahan dari skenario terburuk yang didiskusikan, kemudian 31 faktor tersebut juga dapat dikelompokkan kedalam 6 kategori, yaitu training dan kompetensi, prosedur dan standar kerja, faktor pekerja, komitmen K3, keamanan/kenyamanan lingkungan kerja dan analisis bahaya dan risiko. Gambar 5.1 memperlihatkan grafik hasil KJ analisis dari 6 kategori tersebut.

Tabel 5.7. Rangkuman KJ Analysis BRK

No	Kategori	Penyebab BRK Berdasarkan KJ Analysis	Jumlah Input Penyebab BRK					Kategori (%)
			PT XYZ	PT PQR	PT CDF	Total	%	
1	Training dan Kompetensi (X1)	Kurangnya pengetahuan pekerja tentang bahan baku	7	2	0	9	1,12	7,70
		Kurangnya pengetahuan pekerja tentang proses kimia	5	0	2	7	0,87	
		Kurangnya pengetahuan pekerja tentang prosedur kerja	1	7	3	11	1,37	
		Kurangnya pengetahuan pekerja tentang bahaya di tempat kerja	8	11	0	19	2,36	
		Pekerja kurang mendapatkan pelatihan	9	4	3	16	1,99	
2	Prosedur dan Standar Kerja (X2)	Prosedur Standar kerja (SOP) proses produksi tidak ada atau kurang lengkap	8	29	3	40	4,97	18,76
		Prosedur Standar kerja (SOP) untuk penyimpanan bahan baku tidak jelas	15	0	0	15	1,86	
		Prosedur Standar kerja (SOP) untuk tanggap darurat tidak ada	11	0	2	13	1,61	
		Proses verifikasi dan validasi tidak ada	11	6	0	17	2,11	
		Standar untuk kebersihan tidak ada	19	27	0	46	5,71	
		Label dan Identifikasi bahan baku/produk	2	10	8	20	2,48	
3	Faktor Pekerja (X3)	Kesalahan pekerja dalam proses penimbangan bahan baku	6	14	0	20	2,48	36,89
		Kesalahan pekerja dalam proses produksi	17	3	41	61	7,58	
		Kesalahan pekerja dalam proses entri data pada dokumen proses	28	11	6	45	5,59	
		Kesalahan pekerja dalam pengiriman bahan baku ke produksi	20	0	0	20	2,48	
		Kesalahan dalam proses penyimpanan bahan baku	18	4	0	22	2,73	
		Pekerja kurang disiplin dalam melakukan pekerjaan	30	17	17	64	7,95	
		Pekerja terburu-buru dalam melakukan pekerjaan	7	4	5	16	1,99	

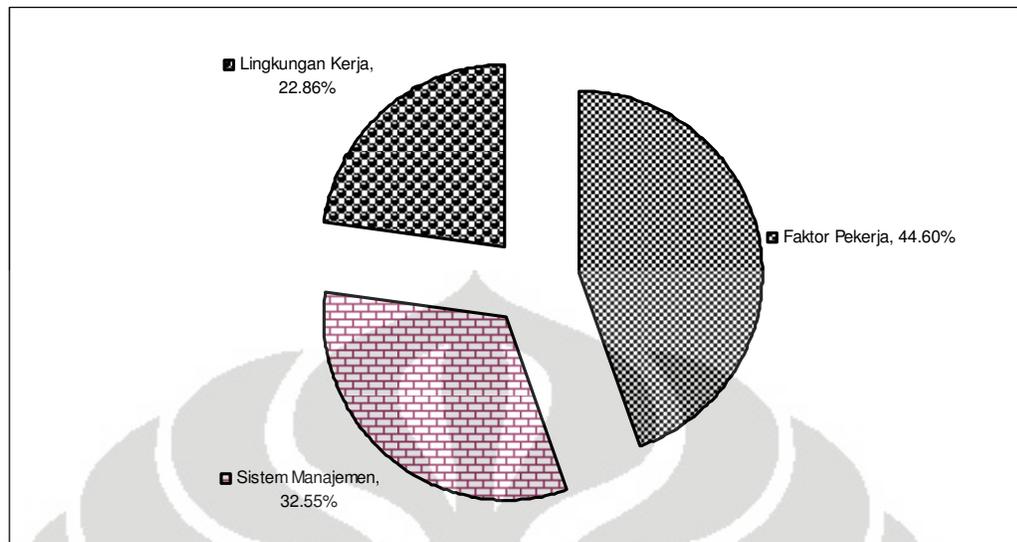
Tabel 5.7. Rangkuman KJ Analysis BRK (Lanjutan)

No	Kategori	Penyebab BRK Berdasarkan KJ Analysis	Jumlah Input Penyebab BRK					Kategori (%)
			PT XYZ	PT PQR	PT CDF	Total	%	
		Pekerja ceroboh dalam melakukan pekerjaan	10	2	1	13	1,61	
		Pekerja lalai dalam melakukan pekerjaan	17	2	8	27	3,35	
		Kerjasama Tim	2	0	7	9	1,12	
4	Komitment K3 (X4)	Sistem komunikasi yang kurang baik	22	2	14	38	4,72	13,29
		Lemahnya sistem pengawasan pekerja dilapangan	10	0	2	12	1,49	
		Beban kerja berlebih	4	2	16	22	2,73	
		Komitmen Manajemen dan Pekerja terhadap K3	8	0	27	35	4,35	
5	Keamanan/Kenyamanan Lingkungan Kerja (X5)	Kurangnya perawatan alat dan mesin	16	10	53	79	9,81	22,86
		Kalibrasi alat ukur tidak dilakukan secara regular	7	21	3	31	3,85	
		Area kerja tidak kurang layak dan aman	32	5	1	38	4,72	
		Rancangan (disain) alat tidak sesuai	7	2	0	9	1,12	
		Sistem kontrol dan pengaman tidak memadai	9	13	5	27	3,35	
6	Analisis Bahaya dan Resiko (X6)	Identifikasi dan analisa bahaya ditempat kerja tidak dilakukan	0	3	1	4	0,50	0,50
		Total	366	211	228	805	100	100



Gambar 5.1. Enam Kategori Penyebab BRK dari Hasil KJ Analisis

Faktor kesalahan pekerja merupakan faktor yang paling dominan (36,89%), hal ini menunjukkan bahwa pekerja memegang peranan penting dalam proses pencegahan kecelakaan kerja akibat bahaya reaktifitas kimia. Hal lain yang juga sangat erat kaitannya dengan pekerja adalah training dan kompetensi (7,70%). Sehingga total peran faktor pekerja dalam kaitan skenario bahaya reaktifitas ini adalah 44,60% (X1+X3). Prosedur kerja dan standar kerja (18,76%), analisa resiko (0,50%) dan komitmen K3 (13,29%) dapat digolongkan kedalam sistem manajemen dimana total masukkan untuk faktor sistem manajemen ini adalah 32,55% (X2+X4+X6). Kelompok yang ketiga yaitu lingkungan kerja, masukkan untuk kategori ini adalah sebesar 22,86% (X5). Gambar 5.2 menunjukkan besarnya kontribusi ketiga faktor utama yang dapat menyebabkan terjadinya bahaya reaktifitas kimia sesuai dengan teori sistem manajemen keselamatan kerja yang sudah dibahas pada bagian tinjauan pustaka.



Gambar 5.2. Tiga Faktor Utama Penyebab BRK Hasil Kajian KJ Analisis

### 5.5. Hasil Audit Sistem Manajemen Keselamatan

Audit lapangan dilakukan dengan tujuan untuk melihat pelaksanaan dan penerapan sistem manajemen baku yang ada, khususnya sistem manajemen K3. Hasil ceklist dari empat perusahaan dapat dilihat pada lampiran 9. Tabel 5.8 memperlihatkan rangkuman dari hasil observasi lapangan menggunakan ceklist.

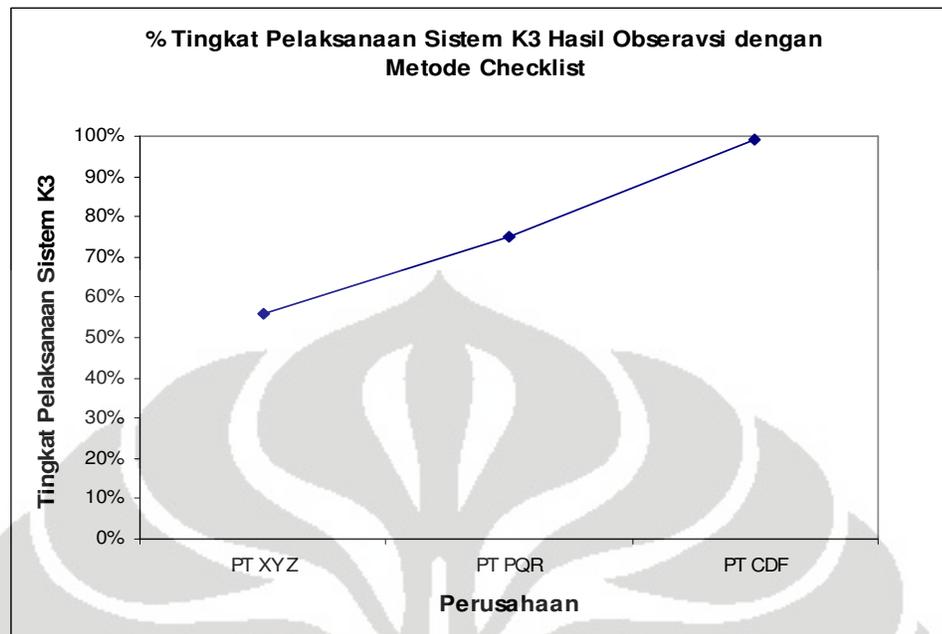
Dari Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa PT CDF memiliki tingkat pelaksanaan sistem manajemen K3 yang jauh lebih baik dibandingkan dengan tiga perusahaan lainnya. Sementara PT XYZ Plant A dan Plant B memiliki tingkat pelaksanaan sistem manajemen K3 yang lebih rendah dibandingkan PT CDF dan PT PQR. Hal ini sejalan dengan komitmen manajemen perusahaan yang menerapkan sistem manajemen seperti SMK3, ISO 9001, ISO 14000 dan PSM, dimana pada PT CDF semua sistem tersebut sudah diimplementasikan, sementara PT XYZ baru mengimplementasi ISO 9001 dan sedang mempersiapkan diri untuk mendapatkan sertifikasi ISO 14000.

Sementara PT PQR juga telah menerapkan ISO 9001 dan juga sedang mempersiapkan diri untuk menerapkan ISO 14000, namun perusahaan ini juga memiliki sistem manajemen yang mengacu pada kebijakan induk perusahaan (Corporate), sehingga pelaksanaannya lebih baik. Dari Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa PT CDF memenuhi semua kategori sistem manajemen K3 yang terdapat dalam checklist, sementara PT XYZ terdapat banyak sekali kategori sistem manajemen K3

yang belum diterapkan sepenuhnya. Terlihat bahwa komitmen manajemen pada PT XYZ lebih rendah dibandingkan PT CDF dan PQR. Hal inilah yang menyebabkan rendahnya penerapan sistem manajemen K3 secara keseluruhan pada PT XYZ.

Tabel 5.8. Rangkuman Hasil Pengamatan Lapangan Terhadap Pelaksanaan Sistem Manajemen K3 Dengan Metode Ceklist Pada Empat Perusahaan.

No	Item Checklist	% Tingkat Pelaksanaan (% of Compliance)		
		PT XYZ	PT CDF	PT PQR
1	Komitmen top manajemen (Policy)	75	100	100
2	Alokasi sumber daya	100	100	100
3	Partisipasi pekerja	0	100	100
4	Proses identifikasi bahaya	0	100	33
5	Proses analisis kecelakaan	75	100	100
6	Training dan komunikasi	40	80	40
7	Prosedur produk baru	100	100	100
8	Sistem review/audit	0	100	0
9	Rencana tanggap darurat	100	100	100
10	Manajemen Bahan Baku	82	100	100
11	Standar Kerja Proses produksi	82	100	80
12	Teknologi Keselamatan untuk menangani bahan kimia yang mudah menguap (volatile)	0	100	50
13	Teknologi Keselamatan untuk menangani bahan kimia mudah terbakar	44	100	70
14	Teknologi keselamatan untuk menangani bahaya bahan kimia beracun	60	100	50
15	Teknologi keselamatan untuk mitigasi dari reaksi tidak terkontrol	0	100	67
16	Lingkungan Kerja	80	100	93
17	Pengamatan terhadap pekerja secara umum	50	100	100



Gambar 5.3. Nilai Persentase Rata-Rata Pelaksanaan Sistem Manajemen K3 dari Hasil Observasi dengan Metode Checklist pada Tiga Perusahaan.

### 5.6. Perhitungan Sisa Indeks Bahaya dan Risiko

Sistem pengendalian bahaya kimia di fokuskan pada bahan kimia dengan indeks bahaya sedang sampai dengan sangat tinggi. Shah, et al (2005) mengusulkan persamaan yang menunjukkan tingkat sisa indeks bahaya (SIB) setelah dikurangi dengan faktor penerapan teknologi keselamatan sebagai berikut:

$$SIB = IB - \sum FTK \quad (5.1)$$

Dimana,

SIB = Sisa Indek Bahaya

IB = Indek Bahaya

$\sum FTK$  = Faktor Teknologi Keselamatan

Mengacu pada persamaan yang dikembangkan oleh Shah et.al (2005), peneliti mengusulkan persamaan baru dengan faktor tambahan dalam menghitung SIB bahan kimia dan reaktifitas kimia sebagai berikut:

$$SIB = IB - (\sum FSMK_{n-k} + \sum FP_{n-k} + \sum FTK_{n-k})$$

(5.2)

Dimana,

SIB = Sisa Indeks Bahaya Kimia dan Reaktifitas Kimia

IB = Indeks Bahaya Bahan Kimia atau Reaktifitas Kimia

$\Sigma$ FTK = Total Faktor Teknologi Keselamatan

$\Sigma$ FSMK = Total Faktor Sistem Manajemen Keselamatan

$\Sigma$ FP = Total Faktor Pekerja

Faktor sistem manajemen keselamatan (FSMK), faktor pekerja (FP) dan teknologi keselamatan (FTK) yang diusulkan terdapat pada Tabel 5.9, 5.10 dan 5.11. Faktor-faktor yang diusulkan didalam Tabel 5.0, 5.10 dan 5.11 mengacu pada ceklist yang digunakan untuk observasi lapangan (Lampiran 7). Dari hasil kajian KJ analysis diperoleh rasio faktor penyebab terjadinya kecelakaan antara faktor lingkungan dan sistem manajemen dan pekerja adalah 0,23 : 0,33 : 0,44 (Gambar 5.2). Hasil kajian KJ analysis dan nilai rasio ini dijadikan landasan untuk mengembangkan nilai FTK, FSMK dan FP sebagai faktor pengurang nilai indeks bahaya.

Total nilai FSMK yang diusulkan adalah 0,33 atau 33% dapat menurunkan bahaya kimia dan reaktifitas kimia pada industri kimia hilir. Total nilai FP yang diusulkan adalah 0,44 atau 44% dapat menurunkan bahaya kimia dan reaktifitas kimia pada industri kimia hilir. Total nilai FTK yang diusulkan adalah 0,23 atau 23% dapat menurunkan bahaya kimia dan reaktifitas kimia pada industri kimia hilir. Menurut peneliti untuk menurunkan indeks bahaya (IB) pada industri kimia hilir di Indonesia yang memiliki teknologi yang pada umumnya masih konvensional dan sumber daya manusia yang terbatas dengan jumlah bahan kimia dan produk yang demikian banyak dan bervariasi, tidak bisa hanya dengan menerapkan teknologi keselamatan (FTK), hal ini terbukti dari hasil KJ analysis bahwa faktor pekerja (FP) dan sistem manajemen keselamatan (FSMK) lebih dominan dalam menyebabkan terjadinya kecelakaan BRK.

Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Bobot Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK)

No	Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK)	ISRS Element	ISRS Score	% Score	Bobot FSMK
1	Komitmen top manajemen (Policy)	Leadership and Administration	1310	24%	0.08
2	Proses identifikasi bahaya	Off-the-job safety	240	4%	0.01
3	Proses analisis kecelakaan	Accident/incident investigation	605	11%	0.04
4	Prosedur produk baru	Engineering and change management	670	12%	0.04
5	Sistem review/audit	System evaluation	700	13%	0.04
6	Rencana tanggap darurat	Emergency preparedness	700	13%	0.04
7	Manajemen Bahan Baku	Materials and service management	615	11%	0.04
8	Standar Kerja Proses produksi	Critical task analysis and procedure	650	12%	0.04
	Total		5490	100%	0.33

Catatan: Total nilai FSMK adalah 0,33

Tabel 5.10. Hasil Perhitungan Bobot Faktor Pekerja (FP)

No	Faktor Pekerja (FP)	ISRS Element	ISRS Score	% Score	Bobot FP
1	Alokasi sumber daya	Hiring and placement	405	21%	0.09
2	Partisipasi pekerja dalam K3	Personal Communication	490	25%	0.11
3	Training dan komunikasi	Knowlegde and skill training	700	35%	0.16
4	Pengamatan terhadap pekerja secara umum (APD)	Personal Protective Equipment	380	19%	0.08
	Total FP		1975	100%	0.44

Catatan: Total nilai FP adalah 0,44

Tabel 5.11. Hasil Perhitungan Bobot Faktor Teknologi Keselamatan (FTK)

No	Faktor Teknologi Keselamatan (FTK)	ISRS Element	ISRS Score	% Score	Bobot FTK
1	Teknologi Keselamatan bahan kimia yang mudah menguap	Health and hygiene control	700	20%	0.046
2	Teknologi Keselamatan bahan kimia mudah terbakar	Health and hygiene control	700	20%	0.046
3	Teknologi keselamatan bahaya bahan kimia beracun	Health and hygiene control	700	20%	0.046
4	Teknologi keselamatan untuk mitigasi dari reaksi tidak terkontrol	Health and hygiene control	700	20%	0.046
5	Lingkungan Kerja	Planned inspection and maintenance	690	20%	0.045
	Total FTK		3490	100%	0.230

Catatan: Total nilai FTK adalah 0,23

Sistem pembobotan nilai FSMK, FP dan FTK mengacu pada pembobotan International Safety Rating System (ISRS) yang digunakan untuk audit yang dikembangkan oleh DNV Management System (1994). Persentase skore (% score) dari ISRS score untuk setiap elemen-elemen dalam FSMK, FP dan FTK dikalikan dengan total nilai FSMK, FP dan FTK yang diperoleh dari KJ analysis.

$$\text{Bobot FSMK} = \% \text{ Score ISRS} \times 0,33 \quad (5.3)$$

$$\text{Bobot FP} = \% \text{ Score ISRS} \times 0,44 \quad (5.4)$$

$$\text{Bobot FTK} = \% \text{ score ISRS} \times 0,23 \quad (5.5)$$

Tabel 5.10, 5.11 dan 5.12 menunjukkan hasil perhitung bobot masing-masing elemen dari FSMK, FP dan FTK. Nilai bobot FSMK, FP dan FTK tersebut digunakan untuk menghitung nilai aktual dari FSMK, FP dan FTK pada ketiga industri tempat penelitian dilakukan.

Untuk menghitung nilai FSMK, FP dan FTK dari masing-masing perusahaan, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{FSMK} = \% \text{ Compliance} \times \text{Bobot FSMK} \quad (5.6)$$

$$\text{FP} = \% \text{ Compliance} \times \text{Bobot FP} \quad (5.7)$$

$$\text{FTK} = \% \text{ Compliance} \times \text{Bobot FTK} \quad (5.8)$$

*% Compliance* diperoleh dari hasil survey dan observasi lapangan menggunakan ceklist (Lampiran 7). *% Compliance* adalah tingkat kesesuaian pelaksanaan dengan standar manajemen yang diterapkan atau dipersyaratkan. Maka nilai FSMK, FP dan FTK adalah merupakan perkalian antara bobot (*weight*) dari masing-masing faktor tersebut dikalikan dengan *%* tingkat pelaksanaan dari standar atau persyaratan yang ditetapkan untuk masing-masing faktor tersebut.

Tabel 5.12 menunjukkan hasil perhitung nilai aktual FSMK, FP dan FTK untuk ketiga perusahaan PT XYZ, PT CDF dan PT PQR. Total nilai aktual FSMK untuk PT XYZ adalah 0,231, PT CDF adalah 0,330 dan PT PQR adalah 0,270. Nilai FSMK ini menunjukkan bahwa PT CDF memiliki sistem manajemen yang lebih baik dibandingkan PT PQR dan PT XYZ. Demikian juga dengan PT PQR memiliki sistem manajemen yang lebih baik dibandingkan dengan PT XYZ. Total nilai aktual FP untuk PT XYZ adalah 0,195, PT CDF adalah 0,409 dan PT PQR adalah 0,346. Nilai FP ini menunjukkan bahwa PT CDF juga memiliki sumber daya manusia yang lebih baik, terutama dari sisi kompetensi dan dan sistem pengembangan kompetensi serta

Tabel 5.12. Hasil Perhitungan Nilai Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK), Faktor Pekerja (FP) dan Nilai Faktor Teknologi Keselamatan (FTK) dari Observasi Lapangan

No	Faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK)	Bobot FSMK	PT XYZ		PT CDF		PT PQR	
			%Compliance	FSMK	%Compliance	FSMK	%Compliance	FSMK
1	Komitmen top manajemen (Policy)	0,079	0,750	0,059	1,000	0,079	1,000	0,079
2	Proses identifikasi bahaya	0,014	0,000	0,000	1,000	0,014	0,330	0,005
3	Proses analisis kecelakaan	0,036	0,750	0,027	1,000	0,036	1,000	0,036
4	Prosedur produk baru	0,040	1,000	0,040	1,000	0,040	1,000	0,040
5	Sistem review/audit	0,042	0,000	0,000	1,000	0,042	0,000	0,000
6	Rencana tanggap darurat	0,042	1,000	0,042	1,000	0,042	1,000	0,042
7	Manajemen Bahan Baku	0,037	0,820	0,030	1,000	0,037	1,000	0,037
8	Standar Kerja Proses produksi	0,039	0,820	0,032	1,000	0,039	0,800	0,031
	<b>Total FSMK</b>	<b>0,330</b>		<b>0,231</b>		<b>0,330</b>		<b>0,270</b>
No	Faktor Pekerja (FP)	Bobot FP	% Compliance	FP	% Compliance	FP	% Compliance	FP
1	Alokasi sumber daya	0,090	1,000	0,090	1,000	0,090	1,000	0,090
2	Partisipasi pekerja	0,109	0,000	0,000	1,000	0,109	1000	0,109
3	Training dan komunikasi	0,156	0,400	0,062	0,800	0,125	0,400	0,062
4	Pengamatan terhadap pekerja secara umum	0,085	0,500	0,042	1,000	0,085	1,000	0,085
	<b>Total FP</b>	<b>0,440</b>		<b>0,195</b>		<b>0,409</b>		<b>0,346</b>
No	Faktor Teknologi Keselamatan (FTK)	Bobot FTK	% Compliance	FTK	% Compliance	FTK	% Compliance	FTK
1	Teknologi Keselamatan untuk menangani bahan kimia yang mudah menguap (volatile)	0,046	0,000	0,000	1,000	0,046	0,500	0,023
2	Teknologi Keselamatan untuk menangani bahan kimia mudah terbakar	0,046	0,440	0,020	1,000	0,046	0,700	0,032
3	Teknologi keselamatan untuk menangani bahaya bahan kimia beracun	0,046	0,600	0,028	1,000	0,046	0,500	0,023
4	Teknologi keselamatan untuk mitigasi dari reaksi tidak terkontrol	0,046		0,000	1,000	0,046	0,670	0,031
5	Lingkungan Kerja	0,045	0,800	0,036	1,000	0,045	0,930	0,042
	<b>Total FTK</b>	<b>0,230</b>		<b>0,084</b>		<b>0,230</b>		<b>0,152</b>

keterlibatan pekerja dalam program K3 dibandingkan dengan kedua perusahaan lainnya PT PQR dan PT XYZ. Total nilai aktual FTK untuk PT XYZ adalah 0,084, PT CDF adalah 0,230 dan PT PQR adalah 0,152. Nilai FTK menunjukkan bahwa PT CDF memiliki sistem teknologi keselamatan yang lebih baik dibandingkan dengan PT XYZ dan PT PQR. Nilai total FSMK, FP dan FTK ini digunakan untuk menghitung nilai sisa indeks bahaya (SIB) pada ketiga perusahaan tersebut.

Tabel 5.13, 5.14 dan 5.15 menunjukkan hasil perhitungan sisa indeks bahaya (SIB) bahan baku kimia pada PT XYZ, CDF dan PQR. Tabel 5.13 menunjukkan hasil perhitungan sisa indeks bahaya bahan kimia (SIB) PT XYZ. Dari tabel dapat dilihat bahwa masih terdapat sisa bahaya setelah penerapan beberapa sistem teknologi dan manajemen keselamatan, terutama SIB untuk indeks bahaya sangat tinggi dan tinggi, total SIB bahan baku kimia pada PT XYZ adalah 0,720 (tinggi). Nilai SIB negatif menunjukkan bahwa sistem pengendalian jauh diatas tingkat bahaya bahan kimia. Nilai SIB ini masih dapat diturunkan dengan memperbaiki sistem manajemen bahan kimia dan penambahan beberapa sistem teknologi keselamatan yang masih sangat minim. PT XYZ belum secara formal menerapkan SMK3 atau OHSAS 18001, dengan penerapan salah satu dari sistem manajemen tersebut, termasuk meningkatkan pengetahuan dari pekerja akan bahaya bahan kimia, maka tingkat risiko bahaya bahan kimia akan dapat diturunkan sampai pada tingkat yang lebih rendah.

Tabel 5.13. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT XYZ

<b>Bahaya</b>	<b>Jumlah</b>	<b>IB</b>	<b>FTK</b>	<b>FP</b>	<b>FSMK</b>	<b>SIB</b>
Bahaya sangat tinggi	7,39%	1	0,084	0,195	0,231	0,490
Bahaya tinggi	4,19%	0,75	0,084	0,195	0,231	0,240
Bahaya sedang	9,18%	0,5	0,084	0,195	0,231	-0,010
Bahaya rendah	2,40%	0,25	0,084	0,195	0,231	-0,260
Bahaya tidak diketahui	76,85%	0				
<b>Total SIB</b>						<b>0,720</b>

Tabel 5.14 menunjukkan hasil perhitungan sisa indeks bahaya (SIB) bahan baku kimia PT CDF. Dari tabel dapat dilihat bahwa hampir tidak ada sisa bahaya setelah penerapan beberapa sistem teknologi dan manajemen keselamatan, hanya SIB bahaya sangat tinggi yang masih ada, namun nilainya pun sangat kecil, total nilai SIB bahan baku kimia untuk PT CDF adalah 0,031 (sangat rendah). PT CDF telah menerapkan

hampir semua sistem manajemen kualitas, lingkungan dan keselamatan. Hal inilah yang menjadi faktor utama baiknya sistem pengendalian bahaya bahan baku kimia pada PT CDF.

Tabel 5.14. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT CDF

Bahaya	Jumlah	IB	FTK	FP	FSMK	SIB
Bahaya sangat tinggi	28,00%	1	0,230	0,409	0,330	0,031
Bahaya tinggi	28,00%	0,75	0,230	0,409	0,330	-0,219
Bahaya sedang	24,00%	0,5	0,230	0,409	0,330	-0,469
Bahaya rendah	16,00%	0,25	0,230	0,409	0,330	-0,719
Bahaya tidak diketahui	0,00%					
Total SIB						0,031

Tabel 5.15 menunjukkan hasil perhitungan sisa indeks bahaya (SIB) bahan baku kimia PT PQR. Dari tabel dapat dilihat bahwa masih ada sisa bahaya setelah penerapan beberapa sistem teknologi dan manajemen keselamatan, hanya SIB bahaya sangat tinggi yang masih ada, nilai SIB untuk bahaya sangat tinggi masih cukup signifikan, yaitu 0,232, total SIB bahan baku kimia untuk PT PQR adalah 0,232 (rendah). PT PQR sudah menerapkan sistem manajemen kualitas dengan baik, untuk sistem manajemen keselamatan PT PQR mengikuti sistem dari induk perusahaan.

Tabel 5.15. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Baku Kimia PT PQR

Bahaya	Jumlah	IB	FTK	FP	FSMK	SIB
Bahaya sangat tinggi	1,13%	1	0,152	0,346	0,270	0,232
Bahaya tinggi	20,56%	0,75	0,152	0,346	0,270	-0,018
Bahaya sedang	48,17%	0,5	0,152	0,346	0,270	-0,268
Bahaya rendah	13,24%	0,25	0,152	0,346	0,270	-0,518
Bahaya tidak diketahui	16,90%					
Total SIB						0,232

Mengacu pada metode perhitungan semi kuantitatif level risiko yang banyak dipakai dalam analisis dan manajemen risiko, dimana (Cross J, 1998):

$$Risk = Likelihood \times Severity \quad (5.9)$$

atau

$$Risk = Likelihood \times Hazards \times Exposure \quad (5.10)$$

Maka dengan menggunakan prinsip yang sama dapat dihitung nilai indeks risiko (IR) BRK pada ketiga perusahaan dengan rumus perhitungan nilai Indeks Risiko (IR) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) adalah sebagai berikut:

$$\text{Indeks Risiko (IR) BRK} = \text{Probabilitas BRK} \times \text{Indeks Bahaya BRK} \quad (5.11)$$

$$\text{Sisa Indeks Risiko (SIR) BRK} = \text{Probabilitas BRK} \times \text{Sisa Indeks Bahaya (SIB) BRK} \quad (5.12)$$

Nilai probabilitas BRK diambil dari nilai jumlah persentase pasangan dari produk atau bahan kimia yang berpotensi mengandung BRK. Menurut Cross J. (1998), nilai probabilitas kemungkinan terjadinya kecelakaan adalah sebanding dengan nilai kecendrungan terjadinya kecelakaan (*likelihood*). Nilai indeks bahaya (IB) BRK adalah merupakan tingkat bahaya dan keparahan (*severity*) yang diakibatkan oleh BRK tersebut. Kategori nilai IR sama dengan kategori nilai IB yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Shah et.al (2003), dimana:

IR: $\geq 0,75 - 1,00$	adalah risiko sangat tinggi,
IR: $\geq 0,50 - 0,75$	adalah risiko tinggi,
IR: $\geq 0,25 - 0,50$	adalah risiko sedang
IR: $< 0,25$	adalah risiko rendah.

Hasil perhitungan nilai sisa indeks bahaya (SIB) BRK, nilai indeks risiko (IR) BRK dan nilai sisa indeks risiko (SIR) BRK untuk ketiga perusahaan tempat penelitian dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.16, 5.17 dan 5.18. Nilai total SIB BRK PT XYZ adalah 1,460 (sangat tinggi), PT CDF adalah 0,062 (sangat rendah) dan PT PQR adalah 0,464 (sedang). Untuk nilai IR BRK pada PT XYZ adalah 0,670 (tinggi), PT CDF adalah 2,00 (sangat tinggi) dan PT PQR adalah 0,710 (tinggi). Nilai SIR BRK setelah penerapan FSMK, FP dan FTK untuk PT XYZ adalah 0,313 (sedang), PT CDF adalah 0,062 (sangat rendah) dan PT PQR adalah 0,067 (sangat rendah).

Tabel 5.16. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT XYZ

No		Jumlah	IB	IR	FTK	FP	FSMK	SIB	SIR
1	Produk yang memiliki potensi reaktifitas dalam formulanya	47%	1	0,470	0,084	0,195	0,231	0,490	0,230
		3%	0,75	0,023	0,084	0,195	0,231	0,240	0,007
2	Produk yang berpontensi breaksi jika tercampur	11%	1	0,110	0,084	0,195	0,231	0,490	0,054
		9%	0,75	0,068	0,084	0,195	0,231	0,240	0,022
Total				0,670				1,460	0,313

Tabel 5.17. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT CDF

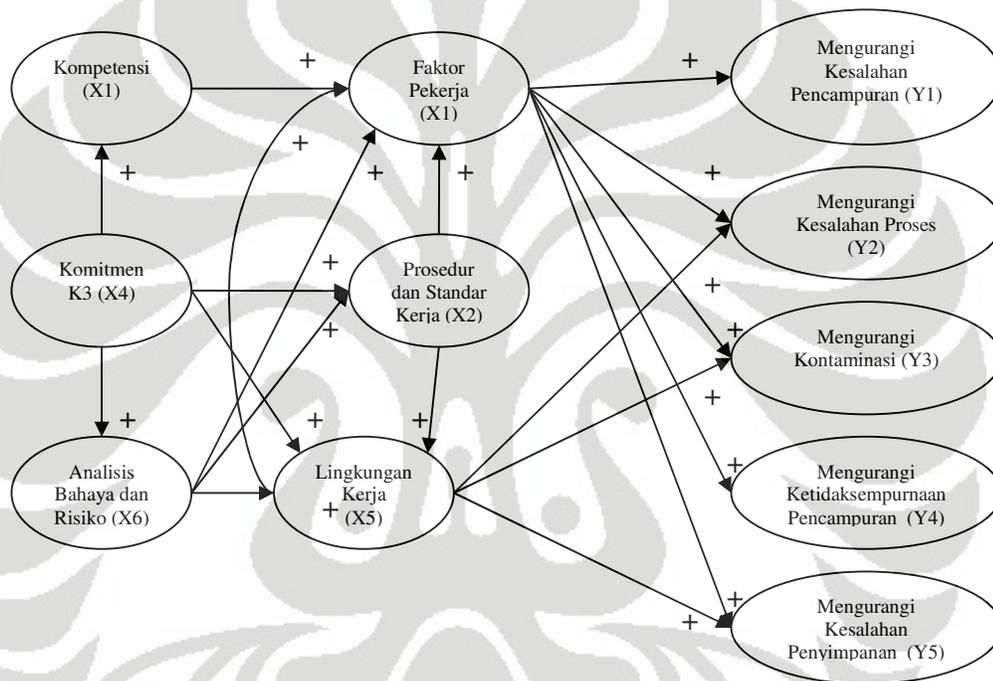
No		Jumlah	IB	IR	FTK	FP	FSMK	SIB	SIR
1	Produk yang memiliki potensi reaktifitas dalam formulanya	100%	1	1,000	0,230	0,409	0,330	0,031	0,031
		0%	0,75	0,000	0,230	0,409	0,330	-0,219	0,000
2	Produk yang berpontensi breaksi jika tercampur	100%	1	1,000	0,230	0,409	0,330	0,031	0,031
		0%	0,75	0,000	0,230	0,409	0,330	-0,219	0,000
Total				2,000				0,062	0,062

Tabel 5.18. Hasil Perhitungan Sisa Indeks Bahaya (SIB) dan Sisa Indeks Risiko (SIR) Reaktifitas Kimia PT PQR

No		Jumlah	IB	IR	FTK	FP	FSMK	SIB	SIR
1	Produk yang memiliki potensi reaktifitas dalam formulanya	9%	1	0,090	0,152	0,346	0,270	0,232	0,021
		15%	0,75	0,113	0,152	0,346	0,270	-0,018	-0,003
2	Produk yang berpontensi breaksi jika tercampur	20%	1	0,200	0,152	0,346	0,270	0,232	0,046
		41%	0,75	0,308	0,152	0,346	0,270	-0,018	-0,007
Total				0,710				0,464	0,067

### 5.7. Pengembangan Model Hipotesis Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Berdasarkan hasil kajian skenario terburuk dengan metoda KJ analisis sebelumnya, maka kemudian dapat dikembangkan model hipotesis dari 6 variabel yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan yang dapat memicu bahaya reaktifitas kimia sesuai skenario yang dikembangkan. Model hipotesis dapat dilihat pada Gambar 5.4. Model ini dikembangkan berdasarkan hasil diskusi dengan para ahli lapangan (Supervisor, Manajer Produksi dan Plant Manajer) pada 3 perusahaan tempat penelitian dilakukan.



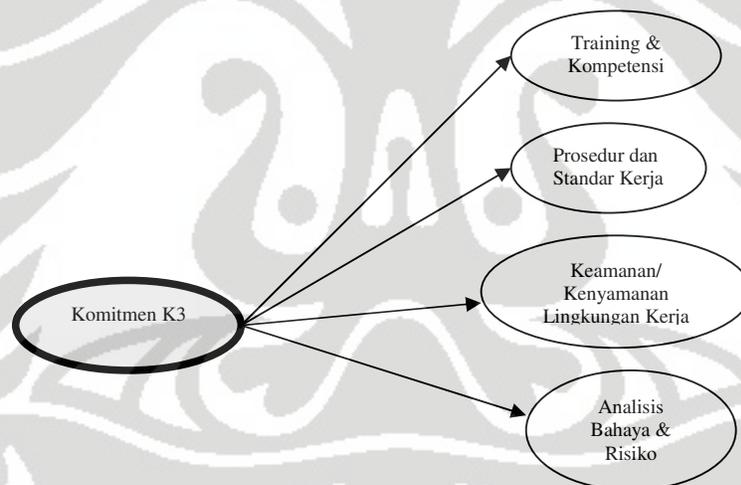
Gambar 5.4. Model Hipotesis Penyebab BRK Sesuai Skenario Terburuk yang Dikembangkan

Berikut akan dijelaskan teori-teori yang mendukung model kualitatif yang dikembangkan ini.

#### 5.7.1. Komitmen K3

Setiap perusahaan harus memiliki komitmen untuk melindungi keselamatan dan kesehatan semua pekerja yang dapat terkena dampak keselamatan dan kesehatan dari aktifitas kerja yang dilakukannya (BSI, 2004). Dalam buku petunjuk pelaksanaan OHSAS 18001 yang dikeluarkan oleh British Standard Institution tahun 2004,

komitmen K3 ditunjukkan dalam bentuk kebijakan manajemen perusahaan yang mengutamakan prinsip K3, kesediaan mengalokasikan dana dan sumber daya yang cukup untuk program K3, keterlibatan top manajemen dan line manajemen dalam setiap program K3, dan mengkomunikasikan kebijakan dan program K3 kepada seluruh karyawan. Dari definisi komitmen K3 yang dikeluarkan oleh BSI 2004 dapat dipahami bahwa komitmen K3 merupakan fondasi dari keseluruhan program K3 pada suatu perusahaan. Kebijakan perusahaan harus menunjukkan komitmen terhadap pengendalian risiko dan bahaya, pemenuhan terhadap peraturan pemerintah, pelaksanaan standar prosedur K3, komunikasi dan pelatihan K3, usaha perbaikan atau peningkatan K3 secara berkelanjutan dan tinjau ulang secara berkala. Gambar 5.5 menunjukkan hubungan antara variabel komitmen K3 dengan variabel training & kompetensi, prosedur dan standar kerja, keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dan analisis bahaya dan risiko berdasarkan hasil KJ Analisis yang dilakukan sebelumnya.



Gambar 5.5. Hubungan Variabel Komitmen K3 dengan Variabel-Variabel Lain.

### 5.7.2. Training dan Kompetensi

Seseorang pekerja yang mendapatkan pelatihan yang cukup dan berhati-hati dalam melakukan pekerjaan akan terhindar dari kecelakaan kerja walaupun melakukan pekerjaan yang berbahaya, sebaliknya pekerja yang tidak mendapatkan pelatihan dan tidak berhati-hati dalam melakukan pekerjaan akan mengalami kecelakaan walaupun melakukan pekerjaan yang aman (Heinrich, 1980).

Pelatihan bagi bekerja harus dilakukan sebelum pekerja tersebut melakukan pekerjaan yang ditugaskan. Setiap karyawan baru harus mendapatkan pelatihan yang cukup untuk setiap pekerjaan yang akan dilakukan. Penugasan pekerja yang belum mendapatkan pelatihan untuk melakukan sesuatu yang tidak dikuasainya dengan baik akan memberikan peluang besar terjadinya kecelakaan pada pekerja tersebut. Pekerja harus memahami dengan baik setiap tahapan proses pekerjaan yang dilakukan, pemahaman tidak hanya pada proses teknis pelaksanaannya saja, akan tetapi pemahaman harus meliputi aspek keselamatan dari pekerjaan tersebut.

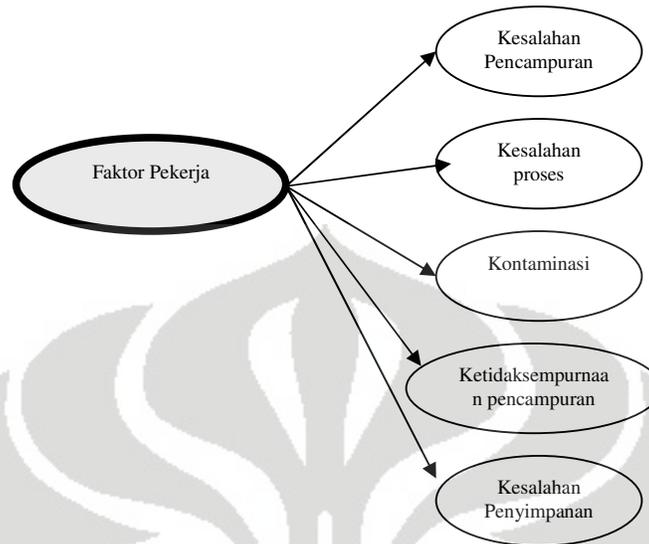


Gambar 5.6. Hubungan Variabel Training & Kompetensi dengan Variabel Faktor Pekerja.

Pelatihan yang tepat akan meningkatkan kompetensi atau kemampuan serta keahlian pekerja dalam melakukan pekerjaannya. Pelatihan yang diberikan harus sesuai dengan tanggung jawab dan otoritas pekerjaan yang diberikan. Pelatihan K3 harus fokus pada pengembangan kemampuan pekerja akan keselamatan kerja, sehingga menimbulkan kesadaran akan bahaya ditempat kerja dan meningkatkan kemampuan menangani bahaya tersebut serta memahami alasan-alasan kenapa program K3 dilakukan (Dingdags et al., 2008).

### 5.7.3. Faktor Pekerja

Pada pertengahan tahun 1920 telah mulai berkembang beberapa teori yang menjelaskan penyebab terjadinya kecelakaan, dan salah satu yang paling terkenal adalah teori domino. Menurut teori ini bahwa kecelakaan disebabkan oleh tindakan tidak aman dari seseorang dan keterpaparan terhadap kondisi mekanik yang tidak aman (Heinrich, 1980). Dari diskusi dengan pekerja pada saat melakukan kajian skenario terburuk terungkap bahwa pekerja seringkali melakukan pekerjaan secara terburu, memotong prosedur kerja, ceroboh dan tidak berhati-hati sehingga menyebabkan kesalahan atau kegagalan proses yang berpotensi menjadi kecelakaan kerja. Gambar 5.7 memperlihatkan hubungan antara faktor kesalahan pekerja dengan penyebab terjadinya kecelakaan BRK.



Gambar 5.7. Hubungan Variabel Faktor Pekerja dengan Variabel-Variabel Lain.

#### 5.7.4. Prosedur dan Standar Kerja

Sistem manajemen internasional seperti ISO 9001 mensyaratkan dibuatnya prosedur kerja pada elemen-elemen yang sudah ditentukan. Salah satu tujuan dibuatnya prosedur adalah untuk menjaga bahwa setiap proses kegiatan dilakukan secara konsisten untuk menjaga kualitas produk yang dibuat. Sistem manajemen K3 (SMK3 atau OHSAS 18001) juga mensyaratkan dibuatnya prosedur untuk elemen-elemen tertentu, misalnya OHSAS 18001 mensyaratkan dibuatnya prosedur untuk mengidentifikasi bahaya K3 dan prosedur untuk mengidentifikasi semua perundangan, peraturan atau standar yang terkait dengan resiko yang terdapat dalam perusahaan.



Gambar 5.8. Hubungan Variabel Prosedur dan Standar Kerja dengan Faktor Pekerja dan Lingkungan Kerja.

Prosedur dan standar kerja biasanya menggambarkan prosedur operasi standar (SOP) untuk mengikuti berbagai proses bisnis dalam sebuah organisasi. Tujuan utamanya adalah (Wikipedia, 2010):

1. Untuk merekam secara sistematis semua kebijakan bisnis, proses dan prosedur yang berlaku.
2. Untuk menunjukkan aliran tindakan yang dilakukan dari awal sampai akhir rantai proses.
3. Untuk menanamkan budaya "kesadaran pengendalian" antara pemilik proses dan operasi.
4. Untuk melihat kekurangan dalam kebijakan, proses dan prosedur dan membuat rekomendasi yang cocok untuk perbaikan dalam kebijakan, efektivitas proses, proses efisiensi, kontrol internal dan kepatuhan, sebagaimana berlaku.
5. Sebagai dasar untuk menyebarluaskan pengetahuan kepada karyawan yang berhubungan dengan fungsi bisnis yang relevan, dan untuk mengaktifkan pelatihan yang cukup kepada karyawan sehingga mereka bisa bekerja secara independen.
6. Sebagai panduan referensi untuk Internal Audit, yang menilai sejauh mana SOP dipenuhi.

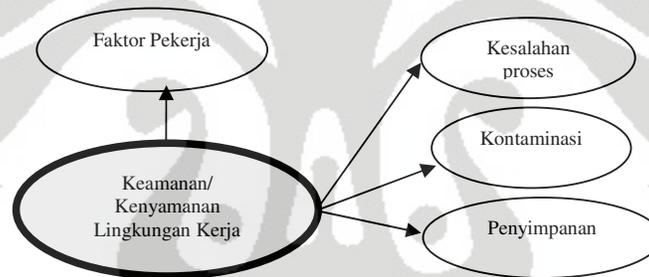
Dan salah satu tujuan dibuatnya prosedur K3 adalah untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja atau mengontrol risiko dan bahaya ditempat kerja. Sebagai contoh *Chemical Reactivity Management System* yang dikeluarkan oleh CCPS mensyaratkan dilakukannya identifikasi bahaya reaktivitas kimia untuk menghindari terjadinya bahaya reaktivitas kimia ditempat kerja. Gambar 5.6 menunjukkan hubungan antara variabel prosedur dan standar kerja dengan variabel faktor pekerja dan keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.

#### **5.7.5. Kenyamanan/Kemanan Lingkungan Kerja**

Menurut teori kecelakaan kerja yang dikeluarkan oleh Zabetakis, bahwa penyebab yang paling mendasar terjadinya kecelakaan adalah kebijakan manajemen, faktor pekerja dan faktor lingkungan kerja. Faktor lingkungan kerja disebut juga sebagai kondisi yang tidak aman (*unsafe condition*), contohnya adalah alat-alat kerja yang rusak dan masih digunakan, bahaya-bahaya ledakan dan kebakaran, area kerja

yang kotor, ventilasi yang buruk, pencahayaan yang kurang, alat-alat bantu kerja yang tidak memadai, tidak adanya sistem peringatan dini, dan lain sebagainya (Heinrich, 1980).

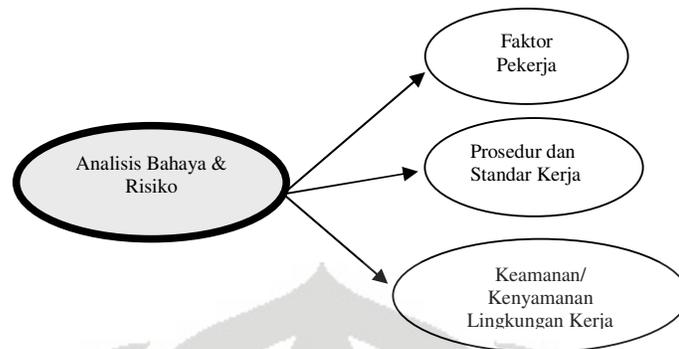
Lingkungan kerja akan berpengaruh secara langsung pada faktor pekerja. Pekerja tidak akan bisa bekerja secara aman dan baik jika lingkungan kerja tidak aman dan nyaman. Misalnya jika pencahayaan tidak mencukupi maka akan sangat membahayakan bagi pekerja dalam bekerja, demikian juga dengan ventilasi yang kurang memadai akan menimbulkan suasana panas dan pengap sehingga mengganggu konsentrasi pekerja dalam melaksanakan tugasnya. Gambar 5.9 memperlihatkan hubungan variabel keamanan/kenyamanan lingkungan kerja dengan variabel faktor pekerja dan penyebab terjadinya kecelakaan BRK karena kesalahan parameter proses, kontaminasi dan kesalahan penyimpanan berdasarkan hasil KJ analisis yang sudah dilakukan sebelumnya.



Gambar 5.9. Hubungan Variabel Kenyamanan/Keamanan Lingkungan Kerja dengan Variabel-Variabel Lain.

#### 5.7.6. Analisis Bahaya dan Resiko

Analisis risiko merupakan elemen paling mendasar dalam keberhasilan pelaksanaan manajemen keselamatan dan kesehatan kerja. Prinsip pelaksanaan analisis risiko haruslah bersifat proaktif. Identifikasi bahaya dan kontrol risiko harus dilakukan sebelum terjadi kecelakaan. Proses identifikasi bahaya, kajian risiko, pelaksanaan dan kaji ulang kontrol risiko harus berdasarkan sistem K3 secara keseluruhan (BSI, 2004). Gambar 5.10 menunjukkan hubungan variabel analisis bahaya dan risiko dengan variabel faktor pekerja, prosedur dan standar kerja, keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja berdasarkan hasil KJ analisis yang dilakukan sebelumnya.



Gambar 5.10. Hubungan Variabel Analisa Bahaya dan Risiko dengan Variabel-Variabel Lain.

### 5.8. Pengembangan Model Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Tahap berikutnya adalah mengembangkan model penyebab bahaya reaktifitas kimia dengan metode SEM, data diperoleh dari hasil kuisioner pada ketiga perusahaan tempat penelitian dilakukan. Ada beberapa tahapan proses yang harus dilakukan dalam mengembangkan SEM ini, yaitu:

1. Uji Normalitas
2. Uji Multikolinearitas
3. Mengembangkan model pengukuran
4. Pengembangan model struktural
5. Respesifikasi model struktural

#### 5.8.1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan program SPSS 16. Karena jumlah sampel yang cukup besar, maka uji normalitas menggunakan uji descriptive normal P-P Plot. Suatu data dikatakan berdistribusi normal jika sebaran data mengikuti atau menempel pada garis linear pada grafik P-P Plot (Zar. J.H., 1999). Hasil pengujian menunjukkan semua hasil pengukuran mengikuti distribusi normal atau asumsi normalitas terpenuhi.

#### 5.8.2. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan dengan menggunakan program SPSS 16. Hasil uji multikolinearitas menunjukkan nilai Pearl Correlation lebih kecil dari 0,8 ( $r < 0,8$ ), artinya tidak ditemukan adanya kolinearitas antar variabel indikator.

### 5.8.3. Mengembangkan Model Pengukuran Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Untuk mengembangkan model pengukuran digunakan metode *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) dari program LISREL 8.50. Persamaan regresi model pengukuran untuk setiap variabel indikator dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19. Persamaan Regresi Model Pengukuran Penyebab BRK

Persamaan	t-score	Error Variance	R <sup>2</sup>
Q1 = 0,38*KOMPETENSI	4,61	3,25	0,04
Q2 = 0,20*KOMPETENSI	3,06	2,09	0,02
Q3 = 0,20*KOMPETENSI	3,26	1,85	0,02
Q4 = 0,15*KOMPETENSI	2,07	2,62	0,01
Q5 = 0,95*KOMPETENSI	20,61	0,55	0,62
Q6 = 0,93*KOMPETENSI	19,96	0,57	0,60
Q7 = 0,78*KOMPETENSI	14,65	1,00	0,38
Q8 = 0,72*KOMPETENSI	16,82	0,58	0,47
Q43 = 0,62*KOMPETENSI	15,04	0,60	0,39
Q44 = 0,17*KOMPETENSI	3,51	1,17	0,03
Q45 = 0,35*KOMPETENSI	6,44	1,31	0,08
Q46 = 0,24*KOMPETENSI	4,89	1,08	0,05
Q47 = 0,37*KOMPETENSI	6,58	1,44	0,09
Q14 = 0,37*PEKERJA	6,80	1,32	0,09
Q15 = 0,33*PEKERJA	6,61	1,15	0,09
Q16 = 0,59*PEKERJA	7,97	2,41	0,13
Q17 = 1,05*PEKERJA	15,16	1,60	0,41
Q18 = 0,94*PEKERJA	15,81	1,12	0,44
Q19 = 0,81*PEKERJA	13,90	1,19	0,35
Q20 = 0,58*PEKERJA	9,10	1,66	0,17
Q21 = 0,60*KOMITMEN	11,77	1,03	0,26
Q22 = 0,94*KOMITMEN	16,04	0,97	0,48
Q23 = 1,03*KOMITMEN	16,35	0,99	0,52
Q24 = 0,82*KOMITMEN	15,08	0,99	0,40
Q25 = 0,96*KOMITMEN	17,51	0,98	0,48
Q26 = 0,79*KOMITMEN	14,43	0,95	0,39
Q27 = 0,66*KOMITMEN	12,05	0,96	0,31
Q28 = 0,67*KOMITMEN	13,02	0,92	0,33
Q29 = 0,13*KOMITMEN	2,12	1,95	0,01
Q9 = 0,71*SOP	11,63	1,47	0,25
Q10 = 0,91*SOP	14,26	1,37	0,37
Q11 = 0,76*SOP	14,20	1,07	0,35
Q12 = 0,90*SOP	16,75	0,92	0,47
Q13 = 0,80*SOP	16,27	0,79	0,45

Persamaan	t-score	Error Variance	R <sup>2</sup>
Q30 = 1,03*LINGKUNGAN	16,28	1,33	0,44
Q31 = 0,94*LINGKUNGAN	15,30	1,33	0,40
Q32 = 0,85*LINGKUNGAN	15,58	0,99	0,42
Q33 = 0,73*LINGKUNGAN	14,22	0,95	0,36
Q34 = 0,55*LINGKUNGAN	11,90	0,83	0,26
Q35 = 1,05*LINGKUNGAN	16,67	1,30	0,46
Q36 = 0,93*LINGKUNGAN	13,26	1,87	0,32
Q37 = 0,61*LINGKUNGAN	11,55	1,10	0,25
Q38 = 0,65*ANALISISRISIKO	10,77	1,53	0,22
Q39 = 1,11*ANALISISRISIKO	15,08	1,88	0,40
Q40 = 1,04*ANALISISRISIKO	16,50	1,26	0,46
Q41 = 0,86*ANALISISRISIKO	15,74	1,04	0,42
Q42 = 1,13*ANALISISRISIKO	15,48	1,84	0,41
Q48 = 1,46*PENCAMPURAN	19,52	1,01	0,68
Q49 = 1,39*PENCAMPURAN	21,45	1,09	0,64
Q50 = 1,66*PENCAMPURAN	22,73	1,19	0,70
Q55 = 1,44*PARAMETER	22,19	1,17	0,64
Q56 = 1,61*PARAMETER	25,17	0,87	0,75
Q57 = 1,67*PARAMETER	24,37	1,12	0,71
Q51 = 1,15*KONTAMINAN	20,11	0,99	0,57
Q52 = 1,49*KONTAMINAN	23,66	0,88	0,72
Q53 = 1,51*KONTAMINAN	22,90	1,16	0,66
Q54 = 1,93*KONTAMINAN	32,64	0,10	0,97
Q58 = 1,45*TDKSEMPURNA	20,55	1,40	0,60
Q59 = 1,61*TDKSEMPURNA	22,76	1,23	0,68
Q60 = 1,43*TDKSEMPURNA	18,27	2,12	0,49
Q61 = 1,47*PENYIMPANAN	21,76	1,00	0,68
Q62 = 1,60*PENYIMPANAN	23,01	1,02	0,71
Q63 = 1,52*PENYIMPANAN	22,14	1,19	0,66
Q64 = 1,47*PENYIMPANAN	18,92	1,91	0,53

Dari Tabel 5.19 di atas dapat dilihat bahwa nilai t-score (perhitungan) memiliki nilai > 1,96, artinya semua variabel indikator memiliki nilai yang signifikan. Maka dapat disimpulkan bahwa semua variabel indikator dapat diikuti sertakan dalam pembentukan model struktural.

Pada tahapan ini juga dilakukan uji kecocokan model pengukuran untuk setiap variabel laten. Uji kecocokan dilihat dari nilai RMSEA, CFI, SRMR, IFI dan GFI. Tabel 5.20 menunjukkan hasil perhitungan derajat kecocokan model pengukuran bahaya reaktifitas kimia.

Dari Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa 4 indeks GOF menunjukkan derajat kecocokan data-model adalah baik dan hanya satu indeks GOF yang menunjukkan derajat kecocokan data-model kurang baik, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan derajat kecocokan data-model adalah baik.

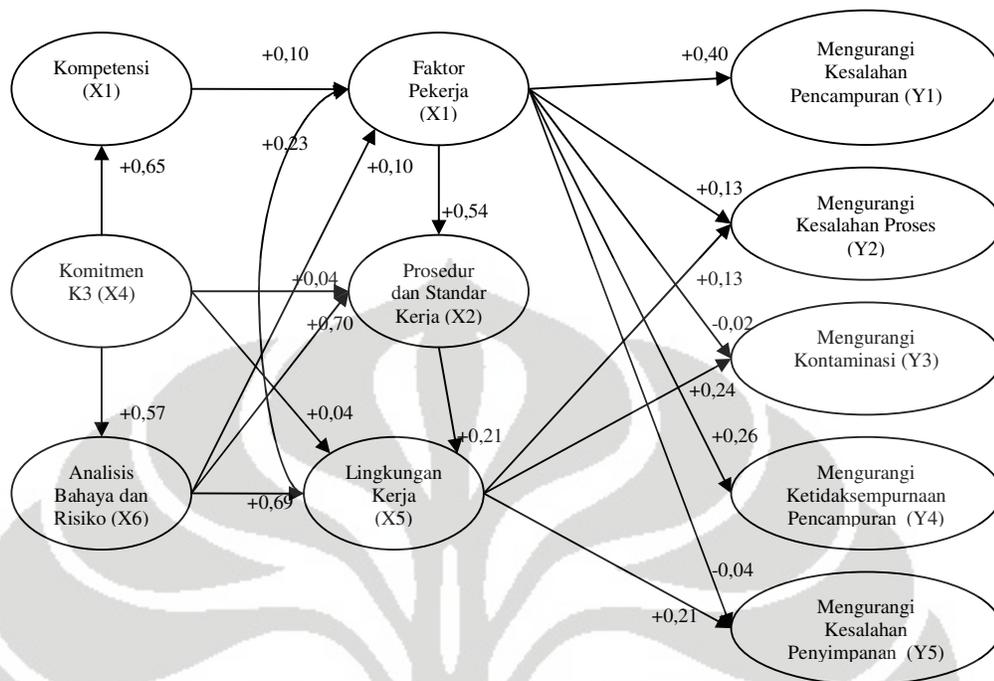
Tabel 5.20. Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Pengukuran Penyebab BRK

Indeks GOF	Batas Nilai Kelayakan	Hasil Perhitungan	Keterangan
RMSEA	<0,07 dgn CFI > 0,90	0,026	Baik
CFI	>/= 0,90	0,960	Baik
SRMR	</=0,08 dgn CFI >0,92	0,050	Baik
IFI	>/=0,90	0,960	Baik
GFI	>/=0,90	0,880	Kurang baik

#### 5.8.4. Mengembangkan Model Struktural Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Setelah memperoleh model pengukuran untuk semua variabel laten, maka tahap berikutnya adalah mengembangkan model struktural yang dibangun dari model pengukuran. Konstruksi model struktural diambil dari model yang dikembangkan pada kajian kualitatif sebelumnya (Gambar 5.4). Model struktural tersebut menjadi model hipotesis pada uji SEM. Berikut adalah hipotesis nol yang dikembangkan berdasarkan konstruksi model struktural dari kajian kualitatif.

- H<sub>01</sub> : Komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap kompetensi atau penyediaan training bagi pekerja.
- H<sub>02</sub> : Komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap analisis risiko ditempat kerja.
- H<sub>03</sub> : Komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap prosedur standar kerja (SOP).
- H<sub>04</sub> : Komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.
- H<sub>05</sub> : Kompetensi berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kesalahan pekerja.
- H<sub>06</sub> : Analisis risiko berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kesalahan pekerja.
- H<sub>07</sub> : Analisis risiko berpengaruh positif secara signifikan terhadap prosedur standar kerja (SOP).
- H<sub>08</sub> : Analisis risiko berpengaruh positif secara signifikan terhadap keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.



Gambar 5.11. Model Struktural Penyebab BRK Berdasarkan Model Hipotesis.

- $H_{09}$  : Prosedur dan standar kerja kerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kesalahan pekerja.
- $H_{010}$  : Prosedur dan standar kerja kerja berpengaruh positif secara signifikan meningkatkan keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.
- $H_{011}$  : Faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan pencampuran.
- $H_{012}$  : Faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan parameter proses.
- $H_{013}$  : Faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kontaminasi.
- $H_{014}$  : Faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya ketidaksempurnaan pencampuran.
- $H_{015}$  : Faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan penyimpanan.
- $H_{016}$  : Keamanan/kenyamanan lingkungan berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan parameter proses.

$H_{017}$  : Keamanan/kenyamanan lingkungan kerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kontaminasi.

$H_{018}$  : Keamanan/kenyamanan lingkungan berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan penyimpanan

Untuk menjawab hipotesis nol diatas, maka dilakukan pemodelan dengan program LISREL 8.50 untuk menghitung nilai signifikansi hubungan masing-masing variabel berdasarkan model hipotesis. Gambar 5.11 adalah model struktural berdasarkan model hipotesis (model kualitatif) dengan nilai faktor loading yang menunjukkan hubungan antar variabel laten.

Tabel 5.21. Nilai Derajat Kecocokan Data-Model dari Model Struktural Hipotesis Penyebab BRK

Indeks GOF	Batas Nilai Kelayakan	Hasil Perhitungan	Keterangan
RMSEA	<0,07 dgn CFI> 0,90	0,032	Baik
CFI	>/= 0,90	0,940	Baik
SRMR	</=0,08 dgn CFI >0,92	0,080	Baik
IFI	>/=0,90	0,940	Baik
GFI	>/=0,90	0,870	Kurang baik

Hasil perhitungan derajat kecocokan model (Goodness Of Fit) yang menunjukkan derajat kecocokan antara model hipotesis dengan data terdapat dalam Tabel 5.21, dapat dilihat bahwa 4 indeks GOF menunjukkan derajat kecocokan data-model adalah baik dan hanya satu indeks GOF yang menunjukkan derajat kecocokan data-model kurang baik, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan derajat kecocokan data-model adalah baik.

Dari persamaan model struktural hipotesis diatas, dibuat persamaan regresinya dari 10 variabel endogen dan 1 variabel eksogen. Dari model struktural hipotesis diatas diperoleh 10 persamaan, Tabel 5.22 menggambarkan persamaan regresi model struktural dari model hipotesis.

Tabel 5.22. Persamaan Regresi Model Struktural Hipotesis Penyebab BRK

No	Persamaan	Error Variance
1	KOMPETENSI = 0,65*KOMITMEN	Errorvar.= 0,58 , R <sup>2</sup> = 0,42
2	FAKTOR PEKERJA = 0,10*KOMPETENSI + 0,54*SOP + 0,23*LINGKUNGAN + 0,10*ANALISIS RISIKO	Errorvar.= 0,24 , R <sup>2</sup> = 0,76
3	SOP = 0,70*ANALISIS RISIKO + 0,038*KOMITMEN	Errorvar.= 0,48, R <sup>2</sup> = 0,52
4	LINGKUNGAN = 0,21*SOP + 0,69*ANALISIS RISIKO + 0,044*KOMITMEN	Errorvar.= 0,23 , R <sup>2</sup> = 0,77
5	ANALISIS RISIKO = 0,57*KOMITMEN	Errorvar.= 0,68 , R <sup>2</sup> = 0,32
6	PENCAMPURAN = 0,40*PEKERJA	Errorvar.= 0,75 , R <sup>2</sup> = 0,25
7	PARAMETER = 0,13*PEKERJA + 0,13*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,74, R <sup>2</sup> = 0,26
8	KONTAMINASI = - 0,024*PEKERJA + 0,24*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,75 , R <sup>2</sup> = 0,25
9	TDKSEMPURNA = 0,26*PEKERJA	Errorvar.= 0,73 , R <sup>2</sup> = 0,27
10	PENYIMPANAN = - 0,037*PEKERJA + 0,21*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,87 , R <sup>2</sup> = 0,13

Dari persamaan regresi model struktural hipotesis pada Tabel 5.22, dapat dilihat koefisien struktural (KS) untuk masing-masing jalur sesuai dengan hipotesis nol yang dibuat. Nilai KS dan uji hipotesis (t-perhitungan) untuk masing-masing jalur dapat dilihat pada Tabel 5.23, bahwa ada beberapa lintasan yang memiliki nilai koefisien struktural (KS) yang tidak signifikan sehingga hipotesis nol (H<sub>0</sub>) ditolak. Nilai KS dikatakan signifikan jika nilai t-perhitungan > t-Tabel, dimana nilai t-Tabel adalah 1,96.

Tabel 5.23. Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Hipotesis Penyebab BRK

Lintasan (Path)	Nilai KS	Nilai t-perhitungan	H <sub>0</sub>	
Komitmen → Kompetensi	0,65	4,5	Signifikan	H <sub>01</sub> : Diterima
Komitmen → Analisis Risiko	0,57	8,3	Signifikan	H <sub>02</sub> : Diterima
Komitmen → SOP	0,04	0,64	Tidak Signifikan	H <sub>03</sub> : Ditolak
Komitmen → Lingkungan	0,04	0,87	Tidak Signifikan	H <sub>04</sub> : Ditolak
Kompetensi → Pekerja	0,10	1,59	Tidak Signifikan	H <sub>05</sub> : Ditolak
Analisis Risiko → Pekerja	0,10	0,81	Tidak Signifikan	H <sub>06</sub> : Ditolak
Analisis Risiko → SOP	0,70	6,59	Signifikan	H <sub>07</sub> : Diterima
Analisis Risiko → Lingkungan	0,69	6,04	Signifikan	H <sub>08</sub> : Diterima
SOP → Pekerja	0,54	4,56	Signifikan	H <sub>09</sub> : Diterima
SOP → Lingkungan	0,21	2,69	Signifikan	H <sub>010</sub> : Diterima
Pekerja → Pencampuran	0,40	4,62	Signifikan	H <sub>011</sub> : Diterima
Pekerja → Proses	0,13	1,21	Tidak Signifikan	H <sub>012</sub> : Ditolak
Pekerja → Kontaminasi	-0,024	-0,22	Tidak Signifikan	H <sub>013</sub> : Ditolak
Pekerja → Tdk sempurna	0,26	4,06	Signifikan	H <sub>014</sub> : Diterima
Pekerja → Penyimpanan	-0,037	-0,28	Tidak Signifikan	H <sub>015</sub> : Ditolak
Lingkungan → Proses	0,13	1,19	Tidak Signifikan	H <sub>016</sub> : Ditolak
Lingkungan → Kontaminasi	0,24	2,17	Signifikan	H <sub>017</sub> : Diterima
Lingkungan → Penyimpanan	0,21	1,74	Tidak Signifikan	H <sub>018</sub> : Ditolak

Dari hasil pengujian statistik hipotesis nol model struktural hipotesis tersebut, terdapat 9 hipotesis nol yang ditolak, yaitu  $H_{03}$ ,  $H_{04}$ ,  $H_{05}$ ,  $H_{06}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{13}$ ,  $H_{15}$ ,  $H_{16}$ , dan  $H_{18}$ , dimana hubungan kedua variabel laten pada masing-masing hipotesis tersebut tidak signifikan;

$H_{03}$  ditolak berarti komitmen K3 tidak berpengaruh positif secara signifikan terhadap prosedur standar kerja (SOP). Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa kelengkapan, aspek K3, kemudahan dan pemahaman standar dan prosedur kerja tidak dipengaruhi secara signifikan oleh komitmen K3 secara langsung.

$H_{04}$  ditolak berarti komitmen K3 tidak berpengaruh positif secara signifikan terhadap keamanan/kenyamanan lingkungan kerja. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa perawatan alat dan mesin, alur proses, pengaturan penyimpanan bahan baku, sistem kontrol proses, kenyamanan area kerja dan alat pelindung diri tidak secara signifikan dipengaruhi oleh komitmen K3 secara langsung.

$H_{05}$  ditolak berarti kompetensi tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kesalahan pekerja. Data hasil pengukuran yang menggabungkan antara training dengan kompetensi dan pengetahuan menunjukkan hubungan yang tidak signifikan dengan kesalahan yang disebabkan oleh faktor pekerja. Untuk kasus ini peneliti melakukan pemisahan antara variabel indikator training dengan kompetensi pada respesifikasi model pada tahapan berikutnya.

$H_{06}$  ditolak berarti analisis risiko tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kesalahan pekerja. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa kesalahan yang diakibatkan oleh kelalaian, terburu-buru, kesalahan pengiriman bahan baku, memotong jalur SOP dan mengingatkan rekan kerja tidak secara signifikan dipengaruhi oleh analisis risiko secara langsung.

$H_{012}$  ditolak berarti faktor pekerja tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan parameter proses. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kesalahan parameter proses seperti tekanan

atau temperatur terlalu tinggi/rendah, pemanasan atau pendinginan terlalu cepat/lambat dan kecepatan penambahan bahan baku terlalu cepat atau lambat tidak secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

H<sub>013</sub> ditolak berarti faktor pekerja tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kontaminasi. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kontaminasi seperti kontaminasi bahan baku, kebersihan vesel atau wadah yang buruk, kesalahan transfer dan terdapat sisa bahan baku dalam vesel atau wadah tidak secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

H<sub>015</sub> ditolak berarti faktor pekerja tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan penyimpanan. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kesalahan penyimpanan seperti bahan baku disimpan melewati masa kadaluarsa, kemasan/ packaging bahan baku dibiarkan terbuka, kemasan/packaging baku tanpa label, dan kemasan/ packaging bahan baku bocor atau tumpah tidak secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

H<sub>016</sub> ditolak berarti keamanan/kenyamanan lingkungan tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan parameter proses. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kesalahan parameter proses seperti tekanan atau temperatur terlalu tinggi/rendah, pemanasan atau pendinginan terlalu cepat/lambat dan kecepatan penambahan bahan baku terlalu cepat atau lambat tidak secara signifikan dipengaruhi oleh keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.

H<sub>018</sub> ditolak berarti keamanan/kenyamanan lingkungan tidak berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan penyimpanan. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kesalahan penyimpanan seperti bahan baku disimpan melewati masa kadaluarsa, kemasan/ packaging bahan baku dibiarkan terbuka, kemasan/packaging baku tanpa label, dan

kemasan/ packaging bahan baku bocor atau tumpah tidak secara signifikan dipengaruhi oleh keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.

Hipotesis nol yang diterima pada uji statistik model struktural hipotesis adalah  $H_{01}$ ,  $H_{02}$ ,  $H_{07}$ ,  $H_{08}$ ,  $H_{09}$ ,  $H_{010}$ ,  $H_{011}$ ,  $H_{014}$ , dan  $H_{017}$ , dimana hubungan kedua variabel laten pada masing-masing hipotesis tersebut signifikan;

$H_{01}$  diterima berarti komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap kompetensi atau penyediaan training bagi pekerja. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk peningkatan kompetensi pekerja diperlukan komitmen dari manajemen.

$H_{02}$  diterima berarti komitmen K3 berpengaruh positif secara signifikan terhadap analisis risiko ditempat kerja. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa analisis risiko ditempat kerja hanya bisa dilakukan jika ada komitmen dari manajemen untuk melaksanakannya.

$H_{07}$  diterima berarti analisis risiko berpengaruh positif secara signifikan terhadap prosedur kerja standar (SOP). Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa kelengkapan, aspek K3, kemudahan dan pemahaman standar dan prosedur kerja dipengaruhi secara signifikan oleh hasil dan pelaksanaan analisis risiko yang dilakukan.

$H_{08}$  diterima berarti analisis risiko berpengaruh positif secara signifikan terhadap keamanan/kenyamanan lingkungan kerja. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa perawatan alat dan mesin, alur proses, pengaturan penyimpanan bahan baku, sistem kontrol proses, kenyamanan area kerja dan alat pelindung diri secara signifikan dipengaruhi oleh hasil dan pelaksanaan analisis risiko.

$H_{010}$  diterima berarti prosedur dan standar kerja kerja berpengaruh positif secara signifikan meningkatkan keamanan/kenyamanan lingkungan kerja. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa perawatan alat dan mesin, alur proses, pengaturan penyimpanan bahan baku, sistem kontrol proses,

kenyamanan area kerja dan alat pelindung diri secara signifikan dipengaruhi oleh standar dan prosedur kerja.

H<sub>011</sub> diterima berarti faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan pencampuran. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kesalahan formula/komposisi produk, penambahan berlebih atau kurang dan kesalahan urutan penambahan baku secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

H<sub>014</sub> diterima berarti faktor pekerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya ketidaksempurnaan pencampuran. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya proses pengadukan terlalu lama/cepat, kecepatan pengadukan terlalu tinggi/rendah dan pengaduk/stirer tidak bekerja pada saat proses secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

H<sub>017</sub> diterima berarti keamanan/kenyamanan lingkungan kerja berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kontaminasi. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kontaminasi bahan baku, kurangnya kebersihan vesel atau wadah, terjadinya kesalahan transfer dan sisa bahan baku dalam vesel atau wadah secara signifikan dipengaruhi oleh faktor pekerja.

#### **5.8.5. Respesifikasi Model Struktural Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Untuk mendapatkan model yang lebih sesuai atau cocok dengan data empiris, maka model awal dapat dimodifikasi dan diuji kembali dengan data yang sama. Peneliti dapat melakukan modifikasi model awal menjadi beberapa model dengan tujuan untuk mencari satu model yang lebih cocok dengan data secara baik, tetapi juga mempunyai sifat bahwa setiap parameternya dapat diartikan dengan baik (Wijanto, 2008).

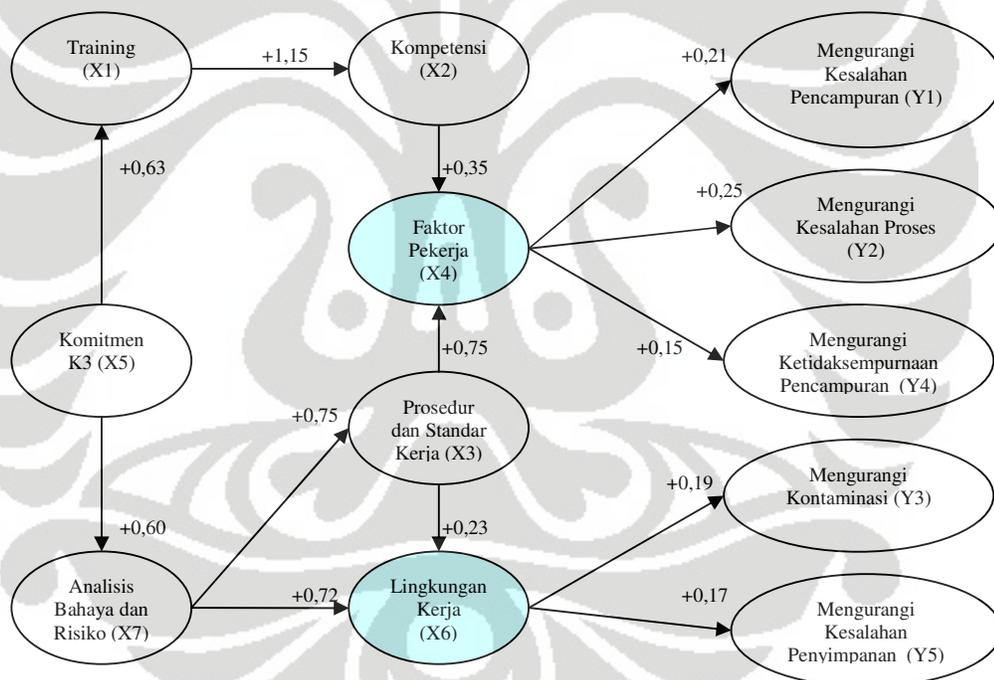
Pada tahapan berikutnya peneliti melakukan modifikasi model dengan cara menghilangkan atau menghapus beberapa hubungan antar variabel yang memiliki hubungan tidak signifikan atau hipotesis nol ditolak secara bertahap, dan mengubah variabel laten kompetensi menjadi dua variabel laten lain yaitu training dan

pengetahuan/kompetensi untuk memperbaiki koefisien struktural dari kompetensi dengan faktor kesalahan pekerja. Pemecahan variabel kompetensi ini dapat dilakukan dengan mengelompokkan variabel pengukuran 1- 8 untuk variabel training dan 43-47 untuk variabel pengetahuan. Model struktural penyebab BRK Modifikasi I dapat dilihat pada Gambar 5.12.

Hipotesis nol tambahan untuk jalur tambahan model struktural modifikasi I ini adalah sebagai berikut:

$H_{019}$  : Training berpengaruh positif secara signifikan meningkatkan pengetahuan dan kompetensi pekerja.

$H_{020}$  : Pengetahuan dan kompetensi berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan akibat faktor pekerja.



Gambar 5.12. Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I

Kemudian dilakukan uji kecocokan model dengan LISREL 8.50. Model struktural modifikasi I yang memiliki nilai kecocokan yang paling baik terdapat pada Gambar 5.12. Hasil perhitungan derajat kecocokan model (Goodness Of Fit) yang menunjukkan derajat kecocokan antara model struktural penyebab BRK modifikasi I dengan data terdapat dalam Tabel 5.24.

Tabel 5.24. Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I

Indeks GOF	Batas Nilai Kelayakan	Hasil Perhitungan	Keterangan
RMSEA	<0,07 dgn CFI> 0,90	0,026	Baik
CFI	>/= 0,90	0,960	Baik
SRMR	</=0,08 dgn CFI >0,92	0,072	Baik
IFI	>/=0,90	0,960	Baik
GFI	>/=0,90	0,890	Kurang baik

Dari Tabel 5.24 dapat dilihat bahwa 4 indeks GOF menunjukkan derajat kecocokan data-model adalah baik dan hanya satu indeks GOF yang menunjukkan derajat kecocokan data-model kurang baik, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan derajat kecocokan data-model adalah baik.

Tabel 5.25. Persamaan Regresi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I

No	Persamaan	Error Variance
1	TRAINING = 0,63*KOMITMEN	Errorvar.= 0,61 , R <sup>2</sup> = 0,39
2	PENGETAHUAN = 1,15*TRAINING,	Errorvar.= 0,72 , R <sup>2</sup> = 0,28
3	PEKERJA = 0,35*PENGETAHUAN + 0,75*SOP	Errorvar.= 0,12 , R <sup>2</sup> = 0,88
4	SOP = 0,73*ANALISIS RISIKO	Errorvar.= 0,47 , R <sup>2</sup> = 0,53
5	LINGKUNGAN = 0,23*SOP + 0,72*ANALISIS RISIKO	Errorvar.= 0,18 , R <sup>2</sup> = 0,82
6	ANALISIS RISIKO= 0,60*KOMITMEN	Errorvar.= 0,64 , R <sup>2</sup> = 0,36
7	PENCAMPURAN = 0,21*PEKERJA	Errorvar.= 0,76 , R <sup>2</sup> = 0,24
8	PARAMETER = 0,25*PEKERJA	Errorvar.= 0,74 , R <sup>2</sup> = 0,26
9	KONTAMINASI = 0,19*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,87 , R <sup>2</sup> = 0,13
10	TDKSEMPURNA = 0,15*PEKERJA	Errorvar.= 0,85 , R <sup>2</sup> = 0,15
11	PENYIMPANAN = 0,17*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,87 , R <sup>2</sup> = 0,13

Dari persamaan regresi model struktural penyebab BRK modifikasi I pada Tabel 5.25, dapat dilihat koefesien struktural untuk masing-masing jalur sesuai dengan hipotesis nol yang dibuat. Nilai KS dan uji hipotesis (t-perhitungan) untuk masing-masing jalur dapat dilihat pada Tabel 5.26, hasil menunjukkan bahwa semua hubungan antar variabel dalam model struktural modifikasi I adalah signifikan dan hipotesis nol diterima, dimana nilai t-perhitungan >/= 1,96.

Tabel 5.26. Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi I

Lintasan (Path)	Nilai KS	Nilai t-perhitungan		H <sub>0</sub>
Komitmen → Training	0,63	4,24	Signifikan	H <sub>01</sub> : Diterima
Komitmen → Analisis Risiko	0,60	8,87	Signifikan	H <sub>02</sub> : Diterima
Analisis Risiko → SOP	0,73	7,63	Signifikan	H <sub>07</sub> : Diterima
Analisis Risiko → Lingkungan	0,72	7,17	Signifikan	H <sub>08</sub> : Diterima
SOP → Pekerja	0,75	4,04	Signifikan	H <sub>09</sub> : Diterima
SOP → Lingkungan	0,23	3,16	Signifikan	H <sub>10</sub> : Diterima
Pekerja → Pencampuran	0,21	3,26	Signifikan	H <sub>11</sub> : Diterima
Pekerja → Proses	0,25	4,38	Signifikan	H <sub>12</sub> : Diterima
Pekerja → Tdk sempurna	0,15	2,89	Signifikan	H <sub>14</sub> : Diterima
Lingkungan → Kontaminasi	0,19	3,86	Signifikan	H <sub>17</sub> : Diterima
Lingkungan → Penyimpanan	0,17	3,51	Signifikan	H <sub>18</sub> : Diterima
Training → Pengetahuan/ kompetensi	1,15	4,15	Signifikan	H <sub>19</sub> : Diterima
Pengetahuan → Pekerja	0,35	2,78	Signifikan	H <sub>20</sub> : Diterima

Untuk hipotesis nol jalur tambahan dapat dijelaskan sebagai berikut:

H<sub>019</sub> diterima berarti training K3 berpengaruh positif secara signifikan meningkatkan pengetahuan dan kompetensi pekerja. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa pelaksanaan training mengenai bahaya bahan kimia, keselamatan bahan kimia, lembar keselamatan bahan kimia secara signifikan dapat meningkatkan pengetahuan dan kompetensi pekerja.

H<sub>020</sub> diterima berarti pengetahuan dan kompetensi berpengaruh positif secara signifikan mengurangi terjadinya kesalahan akibat faktor pekerja. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa kesalahan pekerja seperti bekerja terburu-buru, memotong jalur standar kerja, mengabaikan SOP dan kesalahan pengiriman bahan baku dapat dikurangi dengan meningkatkan pengetahuan pekerja.

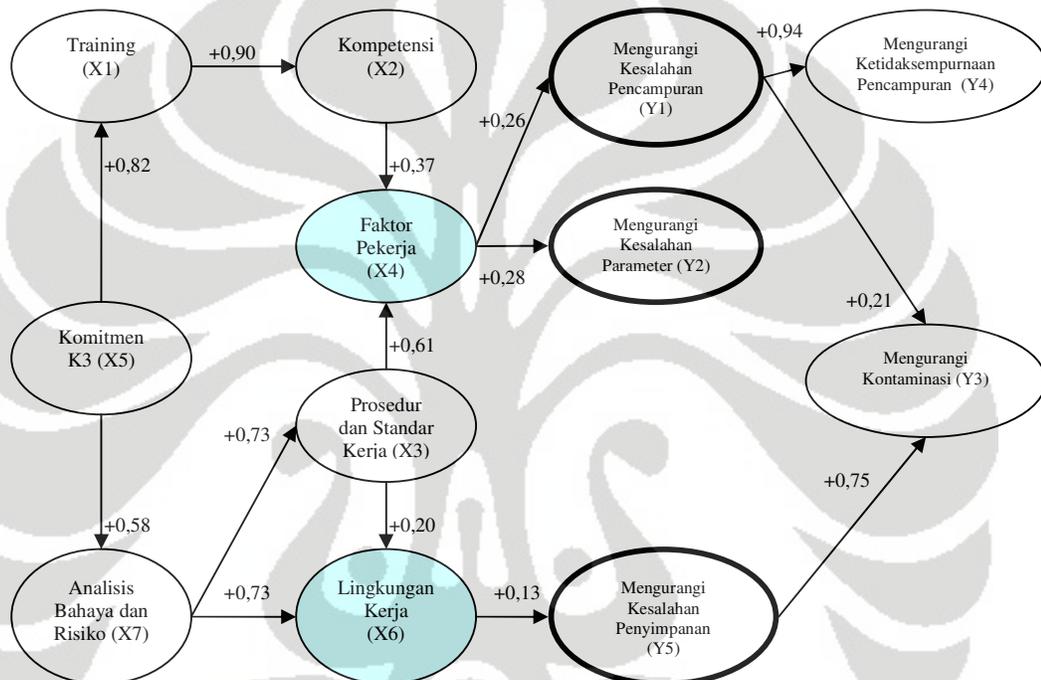
Untuk mendapatkan model struktural yang lebih baik dan memiliki hubungan antar variabel laten yang memiliki koefisien struktural lebih tinggi, peneliti mencoba melakukan modifikasi kedua dengan menambah beberapa jalur (path) yang didukung secara teori atau fakta dilapangan. Model struktural penyebab BRK modifikasi II dapat dilihat pada Gambar 5.13.

Hipotesis nol tambahan untuk jalur baru dari model struktural modifikasi II adalah sebagai berikut:

H<sub>021</sub> : Mengurangi kesalahan pencampuran berpengaruh positif secara signifikan mengurangi ketidaksempurnaan pencampuran.

H<sub>022</sub> : Mengurangi kesalahan pencampuran berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kontaminasi produk.

H<sub>023</sub> : Mengurangi kesalahan penyimpanan berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kontaminasi produk.



Gambar 5.13. Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II

Hasil perhitungan derajat kecocokan model (Goodness Of Fit) yang menunjukkan derajat kecocokan antara model struktural penyebab BRK modifikasi II dengan data terdapat dalam Tabel 5.27, terdapat 4 indeks GOF menunjukkan derajat kecocokan data-model adalah baik dan hanya satu indeks GOF yang menunjukkan derajat kecocokan data-model kurang baik, maka dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan derajat kecocokan data-model adalah baik.

Tabel 5.27. Nilai Derajat Kecocokan Data-Model (GOF) dari Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II

Indeks GOF	Batas Nilai Kelayakan	Hasil Perhitungan	Keterangan
RMSEA	<0,07 dgn CFI> 0,90	0,023	Baik
CFI	>/= 0,90	0,960	Baik
SRMR	</=0,08 dgn CFI >0,92	0,055	Baik
IFI	>/=0,90	0,960	Baik
GFI	>/=0,90	0,890	Kurang baik

Tabel 5.28 menggambarkan persamaan regresi model struktural penyebab BRK modifikasi II.

Tabel 5.28. Persamaan Regresi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II

No	Persamaan	Error Variance
1	TRAINING = 0,82*KOMITMEN	Errorvar.= 0,33 , R <sup>2</sup> = 0,67
2	PENGETAHUAN = 0,90*TRAINING	Errorvar.= 0,22 , R <sup>2</sup> = 0,78
3	FAKTOR PEKERJA = 0,37*PENGETAHUAN + 0,61*SOP	Errorvar.= 0,10 , R <sup>2</sup> = 0,90
4	SOP = 0,73*ANALISIS RISIKO	Errorvar.= 0,46 , R <sup>2</sup> = 0,54
5	LINGKUNGAN = 0,20*SOP + 0,73*ANALISIS RISIKO	Errorvar.= 0,21 , R <sup>2</sup> = 0,79
6	ANALISIS RISIKO = 0,58*KOMITMEN	Errorvar.= 0,66 , R <sup>2</sup> = 0,34
7	PENCAMPURAN = 0,26*PEKERJA	Errorvar.= 0,76 , R <sup>2</sup> = 0,24
8	PARAMETER = 0,28*PEKERJA	Errorvar.= 0,77 , R <sup>2</sup> = 0,23
9	KONTAMINAN = 0,21*PENCAMPURAN + 0,75*PENYIMPANAN	Errorvar.= 0,29 , R <sup>2</sup> = 0,71
10	TDKSEMPURNA = 0,94*PENCAMPURAN	Errorvar.= 0,40 , R <sup>2</sup> = 0,60
11	PENYIMPANAN = 0,13*LINGKUNGAN	Errorvar.= 0,88 , R <sup>2</sup> = 0,12

Dari persamaan regresi model struktural penyebab BRK modifikasi II pada Tabel 5.28, dapat dilihat koefisien struktural untuk masing-masing jalur sesuai dengan hipotesis nol yang dibuat. Nilai KS dan uji hipotesis (t-perhitungan) untuk masing-masing jalur dapat dilihat pada Tabel 5.29, hasil menunjukkan bahwa semua hubungan antar variabel dalam model struktural modifikasi II adalah signifikan dan hipotesis nol diterima, dimana nilai t-perhitungan >/= 1,96.

Tabel 5.29. Nilai Koefisien Struktural dan Signifikansi Model Struktural Penyebab BRK Modifikasi II

Lintasan (Path)	Nilai KS	Nilai t-perhitungan		H <sub>0</sub>
Komitmen → Training	0,82	5,30	Signifikan	H <sub>01</sub> : Diterima
Komitmen → Analisis Risiko	0,58	8,90	Signifikan	H <sub>02</sub> : Diterima
Analisis Risiko → SOP	0,73	7,76	Signifikan	H <sub>07</sub> : Diterima
Analisis Risiko → Lingkungan	0,73	7,31	Signifikan	H <sub>08</sub> : Diterima
SOP → Pekerja	0,75	4,04	Signifikan	H <sub>09</sub> : Diterima
SOP → Lingkungan	0,20	2,74	Signifikan	H <sub>10</sub> : Diterima
Pekerja → Pencampuran	0,28	4,23	Signifikan	H <sub>11</sub> : Diterima
Pekerja → Parameter Proses	0,21	3,59	Signifikan	H <sub>12</sub> : Diterima
Pencampuran → Kontaminan	0,20	4,63	Signifikan	H <sub>21</sub> : Diterima
Penyimpanan → Kontaminan	0,75	13,87	Signifikan	H <sub>22</sub> : Diterima
Pencampuran → Tdk Sempurna	0,94	5,53	Signifikan	H <sub>23</sub> : Diterima
Lingkungan → Penyimpanan	0,13	2,96	Signifikan	H <sub>18</sub> : Diterima
Training → Pengetahuan/kompetensi	0,90	4,92	Signifikan	H <sub>19</sub> : Diterima
Pengetahuan → Pekerja	0,37	3,75	Signifikan	H <sub>20</sub> : Diterima

Untuk hipotesis nol jalur tambahan dapat dijelaskan sebagai berikut:

H<sub>021</sub> diterima berarti mengurangi kesalahan pencampuran berpengaruh positif secara signifikan mengurangi ketidaksempurnaan pencampuran. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya ketidaksempurnaan pencampuran dapat dikurangi dengan mengurangi terjadinya kesalahan pencampuran.

H<sub>022</sub> diterima berarti mengurangi kesalahan pencampuran berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kontaminasi produk. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kontaminasi produk dapat dikurangi dengan mengurangi terjadinya kesalahan pencampuran.

H<sub>023</sub> diterima berarti mengurangi kesalahan penyimpanan berpengaruh positif secara signifikan mengurangi kontaminasi produk. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadinya kontaminasi produk dapat dikurangi dengan mengurangi terjadinya kesalahan penyimpanan.

## 5.9. Hasil Uji Multiple Regresi Linear Model Hipotesis Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Uji multiple regresi linear untuk model hipotesis penyebab bahaya reaktifitas kimia dilakukan dengan menggunakan program SPSS 16.0. Persamaan multiple regresi linear untuk melihat kuat hubungan antara variabel dependen (5 faktor pemicu BRK) dengan variabel independen (7 faktor penyebab pemicu BRK) dapat dilihat pada Tabel 5.30. Dari hasil uji multiple regresi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengurangan kesalahan pencampuran memiliki hubungan yang kuat dengan kompetensi pekerja, komitmen K3, faktor kesalahan pekerja dan lingkungan kerja. Kuat hubungan dari persamaan multiple regresi adalah 37,8%.
2. Pengurangan kesalahan parameter proses memiliki hubungan yang kuat dengan kompetensi pekerja, komitmen K3, faktor kesalahan pekerja dan lingkungan kerja. Kuat hubungan dari persamaan multiple regresi adalah 31,1%.
3. Pengurangan Kontaminasi memiliki hubungan yang kuat dengan kompetensi pekerja, komitmen K3, faktor kesalahan pekerja dan lingkungan kerja. Kuat hubungan dari persamaan multiple regresi adalah 36,2%.
4. Pengurangan Ketidaksempurnaan Pencampuran memiliki hubungan yang kuat dengan kompetensi pekerja, faktor kesalahan pekerja dan lingkungan kerja. Kuat hubungan dari persamaan multiple regresi adalah 31,9%.
5. Pengurangan Keasalahan Penyimpanan memiliki hubungan yang kuat dengan kompetensi pekerja dan lingkungan kerja. Kuat hubungan dari persamaan multiple regresi adalah 39,1%.

Semua hubungan diatas memenuhi asumsi linearitas dimana nilai  $P_v = 0,000 (< 0,05)$ .

Dari persamaan regresi diatas diketahui bahwa prosedur kerja standar (SOP) tidak memiliki hubungan dengan semua variabel dependen. Kesalahan penyimpanan hanya dipengaruhi oleh faktor kompetensi pekerja dan lingkungan kerja. Kompetensi pekerja memiliki hubungan dengan semua variabel dependen. Faktor kesalahan pekerja memiliki hubungan dengan semua variabel dependen kecuali kesalahan penyimpanan.

Tabel 5.30. Rangkuman Persamaan Multiple Regresi Linear Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia

Variabel Dependen	Variabel Independen	Persamaan	Kuat Hubungan (R)	*Pv
Pengurangan Kesalahan Pencampuran	Komitmen K3, Kompetensi, Analisis Risiko, SOP, Faktor Pekerja, Lingkungan Kerja	Pengurangan Kesalahan Pencampuran = $-0,425 + 0,400 * (\text{Kompetensi}) - 0,231 * (\text{Komitmen K3}) + 0,384 * (\text{Faktor Pekerja}) + 0,418 * (\text{Lingkungan Kerja})$ .	0,378	0,000
Pengurangan Kesalahan Parameter Proses	Komitmen K3, Kompetensi, Analisis Risiko, SOP, Faktor Pekerja, Lingkungan Kerja	Pengurangan Kesalahan Parameter Proses = $-0,534 + 0,275 * (\text{Kompetensi}) - 0,185 * (\text{Komitmen K3}) + 0,312 * (\text{Faktor Pekerja}) + 0,485 * (\text{Lingkungan Kerja})$ .	0,311	0,000
Pengurangan Kontaminasi	Komitmen K3, Kompetensi, Analisis Risiko, SOP, Faktor Pekerja, Lingkungan Kerja	Pengurangan Kontaminasi = $0,100 + 0,283 * (\text{Kompetensi}) - 0,257 * (\text{Komitmen K3}) + 0,313 * (\text{Faktor Pekerja}) + 0,508 * (\text{Lingkungan Kerja})$ .	0,362	0,000
Pengurangan Ketidaktepurnaan Pencampuran	Komitmen K3, Kompetensi, Analisis Risiko, SOP, Faktor Pekerja, Lingkungan Kerja	Pengurangan Ketidaktepurnaan Pencampuran = $-0,817 + 0,402 * (\text{Kompetensi}) + 0,244 * (\text{Faktor Pekerja}) + 0,333 * (\text{Lingkungan Kerja})$ .	0,319	0,000
Pengurangan Kesalahan Penyimpanan	Komitmen K3, Kompetensi, Analisis Risiko, SOP, Faktor Pekerja, Lingkungan Kerja	Pengurangan Kesalahan Penyimpanan = $-0,098 + 0,529 * (\text{Kompetensi}) + 0,400 * (\text{Lingkungan Kerja})$ .	0,391	0,000

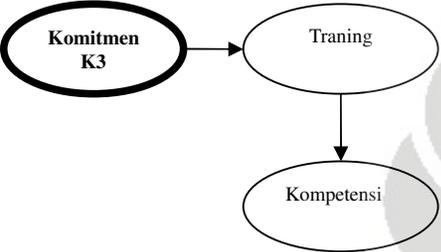
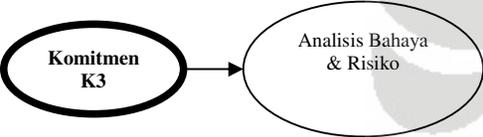
\*Pv < 0,05, artinya asumsi linearitas pada pemodelan terpenuhi.

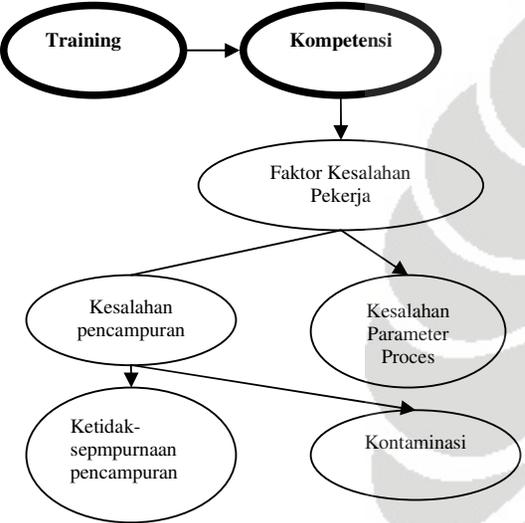
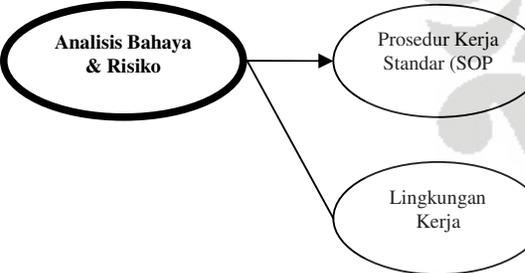
### **5.10. Hasil Analisis Kualitatif Pengembangan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia**

Sistem pengendalian BRK dikembangkan dengan metoda kualitatif berdasarkan hasil observasi dan diskusi dengan para pekerja dan manajemen dilapangan. Sistem manajemen pengendalian mengacu pada model penyebab BRK II. Hasil analisis kualitatif usulan pengendalian untuk mengurangi terjadinya pemicu BRK adalah seperti pada tabel 5.31. Usulan pengendalian yang dapat secara langsung dikontrol dan mempengaruhi faktor yang lain adalah sebagai berikut:

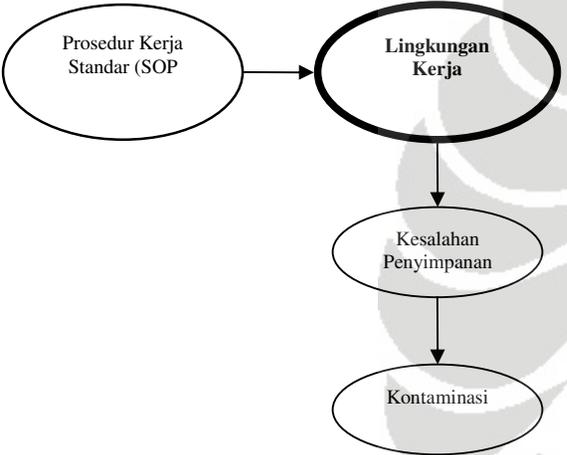
1. Komitmen K3; yang meliputi komitmen manajemen dan pekerja dalam melaksanakan dan mengikuti training dan melaksanakan analisis bahaya dan risiko ditempat kerja.
2. Training; yang meliputi perencanaan dan pelaksanaan program training yang memasukkan pelatihan bahaya bahan kimia untuk meningkatkan kompetensi pekerja dalam mengendalikan BRK sehingga dapat menurunkan kesalahan pekerja yang dapat memicu terjadinya kesalahan pencampuran, kesalahan proses, kontaminasi dan ketidak sempurnaan pencampuran.
3. Analisis bahaya dan risiko; yang meliputi perencanaan dan pelaksanaan analisis bahaya dan risiko ditempat kerja yang merupakan landasan untuk membuat prosedur kerja standar dan program keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.
4. Pembuatan prosedur kerja standar; didasarkan pada hasil analisis bahaya dan risiko untuk mengurangi terjadinya kesalahan pekerja yang dapat memicu terjadinya BRK
5. Program lingkungan kerja yang didasarkan pada hasil kajian bahaya dan risiko ditempat kerja yang dapat mengurangi terjadinya pemicu BRK yaitu kesalahan penyimpanan dan kontaminasi.

Tabel 5.31. Hasil Kajian Kualitatif Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia

Hubungan Faktor-Faktor Penyebab BRK	Usulan Pengendalian
 <pre> graph TD     K3((Komitmen K3)) --&gt; Traning((Traning))     Traning --&gt; Kompetensi((Kompetensi))           </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komitmen manajemen untuk menetapkan penanggung jawab training.</li> <li>• Komitmen manajemen dalam pengadaan training bagi pekerja.</li> <li>• Komitmen manajemen dalam alokasi budget training.</li> <li>• Komitmen manajemen memberikan training bagi pekerja baru.</li> <li>• Pengadaan topik training yang berkaitan dengan bahaya bahan kimia.</li> <li>• Pencatatan data-data training pekerja</li> <li>• Melakukan evaluasi terhadap hasil training.</li> <li>• Komitmen manajemen untuk melakukan training penyegaran secara berkala.</li> <li>• Komitmen pekerja untuk mengikuti semua program training.</li> </ul>
 <pre> graph LR     K3((Komitmen K3)) --&gt; Analisis((Analisis Bahaya &amp; Risiko))           </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komitmen manajemen untuk melakukan analisis bahaya dan risiko pada semua area pabrik.</li> <li>• Komitmen manajemen dalam mengalokasikan dana dan sumber daya manusia untuk melakukan analisis bahaya dan risiko.</li> <li>• Komitmen manajemen untuk menunjuk penanggung jawab analisis bahaya dan risiko.</li> <li>• Komitmen manajemen untuk melaksanakan hasil rekomendasi dari analisis bahaya dan risiko.</li> <li>• Komitmen manajemen untuk melakukan analisis bahaya dan risiko secara berkesinambungan.</li> <li>• Komitmen manajemen untuk menetapkan prosedur analisis bahaya dan risiko</li> <li>• Komitmen manajemen untuk melibatkan pekerja dalam melakukan analisis bahaya dan risiko.</li> <li>• Komitmen pekerja untuk ikut aktif berpartisipasi dalam melakukan analisis bahaya dan risiko.</li> <li>• Komitmen pekerja untuk melaporkan setiap potensi bahaya dan risiko ditempat kerja.</li> </ul>

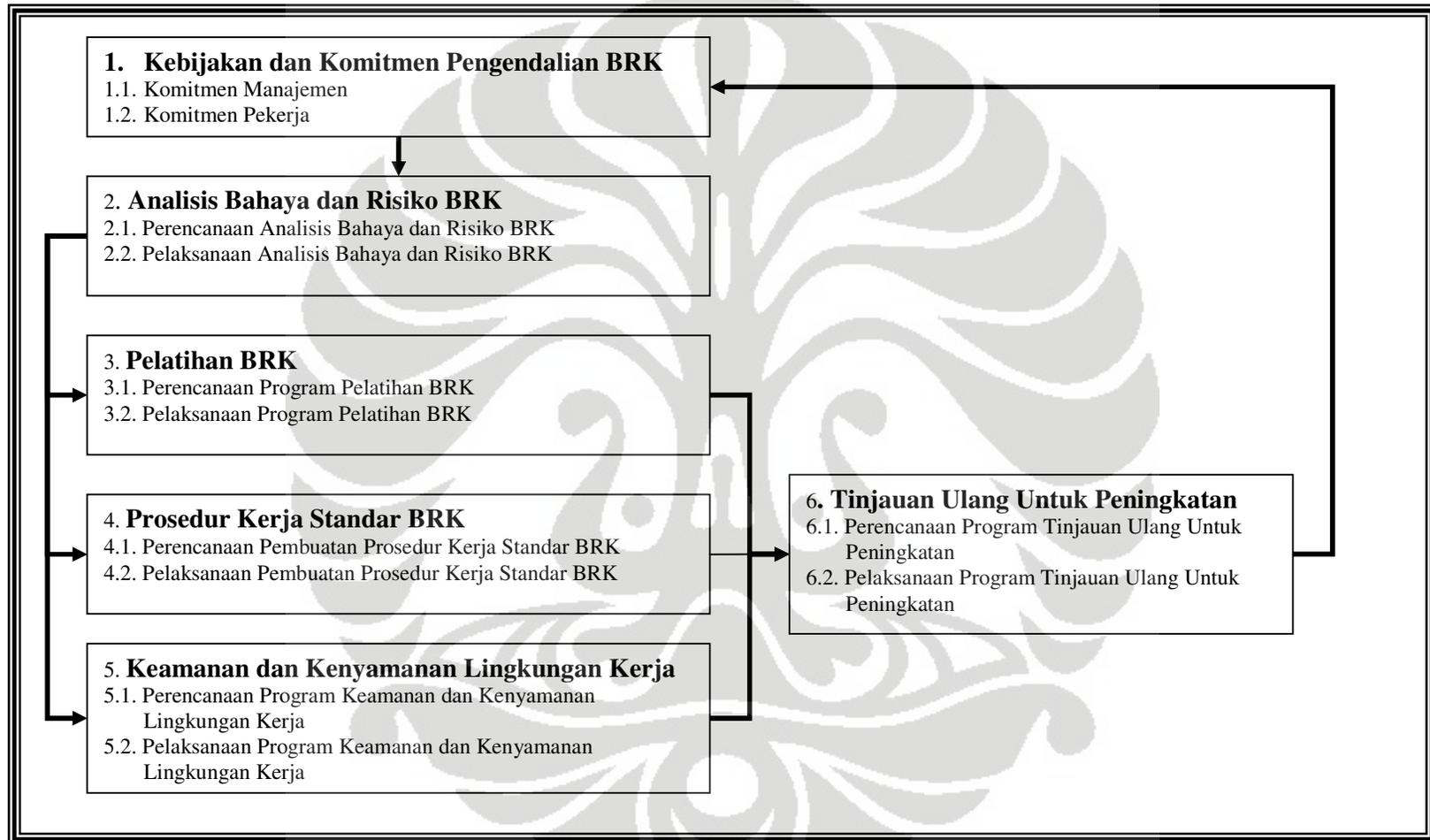
Hubungan Faktor-Faktor Penyebab BRK	Usulan Pengendalian
 <pre> graph TD     Training([Training]) --&gt; Kompetensi([Kompetensi])     Kompetensi --&gt; FaktorKesalahanPekerja([Faktor Kesalahan Pekerja])     FaktorKesalahanPekerja --&gt; KesalahanPencampuran([Kesalahan pencampuran])     FaktorKesalahanPekerja --&gt; KesalahanParameterProses([Kesalahan Parameter Proses])     KesalahanPencampuran --&gt; KetidaksempurnaanPencampuran([Ketidak-sempurnaan pencampuran])     KesalahanParameterProses --&gt; Kontaminasi([Kontaminasi]) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membuat perencanaan training atau pelatihan bagi pekerja.</li> <li>• Melakukan training bagi pekerja baru.</li> <li>• Melakukan training penyegaran minimal 1x dalam 1 tahun.</li> <li>• Melakukan training bahan kimia berbahaya</li> <li>• Melakukan training BRK</li> <li>• Melakukan training identifikasi BRK</li> <li>• Melakukan training penanganan BRK</li> <li>• Melakukan training prosedur kerja standar</li> <li>• Melakukan training proses produksi</li> <li>• Melakukan training MSDS</li> <li>• Melakukan training APD penanganan BRK</li> <li>• Melakukan training <i>Label Hazards</i></li> <li>• Melakukan training tanggap darurat BRK</li> <li>• Melakukan evaluasi setiap selesai pelaksanaan training</li> <li>• Melakukan pencatatan setiap kegiatan training</li> <li>• Materi training harus disesuaikan dengan tingkat pendidikan, kemampuan pekerja, jenis pekerjaan</li> <li>• Training harus diberikan oleh personel yang memiliki kompetensi dibidangnya.</li> <li>• Manajemen harus memberikan kesempatan pada pekerja untuk ikut serta dalam training.</li> <li>• Manajeger dan supervisor harus terlibat dalam training.</li> </ul>
 <pre> graph LR     AnalisisBahayaRisiko([Analisis Bahaya &amp; Risiko]) --&gt; SOP([Prosedur Kerja Standar (SOP)])     AnalisisBahayaRisiko --&gt; LingkunganKerja([Lingkungan Kerja]) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membuat perencanaan analisis bahaya dan risiko ditempat kerja.</li> <li>• Menetapkan personel yang bertanggung jawab melakukan analisis bahaya dan risiko</li> <li>• Melibatkan pekerja dalam melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.</li> <li>• Melakukan identifikasi bahaya semua bahan kimia yang digunakan.</li> <li>• Mengumpulkan informasi bahaya reaktifitas semua bahan kimia yang digunakan.</li> <li>• Melakukan analisis bahaya reaktifitas semua bahan kimia yang digunakan.</li> <li>• Melakukan analisis bahaya reaktifitas semua produk antara dan akhir.</li> <li>• Mengidentifikasi sumber-sumber bahaya reaktifitas kimia pada proses produksi, laboratorium dan penyimpanan.</li> <li>• Memberikan rekomendasi pengendalian bahaya reaktifitas kimia.</li> <li>• Melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia secara berkesinambungan</li> </ul>

Hubungan Faktor-Faktor Penyebab BRK	Usulan Pengendalian
<pre> graph TD     SOP([Prosedur Kerja Standar (SOP)]) --&gt; FK([Faktor Kesalahan Pekerja])     FK --&gt; KP([Kesalahan pencampuran])     FK --&gt; KPP([Kesalahan Parameter Proses])     KP --&gt; KSP([Ketidak-sempurnaan pencampuran])     KPP --&gt; K([Kontaminasi])   </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pembuatan prosedur kerja standar harus dibuat oleh personel yang memiliki kemampuan dan pengalaman yang memadai (kompeten).</li> <li>• Pembuatan prosedur kerja standar harus melibatkan pekerja yang terlibat langsung dengan proses kerja tersebut.</li> <li>• Prosedur kerja standar harus jelas dan mudah dipahami oleh pekerja yang akan menggunakannya.</li> <li>• Prosedur kerja standar dibuat berdasarkan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktivitas kimia.</li> <li>• Prosedur kerja standar yang harus dibuat adalah sebagai berikut:       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prosedur Training</li> <li>○ Prosedur Ijin Kerja</li> <li>○ Prosedur Analisis Bahaya dan Manajemen Risiko</li> <li>○ Prosedur Penanganan Bahan Kimia Berbahaya</li> <li>○ Prosedur Penanganan Tumpahan Bahan Kimia</li> <li>○ Prosedur Pengembangan Produk Baru</li> <li>○ Prosedur Perubahan Komposisi atau Modifikasi Produk</li> <li>○ Prosedur Perubahan Proses Produksi</li> <li>○ Prosedur Keadaan Darurat</li> <li>○ Prosedur Ijin Kerja Bagi Kontraktor</li> <li>○ Prosedur Penerimaan Bahan Baku (Kelengkapan dokumen)</li> <li>○ Prosedur Pengecekan Kualitas Bahan Baku (QC Incoming raw materail)</li> <li>○ Prosedur Permintaan dan Pengiriman Bahan Baku ke Produksi (BOM, Pelabelan)</li> <li>○ Prosedur Proses Produksi (WI Proses)</li> <li>○ Prosedur Sampling dan Pengecekan Kualitas Produk Antara dan Akhir</li> <li>○ Prosedur Penyimpanan Bahan Baku (Penempatan dan Pelabelan)</li> <li>○ Prosedur dan Standar Kebersihan Tangki/Vessel</li> <li>○ Prosedur Penyimpanan dan Transfer Produk Antara dan Akhir</li> <li>○ Prosedur Pelabelan Tangki Proses dan Produk Antara</li> <li>○ Prosedur dan Jadwal Perawatan / Kalibrasi Alat dan Mesin</li> </ul> </li> </ul>

Hubungan Faktor-Faktor Penyebab BRK	Usulan Pengendalian
 <pre> graph TD     A([Prosedur Kerja Standar (SOP)]) --&gt; B([Lingkungan Kerja])     B --&gt; C([Kesalahan Penyimpanan])     C --&gt; D([Kontaminasi])   </pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membuat perencanaan program keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.</li> <li>• Melibatkan pekerja dalam pembuatan program lingkungan kerja.</li> <li>• Mengalokasikan dana dan sumberdaya untuk program lingkungan kerja.</li> <li>• Program lingkungan kerja dibuat berdasarkan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.</li> <li>• Membuat prosedur dan standar kerja untuk:       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Perawatan dan kalibrasi alat</li> <li>○ Kebersihan alat-alat proses produksi</li> <li>○ Standar kebersihan alat-alat proses produksi</li> <li>○ Kebersihan area kerja</li> <li>○ Penyimpanan bahan-bahan kimia</li> <li>○ Pembuatan standar rambu K3</li> <li>○ Pembuatan label bahan kimia</li> </ul> </li> <li>• Program lingkungan kerja harus meliputi:       <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Perawatan rutin secara berkala sarana produksi serta peralatan mencakup verifikasi alat-alat pengaman.</li> <li>○ Kalibrasi alat-alat ukur secara berkala sesuai standar.</li> <li>○ Kebersihan dan kerapian lingkungan kerja.</li> <li>○ Penataan alur proses produksi yang efektif dan efisien untuk mengurangi potensi kesalahan pencampuran, kontaminasi dan kesalahan penyimpanan</li> <li>○ Sistem kontrol terhadap bahan baku yang lama dan baru harus diterapkan secara baik untuk menghindari bahan baku kadaluarsa.</li> <li>○ Penempatan rambu-rambu K3 dan <i>marking line</i> untuk meningkat kewaspadaan pekerja.</li> <li>○ Sistem pengendalian bahaya dengan <i>engineering control</i>.</li> <li>○ Sistem perlindungan dengan menggunakan alat pelindung diri yang sesuai.</li> </ul> </li> <li>• Setiap perubahan pada sarana dan peralatan produksi harus disetujui oleh manajer atau supervisor yang bertanggung jawab.</li> </ul>

Dari respesifikasi model struktural penyebab BRK II diketahui bahwa hanya ada dua variabel laten yang berpengaruh langsung terhadap pemicu terjadinya BRK yaitu variabel kesalahan pekerja dan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja. Variabel keesalahan pekerja mempengaruhi terjadinya kesalahan pencampuran dan kesalahan proses. Variabel lingkungan kerja berpengaruh terhadap kesalahan penyimpanan. Sementara terjadinya kontaminasi dan ketidak sempurnaan pencampuran dipengaruhi oleh kesalahan pencampuran dan lingkungan kerja. Maka fokus pengendalian BRK pada industri kimia hilir adalah pada pengurangan kesalahan yang disebabkan oleh faktor pekerja dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.

Respesifikasi model struktural penyebab BRK II menunjukkan bahwa faktor kesalahan pekerja dipengaruhi oleh variabel laten lain baik langsung maupun tidak langsung, hal sama juga terjadi pada faktor lingkungan kerja. Variabel laten yang langsung mempengaruhi faktor kesalahan pekerja adalah kompetensi pekerja dan prosedur kerja standar (SOP). Sementara kompetensi pekerja dipengaruhi oleh training dan SOP dipengaruhi oleh analisis risiko. Variabel laten yang langsung mempengaruhi lingkungan kerja adalah analisis risiko dan SOP. Analisis risiko dan training dipengaruhi secara langsung oleh komitmen K3. Berdasarkan hubungan-hubungan antara variabel laten pada respesifikasi model struktural penyebab BRK II, dan hasil kajian kualitatif pengendalian pada tabel 5.31 maka peneliti mengusulkan pengendalian potensi BRK pada industri kimia hilir seperti pada Gambar 5.14. Sistem pengendalian BRK secara utuh yang diusulkan dari hasil penelitian ini dan diyakini dapat menurunkan terjadinya kecelakaan BRK pada industri kimia di Indonesia dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 5.14. Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir

## **SISTEM PENGENDALIAN BAHAYA REAKTIFITAS KIMIA PADA INDUSTRI KIMIA HILIR**

### **1. KOMITMEN DAN KEBIJAKAN**

#### **1.1. Komitmen Manajemen**

Manajemen perusahaan harus menunjukkan komitmen terhadap pengendalian bahaya reaktifitas kimia dengan menyediakan sumber daya yang memadai untuk melaksanakan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia dan pelaksanaan pelatihan bagi pekerja tentang bahaya reaktifitas kimia. Manajemen perusahaan harus mewujudkan komitmen pengendalian bahaya reaktifitas kimia dalam bentuk:

- a. Mengkomunikasikan kebijakan pengendalian bahaya reaktifitas kimia perusahaan kepada seluruh pekerja dan pihak-pihak terkait.
- b. Menetapkan personel yang bertanggung jawab dalam program pengendalian bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja.
- c. Menyediakan anggaran, tenaga kerja berkualitas dan sarana-sarana lain yang diperlukan dalam pengendalian bahaya reaktifitas kimia.
- d. Melaksanakan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia ditempat kerja.
- e. Melaksanakan tindak lanjut hasil rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia ditempat kerja.
- f. Melaksanakan pelatihan bahaya reaktifitas kimia kepada seluruh pekerja yang menangani bahan kimia ditempat kerja, dan melakukan evaluasi terhadap efektifitas dari pelatihan bahaya reaktifitas kimia yang dilakukan.

#### **1.2. Komitmen Pekerja**

Pekerja harus menunjukkan komitmen terhadap pengendalian bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja dengan ikut berpartisipasi aktif dalam melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia dan pelaksanaan pelatihan tentang bahaya reaktifitas kimia. Komitmen pekerja terhadap pengendalian bahaya reaktifitas kimia harus diwujudkan dalam bentuk:

- a. Berpartisipasi aktif dalam melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia ditempat kerja.
- b. Melaksanakan semua hasil rekomendasi analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia ditempat kerja.
- c. Berpartisipasi aktif dalam pelaksanaan pelatihan bahaya reaktifitas kimia.
- d. Melaksanakan prosedur kerja standar secara baik.

Komitmen Manajemen ini dapat dituangkan dalam bentuk kebijakan tertulis dan ditanda tangani oleh manajemen perusahaan.

### **2. ANALISIS BAHAYA DAN RISIKO REAKTIFITAS KIMIA**

#### **2.1. Perencanaan Analisis Bahaya dan Risiko Reaktifitas Kimia**

Perusahaan harus membuat perencanaan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia yang efektif guna menetapkan keberhasilan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia ditempat kerja dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia meliputi:

- a. Menetapkan tujuan dan sasaran analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- b. Menetapkan personel yang kompeten untuk melaksanakan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- c. Menetapkan sarana dan jangka waktu pelaksanaan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- d. Menetapkan ruang lingkup pelaksanaan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.

## 2.2. Pelaksanaan Analisis Bahaya dan Risiko Reaktifitas Kimia.

Analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia merupakan hal yang paling penting dalam pengendalian bahaya reaktifitas kimia. Pelaksanaan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia harus meliputi hal-hal berikut ini guna mencapai pengendalian yang optimal terhadap bahaya reaktifitas kimia:

- a. Analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia harus dilakukan oleh personel yang sudah mendapatkan pelatihan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- b. Melibatkan pekerja dalam melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- c. Melakukan identifikasi bahaya semua bahan kimia yang digunakan.
- d. Mengumpulkan informasi bahaya reaktifitas semua bahan kimia yang digunakan.
- e. Melakukan analisis bahaya reaktifitas semua bahan kimia yang digunakan.
- f. Melakukan analisis bahaya reaktifitas semua produk antara dan akhir.
- g. Mengidentifikasi sumber-sumber bahaya reaktifitas kimia pada proses produksi, laboratorium dan penyimpanan.
- h. Memberikan rekomendasi pengendalian bahaya reaktifitas kimia.
- i. Melakukan analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia secara berkala untuk menjamin agar tetap relevan dan efektif.

## 3. PELATIHAN BAHAYA REAKTIFITAS KIMIA

### 3.1. Perencanaan Pelatihan Bahaya Reaktifitas Kimia

Perusahaan harus membuat perencanaan pelatihan bahaya reaktifitas kimia yang efektif guna menetapkan keberhasilan pelatihan bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan pelatihan bahaya reaktifitas kimia meliputi:

- a. Menetapkan tujuan dan sasaran pelatihan bahaya reaktifitas kimia.
- b. Menetapkan personel yang bertanggung jawab untuk melaksanakan pelatihan bahaya reaktifitas kimia.
- c. Menetapkan sarana dan jangka waktu pelaksanaan pelatihan dan pelatihan penyegaran bahaya reaktifitas kimia.
- d. Menetapkan ruang lingkup materi pelatihan bahaya reaktifitas kimia sesuai dengan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- e. Membuat materi pelatihan sesuai dengan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.

### 3.2. Pelaksanaan Pelatihan Bahaya Reaktifitas Kimia.

Pelatihan bahaya reaktifitas kimia merupakan hal yang sangat penting dalam upaya mengendalikan bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja. Pelaksanaan pelatihan bahaya reaktifitas kimia harus meliputi hal-hal berikut ini guna mencapai pengendalian yang optimal terhadap bahaya reaktifitas kimia:

- a. Pelatihan harus diberikan oleh personel yang berkompeten untuk memberikan pelatihan bahaya reaktifitas kimia.
- b. Pelatihan bahaya reaktifitas kimia harus disesuaikan dengan jabatan, area tanggung jawab, tingkat kemampuan dan keahlian pekerja.
- c. Pelatihan bahaya reaktifitas kimia harus diberikan kepada semua pekerja produksi, laboratorium, enjinerling dan gudang termasuk pekerja baru dan pindahan agar mereka dapat melaksanakan pekerjaannya secara aman dari bahaya reaktifitas kimia.
- d. Materi pelatihan yang harus diberikan adalah sebagai berikut:
  - i. Lembar Data Keselamatan Bahan dan Label
  - ii. Bahaya Bahan Kimia dan Penanganannya
  - iii. Bahaya Reaktifitas Kimia dan Penanganannya
  - iv. Penilaian dan Pengendalian Risiko Bahaya Reaktifitas Kimia
  - v. Prosedur Kerja dengan Bahan Kimia Reaktif
  - vi. Penyimpanan dan Penanganan Bahan Kimia Reaktif
  - vii. Penanganan Kebocoran dan Tumpahan Bahan Kimia Reaktif
  - viii. Alat Pelindung Diri Bekerja dengan Bahan Kimia Reaktif
  - ix. Rencana dan Prosedur Tanggap Darurat Bahaya Reaktifitas Kimia
- e. Evaluasi harus dilakukan pada setiap sesi pelatihan untuk menjamin peningkatan secara berkelanjutan.
- f. Perusahaan harus mendokumentasikan dan menyimpan catatan setiap pelatihan.
- g. Program dan materi pelatihan harus ditinjau ulang secara teratur untuk menjamin agar tetap relevan dan efektif.

#### 4. PROSEDUR KERJA STANDAR

##### 4.1. Perencanaan Pembuatan Prosedur Kerja Standar

Perusahaan harus membuat perencanaan pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia yang efektif guna menetapkan keberhasilan pelaksanaan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia meliputi:

- a. Menetapkan tujuan dan sasaran pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia.
- b. Menetapkan personel yang bertanggung jawab untuk melaksanakan pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia.
- c. Menetapkan sarana dan jangka waktu pelaksanaan pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia.
- d. Menetapkan ruang lingkup prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia sesuai dengan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.

##### 4.2. Pelaksanaan Pembuatan Prosedur Kerja Standar

Pembuatan prosedur kerja standar adalah untuk memastikan bahwa proses pekerjaan dilakukan secara konsisten. Pelaksanaan pembuatan prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia harus meliputi hal-hal berikut ini guna mencapai pengendalian yang optimal terhadap bahaya reaktifitas kimia:

- a. Pembuatan prosedur kerja standar harus dilakukan oleh personel yang memiliki kemampuan dan pengalaman yang memadai (kompeten).
- b. Pembuatan prosedur kerja standar sebaiknya melibatkan pekerja yang terlibat langsung dengan proses kerja tersebut.
- c. Prosedur kerja standar harus dibuat sederhana, jelas dan mudah dipahami oleh pekerja yang akan menggunakannya.
- d. Prosedur kerja standar harus disetujui oleh manajer atau supervisor yang bertanggung jawab.
- e. Prosedur kerja standar dibuat berdasarkan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- f. Prosedur kerja standar yang harus dibuat adalah sebagai berikut:
  - i. Prosedur Training
  - ii. Prosedur Ijin Kerja
  - iii. Prosedur Analisis Bahaya dan Manajemen Risiko
  - iv. Prosedur Penanganan Bahan Kimia Berbahaya
  - v. Prosedur Penanganan Tumpahan Bahan Kimia
  - vi. Prosedur Pengembangan Produk Baru
  - vii. Prosedur Perubahan Komposisi atau Modifikasi Produk
  - viii. Prosedur Perubahan Proses Produksi
  - ix. Prosedur Keadaan Darurat
  - x. Prosedur Ijin Kerja Bagi Kontraktor
  - xi. Prosedur Penerimaan Bahan Baku (Kelengkapan dokumen)
  - xii. Prosedur Pengecekan Kualitas Bahan Baku (QC Incoming raw materail)
  - xiii. Prosedur Permintaan dan Pengiriman Bahan Baku ke Produksi (BOM, Pelabelan)
  - xiv. Prosedur Proses Produksi (WI Proses)
  - xv. Prosedur Sampling dan Pengecekan Kualitas Produk Antara dan Akhir
  - xvi. Prosedur Penyimpanan Bahan Baku (Penempatan dan Pelabelan)
  - xvii. Prosedur dan Standar Kebersihan Tangki/Vessel
  - xviii. Prosedur Penyimpanan dan Transfer Produk Antara dan Akhir
  - xix. Prosedur Pelabelan Tangki Proses dan Produk Antara
  - xx. Prosedur dan Jadwal Perawatan / Kalibrasi Alat dan Mesin
- g. Prosedur kerja standar harus ditinjau ulang secara teratur untuk menjamin agar tetap relevan dan efektif.

## 5. KEAMANAN DAN KENYAMANAN LINGKUNGAN KERJA

### 5.1. Perencanaan Program Keamanan dan Kenyamanan Lingkungan Kerja

Perusahaan harus membuat perencanaan program perbaikan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja yang efektif guna menetapkan keberhasilan pelaksanaan program peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja meliputi:

- a. Menetapkan tujuan dan sasaran program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.

- b. Menetapkan personel yang bertanggung jawab untuk melaksanakan program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.
- c. Menetapkan sarana dan jangka waktu pelaksanaan program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.
- d. Melibatkan pekerja dalam perencanaan program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.
- e. Menetapkan ruang lingkup program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja sesuai dengan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.

#### 5.2. Pelaksanaan Program Keamanan dan Kenyamanan Lingkungan Kerja

Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja harus dipelihara dan ditingkatkan untuk menghindari terjadinya bahaya reaktifitas kimia ditempat kerja. Pelaksanaan program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja harus meliputi hal-hal berikut ini guna mencapai pengendalian yang optimal terhadap bahaya reaktifitas kimia:

- a. Program perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dibuat berdasarkan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
- b. Pelaksanaan perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja harus dilakukan oleh personel yang kompeten.
- c. Perbaikan dan peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja harus meliputi:
  - i. Perawatan rutin secara berkala sarana produksi serta peralatan mencakup verifikasi alat-alat pengaman.
  - ii. Kalibrasi alat-alat ukur secara berkala sesuai standar.
  - iii. Kebersihan dan kerapian lingkungan kerja.
  - iv. Penataan alur proses produksi yang efektif dan efisien untuk mengurangi potensi kesalahan pencampuran, kontaminasi dan kesalahan penyimpanan
  - v. Sistem kontrol terhadap bahan baku yang lama dan baru harus diterapkan secara baik untuk menghindari bahan baku kadaluarsa.
  - vi. Penempatan rambu-rambu K3 dan *marking line* untuk meningkatkan kewaspadaan pekerja.
  - vii. Sistem pengendalian bahaya dengan *engineering control*.
  - viii. Sistem perlindungan dengan menggunakan alat pelindung diri yang sesuai.
- d. Setiap perubahan pada sarana dan peralatan produksi harus disetujui oleh manajer atau supervisor yang bertanggung jawab.
- e. Program perbaikan dan peningkatan lingkungan kerja harus dilakukan secara terus menerus untuk memastikan lingkungan kerja selalu dalam keadaan aman dan nyaman.

## 6. TINJAUAN ULANG UNTUK PENINGKATAN

### 6.1. Perencanaan Tinjauan Ulang Untuk Peningkatan

Perusahaan harus membuat perencanaan tinjauan ulang untuk peningkatan yang efektif guna menetapkan keberhasilan pelaksanaan tinjauan ulang untuk peningkatan dengan sasaran yang jelas dan dapat diukur. Perencanaan tinjauan ulang untuk peningkatan meliputi:

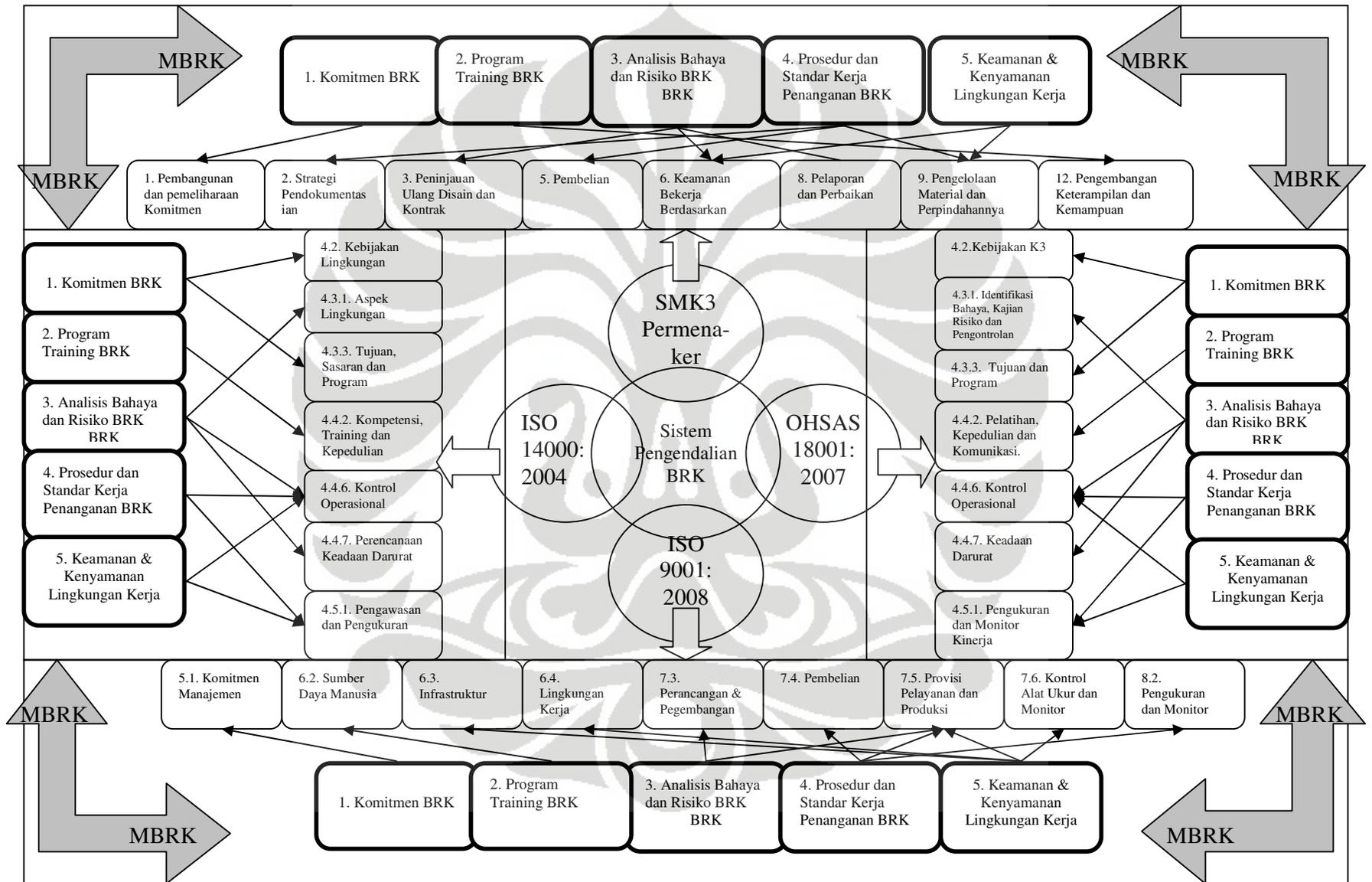
- a. Menetapkan tujuan dan sasaran tinjauan ulang untuk peningkatan.
- b. Menetapkan personel yang bertanggung jawab untuk melaksanakan tinjauan ulang untuk peningkatan.
- c. Menetapkan sarana dan jangka waktu pelaksanaan tinjauan ulang untuk peningkatan.
- d. Melibatkan pekerja dalam perencanaan tinjauan ulang untuk peningkatan.
- e. Menetapkan ruang lingkup tinjauan ulang untuk peningkatan.

#### 6.2. Pelaksanaan Tinjauan Ulang Untuk Peningkatan

Tinjauan ulang untuk perbaikan dilakukan untuk memeriksa kesesuaian kegiatan perencanaan dan untuk menentukan apakah kegiatan tersebut efektif. Tinjauan ulang untuk perbaikan harus meliputi hal-hal berikut ini guna mencapai pengendalian yang optimal terhadap bahaya reaktifitas kimia:

- a. Tinjauan ulang untuk peningkatan harus dilakukan oleh personel yang kompeten dan sudah mendapatkan pelatihan tinjauan ulang.
- b. Laporan tinjauan ulang untuk peningkatan harus didistribusikan kepada manajemen dan petugas lain yang berkepentingan.
- c. Melibatkan pekerja dalam kegiatan tinjauan ulang untuk peningkatan.
- d. Memastikan bahwa rekomendasi hasil tinjauan ulang telah dilaksanakan.
- e. Tinjauan ulang untuk peningkatan harus meliputi:
  - i. Tinjauan ulang komitmen bahaya reaktifitas kimia.
  - ii. Tinjauan ulang analisis bahaya dan risiko reaktifitas kimia.
  - iii. Tinjauan ulang pelatihan bahaya reaktifitas kimia
  - iv. Tinjauan ulang prosedur kerja standar bahaya reaktifitas kimia
  - v. Tinjauan ulang keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.
- f. Tinjauan ulang untuk peningkatan harus dilakukan minimal dua kali dalam satu tahun untuk menjamin sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia tetap relevan dan efektif.

Sistem pengendalian BRK ini dapat diterapkan secara mandiri atau diintegrasikan dengan sistem manajemen baku yang sudah ada. Penerapan sistem manajemen secara terintegrasi akan menghasilkan pengendalian yang lebih optimal. Sistem pengendalian yang diusulkan ini dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen standar ISO 9001, ISO 14000, OHSAS 18001 dan SMK3 Permenaker. Gambar 5.15 memperlihatkan hubungan integrasi yang dapat dilakukan dari sistem pengendalian BRK yang dikembangkan dengan masing-masing sistem manajemen standar tersebut.



Gambar 5.15. Sistem Pengendalian BRK Terintegrasi dengan ISO 9001, ISO 14000, OHSAS 18001 dan SMK3

**A. Integrasi sistem pengendalian BRK dengan sistem manajemen standar ISO 9001:2008:**

1. Komitmen pengendalian BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 5.1 (Komitmen K3).
2. Program training BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 6.2 (Sumber Daya Manusia).
3. Analisis bahaya dan risiko BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 7.3 (Perancangan & Pengembangan) dan elemen 7.5 (Provisi & Pelayanan Produksi).
4. Prosedur dan standar kerja BRK dapat diintegrasikan kedalam beberapa elemen, yaitu: 7.4 (Pembelian), 7.5 (Provisi & Pelayanan Produksi) dan 8.2 (Pengukuran dan Monitor).
5. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dapat diintegrasikan kedalam beberapa elemen, yaitu: 6.3 (Infrastruktur), 6.4 (Lingkungan Kerja), 7.5 (Provisi & Pelayanan Produksi) dan 7.6 (Kontrol Alat Ukur dan Monitor).

**B. Integrasi sistem pengendalian BRK dengan sistem manajemen standar ISO 14000:2004:**

1. Komitmen pengendalian BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.2 (Kebijakan Lingkungan) dan elemen 4.3.3. ( Tujuan, Sasaran dan Program).
2. Program training BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.4.2 (Kompetensi, Training dan Kepedulian).
3. Analisis Bahaya dan Risiko BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.3.1 (Aspek Lingkungan), 4.4.6 (Kontrol Operasional), 4.4.7 (Perencanaan Keadaan Darurat).
4. Prosedur dan standar kerja pengendalian BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.4.6 (Kontrol Operasional) dan 4.5.1 (Pengawasan dan Pengukuran).
5. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.4.6 (Kontrol Operasional) dan 4.5.1 (Pengawasan dan Pengukuran).

### **C. Integrasi sistem pengendalian BRK dengan sistem manajemen standar OHSAS 18001:2007.**

1. Komitmen manajemen terhadap pengendalian BRK dapat dimasukkan kedalam elemen 4.2. (Kebijakan K3) dan 4.3.3. (Tujuan). Komitmen pengendalian BRK juga dapat ditunjukkan dengan memasukkan program pengendalian BRK kedalam program dan target K3. Komitmen juga dapat ditunjukkan dengan mengalokasikan tanggung jawab pengendalian kedalam struktur organisasi K3. Dan komunikasi komitmen BRK dapat diintegrasikan dengan elemen komunikasi dan konsultasi.
2. Program dan training BRK dapat diintegrasikan kedalam 4.4.2. (Pelatihan, Kepedulian dan Komunikasi).
3. Analisis bahaya dan risiko BRK dapat diintegrasikan dengan elemen 4.3.1. (Identifikasi Bahaya, Kajian Risiko dan Pengontrolan), 4.4.6 (Kontrol Operasional) dan 4.4.7 (Keadaan Darurat).
4. Prosedur dan standar kerja penanganan BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.4.6 (Kontrol Operasional) dan 4.5.1. (Pengukuran dan Monitor Kinerja).
5. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dapat diintegrasikan kedalam elemen 4.4.6 (Kontrol Operasional) dan 4.5.1 (Pengukuran dan Monitor Kinerja).

### **D. Integrasi sistem pengendalian BRK dengan sistem manajemen standar SMK3 Permenaker:**

1. Komitmen pengendalian BRK dapat diintegrasikan dengan elemen 1 (Pembangunan dan Pemeliharaan Komitmen).
2. Program training BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 12 (Pengembangan Keterampilan dan Kemampuan).
3. Analisis bahaya dan risiko BRK dapat diintegrasikan kedalam elemen 3 (Peninjauan Ulang Disain dan Kontrak), 6 (Keamanan Bekerja Berdasarkan SMK3) dan 8 (Pelaporan dan Perbaikan).
4. Prosedur dan standar kerja BRK dapat diintegrasikan kedalam beberapa elemen, yaitu: 2 (Strategi Pendokumentasian), 5 (Pembelian) dan 9 (Pengelolaan Material dan Perpindahannya).

5. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dapat diintegrasikan kedalam elemen 6 (Keamanan Bekerja Berdasarkan SMK3) dan 9 (Pengelolaan Material dan Perpindahannya).



## **BAB 6** **PEMBAHASAN**

### **6.1. Keterbatasan Penelitian**

Kajian tingkat bahaya dan risiko bahaya reaktifitas kimia dilakukan dengan metoda kajian berlapis dan kemudian dilanjutkan dengan kajian penyebab terjadinya bahaya reaktifitas kimia dengan metoda kajian simultan. Data yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data dan informasi bahan kimia dan produk, keterbukaan pihak perusahaan dalam memberikan informasi secara lengkap dan pemahaman responden terhadap pertanyaan yang terdapat dalam kuosioner. Penelitian ini mengkaji potensi terjadinya bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir di Indonesia. Potensi bahaya reaktifitas kimia yang dimaksud adalah potensi terjadinya reaksi antara dua atau lebih bahan kimia yang tidak terkendali sehingga dapat mengakibatkan terjadinya ledakan, kebakaran dan pelepasan gas beracun. Penelitian dilakukan pada tiga perusahaan industri kimia hilir dengan empat jenis proses yaitu proses pembuatan resin, proses pembuatan cat, proses pembuatan kosmetik dan kosmetika dan proses pembuatan herbisida.

Ketiga perusahaan telah memberikan komitmen yang baik dalam memberikan informasi yang dibutuhkan terutama jenis bahan baku dan komposisi bahan baku dalam produk yang dihasilkan. Namun ketersediaan dan kelengkapan informasi mengenai bahaya dan keselamatan bahan baku (Lembar Data Keselamatan Bahan) sangatlah kurang. Ditemukan banyak sekali bahan baku yang tidak memiliki LDKB atau MSDS, padahal hal ini sangat penting untuk mengetahui sifat bahaya dari suatu bahan baku termasuk bahaya reaktifitas kimia. Ditemukan juga banyak sekali LDKB yang tidak sesuai dengan peraturan yang dikeluarkan oleh departemen perindustrian nomor 87/M-IND/PER/9/2009, dimana LDKB harus mengandung 16 aspek informasi sesuai dengan Global Harmonize System (GHS) yang mulai diterapkan pada tahun 2010. Kekurangan dan ketidak lengkapan LDKB/MSDS sebagian besar terdapat pada bahan baku yang berasal dari pemasok lokal. Dari hasil kajian bahaya

bahan baku, jumlah bahan baku yang tidak diketahui indeks bahayanya adalah 51% dari total bahan baku yang masuk dalam kajian ini dari tiga perusahaan tersebut.

Ketidak lengkapan informasi yang diperoleh dari LDKB berdampak pada pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak CRW 2 untuk kajian bahaya reaktifitas kimia bahan baku tersebut. Hal ini dapat dilihat bahwa jumlah pasangan bahan baku yang tidak dapat diketahui indeks bahaya reaktifitas kimianya berjumlah 97%. Hanya sebagian kecil pasangan bahan kimia yang dapat diketahui potensi bahaya reaktifitasnya (3%). Sebagian besar disebabkan oleh ketidak tersedian nama UPAC atau CAS *number* dari bahan baku yang digunakan sehingga tidak bisa diolah dengan program perangkat lunak CRW 2. Sebagian besar bahan kimia yang tidak diketahui indeks bahaya reaktifitasnya adalah berupa bahan kimia pewarna (pigmen), bahan kimia pewangi (fragrance) dan bahan kimia aditif. Pada umumnya bahan kimia ini bersifat stabil dan tidak bereaksi dengan bahan kimia lain. Dan bahan kimia ini juga digunakan dalam jumlah yang sangat kecil (0,1% - 5,0%). Sementara bahan kimia yang diketahui indeks bahaya reaktifitasnya adalah bahan kimia utama seperti solvent, surfactant, binder dan ingridien aktif. Bahan kimia ini digunakan dalam jumlah yang besar (30% - 95%).

Kuisioner dikembangkan sendiri oleh peneliti berdasarkan hasil kajian kualitatif dengan metode KJ *Analysis* dan didukung dengan teori dari berbagai literatur. Karena yang diukur adalah faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya potensi bahaya reaktifitas kimia, maka pertanyaan yang diajukan dalam kuisioner cukup banyak. Terdapat 64 pertanyaan tertutup ditambah 3 pertanyaan terbuka dan beberapa pertanyaan demografi. Pertanyaan yang diajukan meliputi pengetahuan bahaya bahan kimia, training, komitmen K3, kesalahan pekerja, keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja, analisis risiko, kesalahan pencampuran, kesalahan parameter proses, kontaminasi, ketidak sempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan. Rata-rata kuisioner ini membutuhkan waktu 30-45 menit untuk menjawab semua pertanyaan. Hal ini tentu saja membutuhkan kesabaran dan konsentrasi yang baik untuk menjawab pertanyaan secara tepat. Umumnya pekerja mengisi kuisioner pada waktu istirahat atau setelah jam kerja, tidak menutup kemungkinan bahwa pekerja dalam kondisi lelah atau stress, sehingga tidak dapat berkonsentrasi dengan baik untuk memahami pertanyaan yang diberikan, akibatnya jawaban yang diberikan tidak akurat.

Dari jumlah kuisioner yang dikembalikan dapat disimpulkan bahwa sebagian besar responden bersedia untuk memberikan jawabannya, jumlah kuisioner yang dikembalikan adalah 94.5%. Namun dalam jawaban yang diberikan ditemukan beberapa responden yang memberikan jawaban nol (0) atau tidak tahu, terutama pada pertanyaan yang menyangkut dengan kesalahan pencampuran, kesalahan parameter proses, kontaminasi, ketidak sempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan. Ada beberapa faktor yang dapat menyebabkan pekerja memberikan jawaban nol untuk pertanyaan tersebut, yaitu:

1. Pekerja tidak memahami isi pertanyaan yang diberikan.
2. Pertanyaan yang diberikan tidak relevan dengan proses produksi yang mereka miliki.
3. Pekerja kurang memahami proses produksi.
4. Pekerja tidak pernah mengalami kejadian yang ditanyakan.
5. Kejadian yang ditanyakan sangat jarang terjadi sehingga pekerja sudah lupa.
6. Pekerja enggan untuk memberikan jawaban yang sebenarnya sehingga memilih untuk menjawab tidak tahu.

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini sudah memenuhi standar secara keseluruhan. Namun jika dilihat satu persatu dari pertanyaan yang diberikan masih terdapat beberapa pertanyaan yang memiliki *error variance* yang cukup tinggi, seperti pertanyaan 1 - 4 (training K3 bahan kimia) memiliki *error variance* 1,85 – 3,25 dan nilai faktor determinan  $R^2$  yang sangat kecil 0,01-0,04. Asfahl C.R (1990) mengatakan bahwa training K3 merupakan program yang sangat penting dalam menurunkan perilaku atau tindakan tidak aman dari pekerja sehingga dapat mengurangi kecenderungan terjadinya kecelakaan. Apabila pekerja mengetahui dan memahami dengan baik proses pekerjaan yang dilakukan, peralatan yang digunakan, bahan kimia yang digunakan dan dampak atau risiko yang dapat terjadi jika ada kesalahan maka pekerja akan melakukan pekerjaannya lebih baik dan hati-hati sesuai tingkat pengetahuan mereka. Penelitian ini mengukur apakah training K3 yang diberikan meliputi aspek-aspek keselamatan bahan kimia seperti MSDS/LDKB, penanganan tumpahan bahan kimia, bahaya reaktifitas kimia, simbol bahan kimia dan sebagainya. Karena aspek-aspek tersebut sangat penting, maka pertanyaan 1 - 4 tidak dikeluarkan atau dihilangkan dalam penelitian ini.

## 6.2. Bahaya Bahan Kimia Pada Industri Kimia Hilir

Bahaya bahan kimia yang dimaksud dalam penelitian ini adalah bahaya yang disebabkan oleh sifat intrinsik dari bahan kimia tersebut, seperti mudah terbakar, beracun, mudah meledak, reaktif dan korosif. Industri kimia hilir seperti industri cat, kosmetik/kosmetika dan herbisida dimana penelitian ini dilakukan memiliki jenis bahan kimia yang cukup banyak. Industri cat (PT XYZ) memiliki lebih dari 400 jenis bahan kimia, industri kosmetik/kosmetika (PT PQR) memiliki jenis bahan kimia lebih dari 200 jenis dan industri herbisida (PT CDF) memiliki jenis bahan kimia lebih dari 20 jenis. Meskipun demikian kuantitas dari bahan kimia yang digunakan atau disimpan tidak begitu besar, hal ini dapat dilihat dari kapasitas produksi yang berkisar antara 1 – 5 ton per batch. Dari data yang diperoleh dilapangan, kuantitas bahan kimia yang digunakan atau disimpan berkisar antara 1 kg sampai dengan 20 ton. Jika dibandingkan dengan industri kimia hulu dengan proses kontinu menyimpan bahan kimia hingga ratusan ton, maka jumlah bahan kimia pada industri kimia hilir cukup kecil. Besarnya jumlah bahan kimia yang digunakan dan disimpan akan berdampak pada besarnya risiko jika terjadi kecelakaan seperti kebakaran, ledakan dan pelepasan gas beracun. Makin besar kuantitas bahan kimia yang disimpan atau digunakan maka makin besar risiko yang dapat terjadi. Maka salah satu metoda yang disarankan dalam sistem *Inherently Safer Chemical Process* (Bollinger et.al, 1996) adalah mengurangi jumlah bahan kimia yang disimpan atau digunakan sampai pada tingkat yang optimal. Sebagai contoh ilustrasi adalah sebagai berikut: ” Jika waktu yang dibutuhkan untuk mendatangkan bahan baku Toluene dari pemasok (*lead time delivery*) adalah 2 minggu sejak *purchase order* (PO) dikirim, dan kebutuhan produksi untuk Toluene adalah 5 ton untuk satu minggu, maka maksimum Toluene yang disimpan untuk produksi adalah 10-13 ton. Jadi jumlah Toluene yang disimpan digudang sesuai dengan kebutuhan produksi dan maksimal 30% diatas kebutuhan produksi sebagai antisipasi keterlambatan pengiriman dari pemasok”. Dengan mengurangi jumlah stok bahan kimia di gudang penyimpanan, berarti kita sudah mengurangi risiko bahaya kimia ditempat kerja.

Besarnya jumlah jenis bahan kimia yang terdapat pada industri kimia hilir berdampak pada makin banyak jenis bahaya yang mungkin dapat terjadi meskipun skala dampak risiko tersebut tidak begitu besar, namun dapat menjadi besar jika terjadi efek domino. Teknologi keselamatan yang dibutuhkan untuk menangani bahan

kimia dengan kuantitas kecil tentu saja tidak sama dengan teknologi keselamatan dengan kuantitas besar seperti pada industri kimia hulu. Pada umumnya industri kimia hulu menerapkan teknologi keselamatan yang sangat tinggi (standar yang maksimum), namun untuk industri kimia hilir dengan kuantitas bahan kimia yang kecil tidak harus menerapkan teknologi keselamatan yang tinggi seperti industri kimia hulu. Dari hasil kajian bahaya bahan kimia yang dilakukan, peneliti berpendapat bahwa untuk mengelola bahan kimia dengan kuantitas kecil dan jenis yang banyak dapat dilakukan dengan menerapkan sistem manajemen pengelolaan bahan kimia yang baik dan teknologi keselamatan pada standar yang minimum. Sistem manajemen pengelolaan bahan kimia yang dimaksud disini adalah sistem yang mengatur aliran bahan kimia mulai dari pemasok, masuk ke gudang penyimpanan, pengaturan penyimpanan bahan kimia, pengiriman ke bagian produksi sesuai dengan permintaan (*Bill of Material*), penanganan sisa bahan kimia, pengaturan produk antara (*intermediate*), dan pengiriman dan penyimpanan produk akhir. Setiap tahapan tersebut harus diatur secara baik dan sistematis dalam suatu prosedur kerja standar (SOP) dan sistem kontrol yang baik. Satu hal yang sangat penting adalah mengetahui secara baik jenis bahaya bahan kimia dan cara penanganannya pada setiap tahapan proses yang dilakukan.

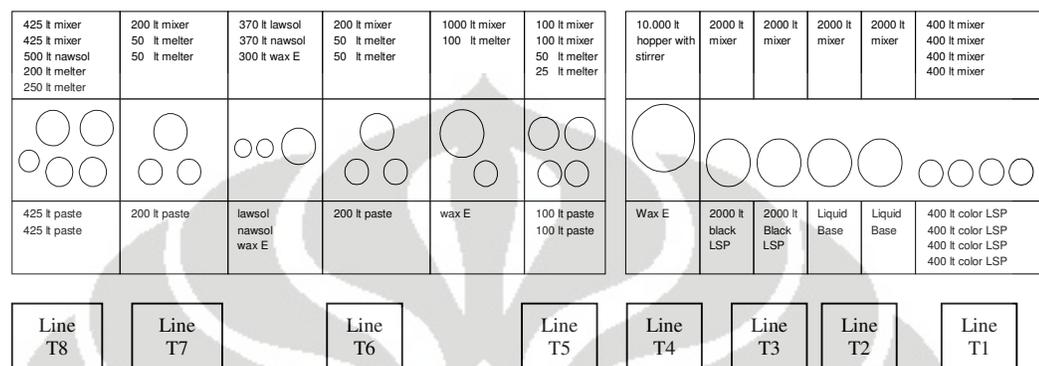
### **6.3. Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir**

Kajian bahaya reaktifitas kimia yang dilakukan pada penelitian ini didahului dengan melakukan *preliminary screening* bahaya reaktifitas kimia dengan menjawab 12 pertanyaan. Dari hasil *preliminary screening* dapat disimpulkan terdapat potensi bahaya reaktifitas kimia pada ketiga industri kimia tempat penelitian dilakukan. Untuk menjawab kedua belas pertanyaan diperlukan diskusi dan observasi lapangan, ketepatan dan keakuratan jawaban sangat tergantung dari informasi yang diberikan dan data yang diperoleh di lapangan. Ketiga industri memberikan jawaban dan kesempatan secara terbuka kepada peneliti untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk menjawab kedua belas pertanyaan yang ada dalam *checklist preliminary screening*. Ceklist ini sangat efektif untuk mengetahui adanya potensi bahaya reaktifitas pada suatu proses industri, namun belum dapat ditentukan jenis dan tingkat bahaya reaktifitas kimia yang dapat terjadi sehingga diperlukan kajian lebih jauh terhadap potensi tersebut.

Kajian bahaya reaktifitas yang dilakukan meliputi kajian bahaya reaktifitas bahan baku kimia dan kajian produk antara dan akhir. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan program perangkat lunak CRW 2 dari NOAA. Estimasi potensi bahaya yang dihasilkan oleh perangkat lunak CRW 2 adalah pada kondisi standar (25 C dan 1 atm) dimana bahan kimia tersebut berada pada kondisi stabil, tentunya ini adalah kondisi yang paling aman untuk tidak terjadinya reaksi kimia. Dalam proses produksi dapat saja terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang dapat mempercepat terjadinya reaksi kimia atau beberapa reaksi kimia dapat terjadi pada temperatur dan tekanan tertentu. Kondisi seperti ini tidak dapat diestimasi oleh perangkat lunak CRW 2. Program CRW 2 juga hanya dapat melakukan estimasi dari dua campuran bahan kimia, pada kenyataannya dilapangan beberapa bahan kimia dicampur sekaligus dalam suatu proses, bisa saja satu atau lebih dari bahan kimia tersebut bisa menjadi katalis, inisiator atau inhibitor bagi bahan kimia lain dalam suatu campuran. Kondisi seperti ini juga tidak dapat diestimasi oleh perangkat lunak CRW 2. Dengan demikian potensi bahaya reaktifitas kimia yang dapat terjadi dari hasil kajian ini adalah potensi bahaya yang paling minimal dapat terjadi. Secara garis besar dapat disimpulkan jenis bahaya yang dapat terjadi adalah ledakan, kebakaran, pelepasan gas beracun dan pembentukan bahan kimia korosif.

Berdasarkan hasil observasi dilapangan ditemukan fakta bahwa ada beberapa produk yang berpotensi menimbulkan BRK dibuat dengan menggunakan tanki atau vesel yang sama. Hal ini disebabkan karena jumlah jenis produk yang dibuat jauh lebih banyak dibandingkan dengan jumlah tanki atau vesel yang ada. Misalnya pada PT PQR jumlah total produk pada saat penelitian ini adalah 247 sementara jumlah tanki atau vesel produksi hanya ada 59 tanki/vesel. Ratio rata-rata antara produk dan tanki adalah 4 : 1, artinya satu tanki digunakan untuk 4 jenis produk. PT XYZ memiliki jumlah total produk pada saat penelitian ini adalah kira-kira 3000 produk dan jumlah tanki yang tersedia adalah 450 tanki/vesel, maka ratio antara produk dan tanki adalah 6.7 : 1, artinya 1 tanki rata-rata digunakan untuk 6-7 jenis produk. PT CDF memiliki 2 jenis produk dan 1 reaktor untuk proses reaksi. Dari hasil pengamatan ini peneliti dapat menyimpulkan bahwa potensi terjadinya kontaminasi dan pencampuran bahan kimia yang tidak sesuai (kompatibel) sangatlah mungkin terjadi, terutama pada saat transisi dari satu produk ke produk lain. Gambar 6.1 adalah salah satu contoh layout area produksi PT PQR, dimana pada layout tersebut dapat

dilihat tata letak dan pembagian ruangan untuk setiap proses yang dibagi kedalam beberapa line proses. Dalam layout tersebut terdapat 30 tanki pencampuran (mixer) dengan kapasitas yang bervariasi mulai dari 50 liter sampai dengan 10,000 liter.



Gambar 6.1. Layout Area Produksi PT PQR

Pada umumnya pengelompokan area produksi (line produksi) didasarkan pada kesamaan jenis produk dan teknologi pembuatannya misalnya line powder, line pasta, line emulsi dan seterusnya. Jadi besar kemungkinan bahwa didalam satu line produksi terdapat beberapa produk dimana bahan baku pembuatnya ada yang tidak sesuai (kompatibel) satu sama lain yang dapat berpotensi menyebabkan BRK.

Tabel 6.1. Pasangan Produk yang Berpotensi Bereaksi Pada Tanki atau Line Produksi yang Sama Pada PT PQR

Kode Tangki	Jumlah Produk Yang Diproduksi	Jumlah Pasangan Produk	Jumlah Pasangan Produk yang Berpotensi Berinteraksi (IB>/=0,5)	% Pasangan Produk IB>/=0,5
T1	3	3	0	0
T2	8	28	0	0
T3	3	3	0	0
T4	4	6	0	0
T5	12	66	1	2
T6	5	10	2	20
T7	22	231	12	5
T8	4	6	0	0
T9	12	66	12	18
T10	21	210	61	29
T11	25	300	37	12
T12	16	120	35	29
T13	28	378	152	40
T14	8	28	9	32
T15	3	3	3	100
T16	3	3	0	0
T17	3	3	1	33

Tabel 6.1 merupakan hasil kajian ketidaksesuaian produk pada setiap kelompok produk yang diproduksi pada tangki atau line produksi yang sama pada PT PQR. Dari tabel tersebut dapat dilihat beberapa tangki atau line produksi memiliki potensi pasangan produk yang memiliki  $IB \geq 0,5$ , artinya terdapat pasangan produk yang mungkin bereaksi satu sama lain jika tercampur. Sebagai contoh T6 memiliki potensi 20% dari pasangan produk yang diproduksi pada tangki tersebut dapat menimbulkan reaksi kimia atau BRK, dimana pada tangki T6 diproduksi 10 jenis produk. Sementara T13 memiliki potensi 40% dari pasangan produk yang diproduksi pada tangki tersebut dapat menimbulkan reaksi kimia atau BRK, dimana pada tangki T13 tersebut diproduksi 28 jenis produk.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rasmussen (1989) pada sejumlah industri ditemukan bahwa pemicu terjadinya kecelakaan BRK pada industri kimia adalah kesalahan pencampuran, pengotor (kontaminasi), kesalahan parameter atau kondisi proses dan ketidak sempurnaan pencampuran. Untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya keempat pemicu BRK tersebut, peneliti mengembangkan ceklist pertanyaan seperti terlihat pada Gambar 4.2. Dari hasil skrining potensi pemicu bahaya reaktifitas pada ketiga industri (Tabel 5.6) diperoleh bahwa hanya PT XYZ Plant A saja yang tidak memiliki potensi kesalahan parameter/kondisi proses, hal ini disebabkan pada PT XYZ Plant A tidak dilakukan proses reaksi kimia, semua proses yang dilakukan hanya berupa proses pencampuran pada kondisi standar (suhu ruang dan tekanan 1 atm). Faktor yang paling dominan dapat menyebabkan terjadinya BRK terutama pada PT XYZ dan PT PQR yang memiliki jumlah produk sangat bervariasi adalah terjadinya kesalahan pencampuran dan pengotor (kontaminasi). Tingginya intensitas jalur proses produksi sangat berpotensi menyebabkan terjadinya kesalahan transfer produk, tertukarnya bahan baku, tertukarnya produk antara dan terjadinya pengotor atau kontaminasi akibat kurang bersihnya tangki pada saat transisi produk.

#### **6.4. Penurunan IB dan IR Dengan Penerapan Sistem Manajemen Baku**

Persamaan SIB yang diusulkan pada penelitian ini terbukti lebih dapat menurunkan IB pada industri kimia hilir sampai pada level yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan persamaan SIB yang digunakan oleh Shah et al (2005). Persamaan SIB yang diturunkan pada penelitian ini mengandung ketiga faktor utama sistem pengendalian BRK yaitu faktor manajemen (FSMK), faktor pekerja (FP) dan

faktor teknologi (FTK), sementara persamaan SIB yang digunakan oleh Shah et al hanya mengandung satu faktor pengendalian BRK yaitu faktor teknologi (FTK). Persamaan SIB Shah et al lebih tepat diterapkan pada industri kimia hulu yang memiliki teknologi yang lebih moderen, dimana faktor teknologi lebih dominan dibandingkan faktor pekerja, sebaliknya pada industri kimia hilir pada umumnya menggunakan teknologi yang masih konvensional dan faktor pekerja lebih dominan pada proses yang dilakukan.

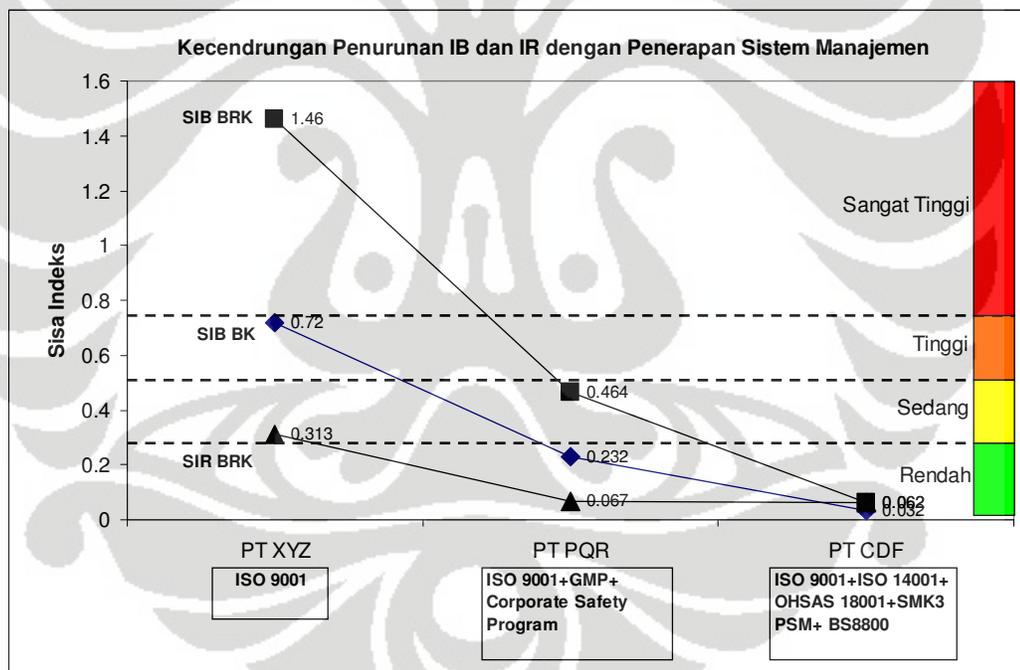
Data IB dan IR BRK membuktikan bahwa potensi risiko BRK pada industri kimia hilir di Indonesia adalah tinggi, namun potensi risiko tersebut dapat diturunkan dengan menerapkan sistem manajemen baku seperti ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 dan SMK3 sampai pada level tertentu. Hal ini juga membuktikan bahwa sistem manajemen baku tersebut juga sudah mengandung ketiga unsur pengendalian BRK tersebut diatas.

PT CDF memiliki potensi risiko BRK sangat tinggi karena perusahaan ini melakukan proses reaksi eksotermik dalam pembuatan produk herbisida. Potensi risiko tersebut dapat diturunkan dari  $IR=2,0$  menjadi  $SIR=0,062$  (97%) dengan menerapkan berbagai sistem manajemen baku seperti OHSAS 18001, ISO 9001, ISO 14000, PSM, BS 8800 dan SMK3. Disamping sistem manajemen yang baik, perusahaan ini juga telah menggunakan teknologi yang semi otomatis sehingga memiliki sistem kontrol proses yang lebih baik. Sumber daya manusia yang dimiliki juga relatif lebih baik.

PT XYZ memiliki  $IR=0,670$  artinya PT XYZ memiliki potensi risiko BRK cukup tinggi, namun masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan PT CDF karena PT XYZ tidak melakukan reaksi kimia dalam pembuatan produknya. Semua proses yang dilakukan oleh PT XYZ hanyalah merupakan proses pencampuran. Potensi BRK dapat terjadi jika terjadi kesalahan pencampuran atau kontaminasi dari bahan-bahan kimia yang dapat bereaksi. Nilai SIR masih cukup tinggi yaitu 0,313. Penerapan sistem manajemen kualitas (ISO 9001) hanya dapat menurunkan 47% potensi risiko BRK pada perusahaan ini. Diperlukan perbaikan pada sistem manajemen yang ada misalnya dengan menerapkan SMK3 untuk memperbaiki sistem pengendalian bahaya bahan kimia dan reaktifitas kimia. Atau dapat juga dilakukan dengan menerapkan elemen-elemen yang dibutuhkan dalam mengendalikan BRK. Perbaikan terhadap

sistem teknologi keselamatan juga akan dapat menurunkan potensi risiko BRK menjadi lebih rendah.

PT PQR memiliki potensi risiko BRK yang juga cukup tinggi bahkan lebih tinggi dari PT XYZ (IR = 0,710) karena perusahaan ini disamping melakukan proses pencampuran tanpa reaksi kimia, juga melakukan proses reaksi kimia yaitu reaksi penyabunan yang bersifat eksotermik. Nilai IR dapat diturunkan secara signifikan dari 0,710 menjadi 0,067 (90%) dengan penerapan sistem manajemen kualitas ISO 9001, *Good Manufacturing Practice* (GMP) dan Sistem Manajemen Keselamatan yang mengacu pada induk perusahaan. PT PQR yang merupakan *Multinational Company* memiliki sistem internal untuk program GMP dan keselamatan yang cukup baik. Gambar 6.2 memperlihatkan kecenderungan penurunan indeks bahaya dan risiko dengan adanya penerapan sistem manajemen kualitas, keselamatan dan lingkungan.



Gambar 6.2. Kecenderungan Penurunan IB dan IR dengan Penerapan Sistem Manajemen Kualitas, Keselamatan dan Lingkungan.

Hasil perhitungan SIB dan SIR pada ketiga perusahaan tersebut diatas sesuai dengan hasil survei tingkat kesadaran pelaksanaan K3, hampir celaka dan kecelakaan dengan bahan kimia melalui kuosioner. Tabel 6.2 memperlihatkan hasil perhitungan perbedaan rata-rata tingkat kesadaran pelaksanaan K3, tingkat hampir celaka dengan

bahan kimia dan tingkat kecelakaan bahan kimia pada tiga perusahaan tempat penelitian. Uji univariate perbedaan rata-rata tingkat kesadaran pelaksanaan K3 menggunakan metoda one-way anova. Sementara perbedaan rata-rata tingkat hampir celaka dan celaka menggunakan metoda Mann Whitney (non parametrik) karena data tidak berdistribusi normal dan tidak homogen.

Hasil uji hipotesis perbedaan rata-rata tingkat kesadaran pelaksanaan K3 berbeda secara signifikan pada ketiga perusahaan tersebut, dimana  $p_v=0,042 < 0,05$  ( $H_0$  ditolak). Dari hasil uji perbedaan rata-rata lebih lanjut melalui uji Post Hoc; Tukey HSD, Scheff, LSD dan Bonferroni diperoleh perbedaan yang signifikan dari ketiga perusahaan tersebut dalam hal kesadaran pekerja dalam melaksanakan K3 hanya antara PT XYZ dengan PT CDF dan PT PQR, sementara antara PT CDF dan PT PQR tidak berbeda secara signifikan. Hal ini juga dapat diartikan bahwa pekerja pada PT CDF dan PT PQR memiliki kesadaran K3 yang lebih baik dibandingkan dengan PT XYZ.

Tabel 6.2. Nilai Perbedaan Rata-Rata Pengukuran Tingkat Kesadaran K3, Hampir Celaka dan Kecelakaan dengan Bahan Kimia.

Variabel Dependen	Perusahaan	$\bar{X}$	SD	P-Value	$H_0$
Tingkat Kesadaran Pelaksanaan K3	PT XYZ	0,717	0,187	0,042	Ditolak
	PT CDF	0,812	0,191		
	PT PQR	0,730	0,187		

\*Uji Anova, data berdistribusi normal dan homogen

Variabel Dependen	Perusahaan	$\bar{X}$	SD	P-Value		$H_0$
Tingkat Hampir Celaka (Near Miss)	PT XYZ	0,520	1,146	XYZ-CDF	0,040	Ditolak
	PT CDF	0,020	0,158	CDF-PQR	0,048	Ditolak
	PT PQR	0,330	1,088	PQR-XYZ	0,046	Ditolak
Tingkat Kecelakaan dengan Bahan Kimia	PT XYZ	0,720	1,381	XYZ-CDF	0,030	Ditolak
	PT CDF	0,050	0,223	CDF-PQR	0,158	Diterima
	PT PQR	0,300	1,107	PQR-XYZ	0,020	Ditolak

\*Uji Mann Whitney, data berdistribusi tidak normal dan tidak homogen

Hasil uji hipotesis perbedaan rata-rata tingkat pelaksanaan tingkat hampir celaka dan kecelakaan dengan bahan kimia diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan rata-rata tingkat hampir celaka diantara ketiga perusahaan yaitu PT XYZ, PT CDF dan PT PQR (nilai  $p_v < 0,05$ ;  $H_0$  ditolak). Dari nilai rata-rata tingkat hampir celaka dapat dilihat bahwa

PT CDF memiliki nilai yang paling rendah dan PT XYZ memiliki nilai yang paling tinggi.

2. Terdapat perbedaan rata-rata tingkat kecelakaan dengan bahan kimia antara PT XYZ dengan PT CDF dan PT PQR (nilai  $p_v < 0,05$ ;  $H_0$  ditolak). Tidak terdapat perbedaan rata-rata tingkat kecelakaan dengan bahan kimia antara PT CDF dengan PT PQR (nilai  $p_v > 0,05$ ;  $H_0$  diterima). Meskipun demikian PT CDF memiliki nilai rata-rata tingkat kecelakaan yang lebih rendah dibandingkan dengan PT PQR, dan PT XYZ memiliki nilai rata-rata tingkat kecelakaan paling tinggi.

Dari hasil uji hipotesis diatas dapat disimpulkan bahwa PT CDF relatif memiliki tingkat kesadaran K3 lebih baik dibandingkan dengan PT PQR dan PT XYZ. Secara teori hal ini dapat berpengaruh pada tingkat hampir celaka dan kecelakaan dengan bahan kimia pada PT CDF yang lebih rendah dibandingkan dengan kedua perusahaan lainnya. Sementara PT XYZ yang memiliki rata-rata tingkat kesadaran K3 paling rendah dibandingkan kedua perusahaan lainnya juga memiliki rata-rata tingkat hampir celaka dan kecelakaan dengan bahan kimia lebih tinggi dibandingkan dua perusahaan lainnya. Tabel 6.3 merupakan ringkasan secara keseluruhan penurunan SIB, SIR, tingkat kecelakaan dan hampir celaka dalam kaitannya dengan penerapan sistem manajemen kualitas, keselamatan dan lingkungan serta kesadaran pekerja dalam melaksanakan dan mengikuti aturan sistem K3.

Sistem manajemen kualitas ISO 9001 bertujuan untuk menjaga konsistensi proses dan kualitas produk yang dihasilkan. Didalam sistem manajemen kualitas diatur berbagai proses yang berkaitan dengan penerimaan bahan baku, pengembangan produk baru, kontrol kualitas, kalibrasi alat ukur, peningkatan kompetensi pekerja dan masih banyak lagi elemen-elemen yang bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan. Semua elemen-elemen tersebut sangat erat kaitannya dengan pengendalian bahaya reaktifitas kimia. Penerapan ISO 9001 terbukti dapat menurunkan risiko BRK sebesar 47%, masih diperlukan beberapa elemen-elemen tambahan agar risiko BRK dapat diturunkan samapi pada level yang rendah. Dengan mengintegrasikan sistem pengendalian BRK yang diusulkan pada penelitian ini, misalnya memasukkan elemen identifikasi bahaya dan risiko BRK, prosedur penanganan bahan kimia berbahaya, materi training BRK dan seterusnya maka risiko BRK dapat diturunkan sampai pada level yang rendah.

Sistem manajemen lingkungan ISO 14001 bertujuan untuk mengatur pengelolaan lingkungan. Sertifikasi ISO 14001 mensyaratkan program-program yang menurunkan penggunaan bahan-bahan kimia berbahaya dan limbah berbahaya (Kuhre W.L., 1996). Elemen-elemen yang terdapat dalam ISO 14001 sangat erat kaitannya dengan pengendalian BRK, seperti kontrol operasional dan pengembangan kompetensi pekerja mengenai bahan berbahaya sangat mendukung pengendalian BRK.

Sistem manajemen keselamatan baik OHSAS 18001, SMK3 maupun PSM dan BS8800 adalah bertujuan untuk melindungi pekerja, aset perusahaan dan lingkungan dari segala kemungkinan terjadinya kecelakaan yang tidak diinginkan. Secara umumsistem manajemen keselamatan telah mengandung elemen-elemen pengendalian BRK. Walaupun sistem manajemen keselamatan baku yang ada termasuk PSM mengandung elemen-elemen pengendalian BRK, namun penerapan sistem manajemen keselamatan baku ini saja tidak dapat menurunkan risiko BRK secara keseluruhan, masih diperlukan elemen-elemen tambahan untuk menurunkan risiko BRK (Johnson et al., 2003). Penggabungan sistem manajemen keselamatan dengan sistem manajemen lain seperti ISO 9001 dan ISO 14001 pada penelitian ini terbukti dapat menurunkan risiko BRK sampai pada level yang rendah. Namun yang menjadi kendala adalah banyaknya perusahaan-perusahaan industri kimia hilir di Indonesia tidak mampu menerapkan sistem manajemen baku tersebut secara keseluruhan, maka diperlukan sistem pengendalian BRK yang dapat diterapkan secara terpisah atau terintegrasi dengan salah satu atau lebih sistem manajemen baku yang ada. Bahasan selanjutnya akan dijelaskan sistem pengendalian BRK yang diusulkan dapat diterapkan pada industri kimia hilir di Indonesia.

Tabel 6.3. Ringkasan SIB, SIR, Tingkat Kecelakaan dan Hampir Celakan dengan Penerapan Sistem Manajemen Kualitas, Keselamatan dan Lingkungan pada PT XYZ, PT PQR dan PT CDF

Perusahaan	IB BRK	Sisa Indeks Bahaya (SIB) BRK	Sisa Indeks Bahaya (SIB) Bahan Kimia	Indeks Risiko BRK	Sisa Indeks Risiko (SIR) BRK	% Compliance Survei BRK	Rata-Rata Tingkat Hampir Celaka dlm 1 Thn Terakhir	Rata-Rata Tingkat Kecelakaan dlm 5 Thn Terakhir	Rata-Rata Tingkat Kesadaran Pelaksanaan K3	Sistem Manajemen yang sudah diterapkan
PT XYZ	1 (sangat tinggi) dan 0,75 (tinggi)	1,460 (Sangat Tinggi)	0,720 (Tinggi)	0,67 (Tinggi)	0,313 (Sedang)	56%	0,515	0,710	0,717	ISO 9001
PT PQR	1 (sangat tinggi) dan 0,75 (tinggi)	0,464 (Sedang)	0,232 (Rendah)	0,71 (Tinggi)	0,067 (Rendah)	75%	0,330	0,300	0,730	ISO 9001, GMP, Corporate Safety Program
PT CDF	1 (sangat tinggi) dan 0,75 (tinggi)	0,062 (Rendah)	0,031 (Rendah)	2,00 (Sangat Tinggi)	0,062 (Rendah)	99%	0,020	0,050	0,812	ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, SMK3, PSM, BS8800

## **6.5. Hubungan Antara Variabel Laten Model Struktural Penyebab Bahaya Reaktifitas Kimia**

Hipotesis yang dikembangkan dalam membuat hubungan antara variabel laten eksogen dan endogen adalah berdasarkan kajian kualitatif dengan metoda KJ analisis dan didukung dengan teori yang kuat. Hipotesis awal dikembangkan berdasarkan model kualitatif penyebab BRK, kemudian dilakukan respesifikasi model dengan menambah beberapa hipotesis baru untuk mendapatkan model penyebab BRK yang lebih baik. Penjelasan hubungan antar variabel laten model penyebab BRK berikut didasarkan pada hipotesis model kualitatif dan respesifikasi model penyebab BRK II. Model struktural penyebab BRK II dianggap model yang paling tepat untuk industri kimia hilir berdasarkan hasil penelitian ini.

### **6.5.1. Hubungan Komitmen K3 dengan Training dan Analisis Bahaya dan Risiko**

Komitmen K3 dihipotesakan dapat meningkatkan kelengkapan, kemudahan dan keefektifan prosedur kerja standar (SOP) dan meningkatkan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja ternyata tidak terbukti, ternyata komitmen K3 tidak secara langsung berpengaruh kepada kedua variabel laten tersebut.

Hasil temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa komitmen K3 dapat meningkatkan kompetensi pekerja melalui pelaksanaan program training, hubungan antara komitmen K3 dengan pelaksanaan program training untuk meningkatkan kompetensi pekerja sangat kuat (koefisien jalur terstandarnisasi= 0,82), dan hubungan antara program training dengan peningkatan kompetensi pekerja terbukti juga sangat kuat (koefisien jalur terstandarnisasi= 0,89). Komitmen K3 juga terbukti memiliki hubungan yang kuat dengan perencanaan dan pelaksanaan analisis risiko ditempat kerja (koefisien jalur terstandarnisasi= 0,58).

Dari nilai  $R^2$  terlihat bahwa persamaan regresi program training dan komitmen hanya dapat menjelaskan 67% dari varian yang ada, sementara sisanya dijelaskan oleh varian lain yang tidak masuk dalam penelitian ini. Sementara untuk persamaan regresi antara analisis risiko dan komitmen variasi yang dapat dijelaskannya hanya 34% dan sisanya dijelaskan oleh varian lain yang tidak diteliti.

### **6.5.2. Hubungan Analisis Risiko dengan Prosedur Kerja Standar dan Lingkungan Kerja**

Analisis risiko ditempat kerja dihipotesakan dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja, meningkatkan kelengkapan, kemudahan dan keefektifan prosedur kerja standar (SOP) dan menurunkan tingkat kesalahan pekerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis risiko ditempat kerja hanya dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dan meningkatkan kelengkapan, kemudahan dan keefektifan prosedur kerja standar (SOP). Analisis risiko ditempat kerja ternyata tidak terbukti dapat menurunkan tingkat kesalahan pekerja secara langsung.

Analisis risiko sangat berpengaruh terhadap peningkatan keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja, hubungan antara kedua variabel laten ini sangat kuat dimana koefisien jalur terstandarisasinya adalah 0,73. Dengan dilakukannya analisis risiko ditempat kerja maka akan diketahui potensi bahaya dan risiko yang ada ditempat kerja, kemudian dapat dilakukan program pengurangan risiko atau manajemen risiko ditempat kerja yang pada akhirnya akan menurunkan risiko kerja dan meningkatkan keamanan dan kenyamanan berkerja.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa analisis risiko diperlukan untuk meningkatkan kelengkapan, keefektifan dan kemudahan pemahaman prosedur kerja standar. Hubungan kedua variabel ini sangat kuat, dimana koefisien jalur terstandarisasinya adalah 0,73. Ini menunjukkan bahwa pembuatan prosedur kerja dan keselamatan akan sangat lebih efektif apabila didasari oleh hasil analisis risiko yang dilakukan.

Persamaan regresi SOP menunjukkan variasi yang ada dapat menjelaskan 54%, artinya masih terdapat variabel lain selain analisis risiko yang dapat mempengaruhi SOP. Dan persamaan regresi keamanan/kenyamanan lingkungan kerja melibatkan variabel SOP dan analisis risiko dimana varian ini dapat menjelaskan 79% dari varian yang ada, hal ini menunjukkan masih ada variabel yang lain yang dapat mempengaruhi keamanan/kenyamanan lingkungan kerja.

### **6.5.3. Hubungan Training dengan Kompetensi Pekerja**

Training keselamatan bahan kimia berbahaya dihipotesakan mengurangi kesalahan pekerja, ternyata hubungan ini tidak signifikan. Setelah dilakukan

repsefikasi model dengan menambah jalur hipotesis dimana training dihipotesakan meningkatkan pengetahuan pekerja, dan pengetahuan pekerja dapat mengurangi kesalahan yang diakibatkan oleh faktor pekerja, ternyata hipotesis ini dapat diterima. Training keselamatan bahan kimia berbahaya memiliki hubungan yang sangat kuat dengan tingkat pengetahuan bahan kimia berbahaya para pekerja (koefisien jalur terstandarnisasi = 0,89). Pengetahuan bahan kimia berbahaya para pekerja terbukti dapat menurunkan tingkat kesalahan kerja oleh pekerja, hubungan antara kedua variabel laten ini cukup kuat (koefisien jalur terstandarnisasi=0,37).

Dari persamaan regresi pengetahuan pekerja variasi yang dapat dijelaskan oleh persamaan ini adalah 78%, hal ini menunjukkan bahwa masih ada variabel lain yang mempengaruhi pengetahuan pekerja selain training. Persamaan pada faktor pekerja melibatkan pengetahuan pekerja dan SOP dimana variasi ini dapat menjelaskan 90% dari varian yang ada, artinya masih terdapat varian lain yang mempengaruhi kesalahan faktor pekerja selain pengetahuan dan SOP.

#### **6.5.4. Hubungan Prosedur Kerja Standar dengan Faktor Pekerja dan Lingkungan Kerja**

Prosedur kerja standar (SOP) dihipotesakan dapat mengurangi terjadinya kesalahan pencampuran, kesalahan parameter proses, kontaminasi, ketidak sempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan ternyata tidak terbukti. Asumsi bahwa dengan memperbaiki atau menambah SOP dapat mengurangi secara langsung semua faktor penyebab langsung bahaya reaktifitas tersebut ternyata memiliki hubungan yang tidak signifikan. Perbaikan dan penambahan SOP terbukti hanya mempengaruhi variabel laten kesalahan pekerja dan keamanan/kenyamanan lingkungan kerja. SOP memiliki hubungan yang kuat dengan variabel kesalahan pekerja (koefisien jalur terstandarnisasi = 0,61), artinya kesalahan pekerja dapat diturunkan dengan memperbaiki atau menambah prosedur kerja standar (SOP). Semua sistem manajemen standar mensyaratkan dibuatnya prosedur kerja standar (SOP) secara tertulis sebagai acuan bagi pekerja dalam melakukan perkerjaannya serta untuk menjaga konsistensi proses kerja, kinerja dan kualitas. SOP juga memiliki hubungan yang cukup kuat dengan variabel keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja (koefisien jalur terstandarnisasi = 0,20), meskipun hubungan ini tidak begitu kuat akan tetapi cukup signifikan. Rekomendasi dari hasil analisis risiko sebaiknya

dituangkan dalam bentuk prosedur kerja standar sehingga dapat dilaksanakan secara berkesinambungan dalam menjaga keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja. Kegiatan perawatan alat, kebersihan alat dan lingkungan kerja, alur proses produksi, penyimpanan dan penempatan bahan baku atau produk dan seterusnya sebaiknya dituangkan dalam prosedur kerja standar untuk menjaga konsistensi proses kerja dan kenyamanan lingkungan kerja.

#### **6.5.5. Hubungan Lingkungan Kerja dengan Kesalahan Penyimpanan**

Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dihipotesakan dapat mengurangi terjadinya kontaminasi produk, ketidaksempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan. Hubungan yang terbukti signifikan pada penelitian ini hanyalah antara keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja dengan kesalahan penyimpanan, dan hubungan ini juga tidak begitu kuat (koefisien jalur terstandarnisasi = 0,13). Alur proses bahan baku, ketersediaan tempat penyimpanan yang cukup, pembagian area penyimpanan yang jelas dan kondisi ruang penyimpanan sesuai standar akan dapat mempengaruhi proses penyimpanan bahan baku atau produk.

Persamaan regresi kesalahan penyimpanan yang melibatkan variabel lingkungan kerja hanya dapat menjelaskan 12% dari varian yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak variabel lain yang tidak masuk dalam penelitian ini yang berpengaruh terhadap kesalahan penyimpanan.

#### **6.5.6. Hubungan Faktor Kesalahan Pekerja dengan Kesalahan Pencampuran dan Parameter Proses**

Faktor kesalahan pekerja terbukti hanya berpengaruh pada variabel kesalahan pencampuran dan parameter proses. Hasil penelitian membuktikan bahwa pengurangan kesalahan pekerja akan dapat menurunkan terjadinya kesalahan pencampuran dan parameter proses, hubungan antara variabel ini cukup kuat dimana koefisien jalur terstandarnisasi untuk kesalahan pencampuran adalah 0,26 dan kesalahan parameter proses adalah 0,21. Hal ini dapat dipahami bahwa pada industri kimia hilir tempat penelitian dilakukan, kedua proses tersebut dilakukan secara manual oleh pekerja.

Persamaan regresi kesalahan pencampuran yang melibatkan variabel faktor pekerja hanya dapat menjelaskan 24% dari varian yang ada, sementara persamaan

regresi kesalahan parameter proses yang juga melibatkan faktor pekerja hanya dapat menjelaskan 23% dari varian yang ada. Hal ini menunjukkan masih banyak variabel lain yang tidak masuk dalam penelitian ini yang berpengaruh terhadap kesalahan pencampuran dan parameter proses selain variabel faktor pekerja.

#### **6.5.7. Hubungan Kesalahan Pencampuran dengan Ketidaksempurnaan**

##### **Pencampuran dan Kontaminasi**

Pada respesifikasi model penyebab BRK dihipotesakan bahwa kesalahan pencampuran dapat memiliki hubungan yang kuat dengan ketidaksempurnaan pencampuran dan terjadinya kontaminasi bahan baku atau produk. Hasil penelitian membuktikan bahwa dengan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pencampuran akan dapat mengurangi ketidaksempurnaan pencampuran dan terjadinya kontaminasi. Hubungan antara variabel kesalahan pencampuran dengan ketidaksempurnaan pencampuran sangat kuat dimana koefisien jalur terstandarisasinya adalah 0,91, sementara hubungan antara variabel kesalahan pencampuran dengan terjadinya kontaminasi tidak begitu kuat (koefisien jalur terstandarisasi = 0,20).

Persamaan regresi kontaminasi yang melibatkan variabel kesalahan pencampuran dan kesalahan penyimpanan hanya dapat menjelaskan 71% dari varian yang ada. Sementara persamaan regresi ketidak sempurnaan pencampuran yang melibatkan variabel kesalahan pencampuran hanya dapat menjelaskan 60% dari varian yang ada. Artinya masih ada variabel lain yang dapat mempengaruhi kontaminasi dan ketidak sempurnaan pencampuran selain dari variabel kesalahan pencampuran.

#### **6.5.8. Hubungan Kesalahan Penyimpanan dengan Kontaminasi**

Pada respesifikasi model penyebab BRK juga dihipotesakan bahwa kesalahan penyimpanan memiliki hubungan yang kuat dengan terjadinya kontaminasi produk atau bahan baku. Hasil penelitian membuktikan bahwa pengurangan terjadinya kesalahan penyimpanan dapat mengurangi terjadinya kontaminasi produk atau bahan baku, hubungan kedua variabel ini sangat kuat (koefisien jalur terstandarisasi = 0,75). Penyimpanan bahan baku tanpa label, bahan baku kadaluarsa, kemasan bocor atau terbuka dapat meningkatkan potensi terjadinya kontaminasi bahan baku lain atau produk.

### 6.6. Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia Pada Industri Kimia Hilir

Sistem pengendalian BRK yang diusulkan pada penelitian ini sangat cocok dengan kondisi industri kimia hilir di Indonesia. Sistem pengendalian ini dapat diterapkan secara mandiri maupun diintegrasikan dengan sistem manajemen baku ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 dan SMK3 Permenaker. Meskipun beberapa elemen dari sistem manajemen baku yang ada sudah mengandung aspek-aspek pengendalian BRK, namun belum sepenuhnya dapat menurunkan potensi bahaya dan risiko BRK pada industri kimia hilir. Penerapan secara terintegrasi sistem pengendalian BRK ini akan menghasilkan pengendalian yang lebih maksimal dibandingkan penerapan secara mandiri.

Tabel 6.4. Keunggulan Sistem Manajemen BRK Industri Kimia Hilir Dibandingkan Sistem Manajemen BRK CCPS 2003

No.	Sistem Pengendalian BRK Industri Kimia Hilir	Sistem Pengendalian BRK CCPS 2003
1	Disusun berdasarkan kondisi ril industri kimia hilir di Indonesia, sehingga lebih mudah dan cocok untuk diterapkan.	Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem ini sulit diterapkan pada industri kimia berskala kecil-menengah.
2	Lebih komprehensif karena memasukkan ketiga faktor utama keselamatan kerja yaitu; faktor manajemen, faktor lingkungan kerja dan faktor pekerja.	Lebih fokus pada sistem manajemen dan lingkungan kerja.
3	Hanya memiliki 6 elemen sistem pengendalian, sehingga penerapannya lebih mudah dan cepat.	Memiliki 10 elemen sistem pengendalian, sehingga penerapannya lebih sulit dan lama.
4	Pengendalian lebih difokuskan pada faktor pekerja sebagai penyebab BRK.	Pengendalian lebih difokuskan pada sumber bahaya BRK.
5	Tidak diharuskan melakukan analisa laboratorium untuk menguji reaktifitas bahan kimia. Dimana sebagian besar industri kimia hilir di Indonesia tidak mampu melakukannya.	Diharuskan melakukan uji laboratorium untuk mengetahui reaktifitas bahan kimia.
6	Lebih mudah diintegrasikan kedalam sistem manajemen baku kualitas lingkungan dan keselamatan.	Lebih mudah diintegrasikan kedalam sistem manajemen keselamatan PSM (OSHA dan CCPS) dan Saveso II.
7	Mengutamakan keterlibatan pekerja dalam setiap elemen.	Hanya dilakukan oleh team yang dibentuk oleh manajemen.
8	Sangat tepat untuk diterapkan pada industri yang menggunakan bahan kimia dalam jumlah jenis yang besar.	Kurang tepat untuk diterapkan pada industri yang menggunakan bahan kimia dalam jumlah jenis yang besar

Sistem pengendalian BRK yang diusulkan ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem manajemen BRK yang dikeluarkan oleh CCPS pada

2003 jika diterapkan untuk industri kimia hilir di Indonesia. Perbandingan kedua sistem ini dapat dilihat pada tabel 6.4.

Namun demikian sistem pengendalian BRK industri kimia hilir ini juga memiliki kelemahan jika dibandingkan dengan sistem manajemen pengendalian BRK CCPS 2003. Tabel 6.5 menunjukkan beberapa kelemahan sistem pengendalian BRK industri kimia hilir.

Tabel 6.5. Kelemahan Sistem Manajemen BRK Industri Kimia Hilir Dibandingkan Sistem Manajemen BRK CCPS 2003

No.	Sistem Pengendalian BRK Industri Kimia Hilir	Sistem Pengendalian BRK CCPS 2003
1	Analisis BRK dilakukan dengan program perangkat lunak CRW 2, sehingga hasilnya hanya merupakan pendekatan pada kondisi ideal, sehingga menjadi kurang akurat jika dibandingkan dengan hasil uji laboratorium.	Analisis BRK dilakukan dengan pengujian laboratorium sehingga lebih akurat.
2	Kurang dapat (terlalu sederhana) untuk diimplementasikan pada industri kimia hulu dengan sistem teknologi yang lebih moderen.	Lebih cocok untuk industri hulu yang memiliki teknologi moderen.
3	Kurang tepat untuk diterapkan pada industri yang menggunakan sistem <i>continous</i> proses.	Dapat diterapkan pada industri dengan sistem batch dan <i>continous</i> proses.

#### 6.6.1. Komitmen Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia

SMK3 Permenaker dan CCPS secara jelas mensyaratkan komitmen manajemen dalam sistem manajemen K3. OHSAS 18001 mensyaratkan kebijakan K3 secara tertulis yang mencerminkan komitmen manajemen dalam menerapkan K3. Dalam SMK3 Permenaker disebutkan bahwa pengurus harus menunjukkan kepemimpinan dan komitmen terhadap keselamatan dan kesehatan kerja dengan menyediakan sumber daya yang memadai. Pengusaha dan pengurus perusahaan harus menunjukkan komitmen terhadap K3 yang diwujudkan dalam:

- a. Menempatkan organisasi K3 pada posisi yang dapat menentukan keputusan perusahaan.
- b. Menyediakan anggaran, tenaga kerja yang berkualitas dan sarana-sarana lain yang diperlukan dibidang K3.

- c. Menetapkan personel yang mempunyai tanggung jawab, wewenang dan kewajiban yang jelas dalam penanganan K3.
- d. Perencanaan K3 terkoordinasi.
- e. Melakukan penilaian kinerja dan tindak lanjut pelaksanaan K3.

Komitmen dan kebijakan tersebut pada butir a sampai dengan e diadakan peninjauan ulang secara teratur.

Setiap tingkat pimpinan dalam perusahaan harus menunjukkan komitmen terhadap K3 sehingga penerapan SMK3 berhasil diterapkan dan dikembangkan.

Setiap tenaga kerja dan orang lain yang berada ditempat kerja harus berperan serta dalam menjaga dan mengendalikan pelaksanaan K3.

Dari SMK3 Permenaker tersebut dapat disimpulkan bahwa komitmen K3 merupakan hal yang paling mendasar dalam penerapan sistem manajemen K3 pada industri. Komitmen K3 tidak hanya dari pihak manajemen perusahaan akan tetapi juga diperlukan komitmen dari seluruh pekerja dalam penerapan K3 ditempat kerja.

Manajemen juga harus ikut terlibat dalam pelaksanaan program K3 sebagai *role model* bagi para pekerja. Keterlibatan manajemen dalam berbagai program K3 akan memberikan citra baik kepada pekerja bahwa K3 sangatlah penting bagi perusahaan dan karyawan. Komitmen manajemen puncak juga harus dituangkan dalam bentuk kebijakan K3 secara tertulis dan dikomunikasikan kepada seluruh pekerja.

Dari hasil survei yang dilakukan pada PT XYZ, PT PQR dan PT CDF dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan tingkat kesadaran pelaksanaan K3 oleh pekerja ditiga perusahaan tersebut (Gambar 5.3). PT CDF memiliki tingkat kesadaran pelaksanaan K3 yang jauh lebih baik dibandingkan dengan 2 perusahaan lainnya. Baiknya tingkat kesadaran pelaksanaan K3 oleh pekerja pada PT CDF seiring dengan tingginya komitmen manajemen perusahaan dalam menerapkan K3 ditempat kerja, hal ini dapat dilihat dari sistem manajemen K3 yang sudah diterapkan dengan baik. PT CDF sudah menerapkan sistem manajemen OHSAS 18001, SMK3, PSM, ISO 14001 dan ISO 9001.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa untuk pengendalian BRK ditempat kerja pada industri kimia hilir, diperlukan komitmen yang kuat dari manajemen untuk melaksanakan training atau pelatihan bagi pekerja dan analisis

bahaya dan risiko ditempat kerja. Hal ini sejalan dengan persyaratan SMK3 Permenaker tersebut diatas, untuk melaksanakan training dan analisis risiko diperlukan sumber daya dan anggaran yang memadai, dan ini memerlukan komitmen yang kuat dari manajemen.

PT XYZ dan PT PQR belum melakukan analisis bahaya dan risiko sesuai persyaratan sistem manajemen K3, karena kedua perusahaan ini belum menerapkan SMK3. Sebenarnya untuk melakukan analisis bahaya dan risiko ditempat kerja tidak harus menunggu diterapkannya SMK3. Analisis risiko dan bahaya dapat dilakukan asalkan perusahaan memiliki komitmen untuk melakukannya. Dari hasil survey juga ditemukan bahwa PT XYZ dan PT PQR juga tidak memiliki program training yang terencana, sementara PT CDF memiliki program training yang lebih baik. Alasan utama minimnya program training adalah tidak adanya waktu bagi pekerja untuk mengikuti training karena kapasitas produksi dan pekerjaan yang tinggi. Dari hasil kajian ini peneliti menyimpulkan bahwa minimnya program dan pelaksanaan training bagi pekerja adalah karena rendahnya komitmen manajemen dalam penerapan K3.

Penerapan sistem manajemen BRK memerlukan komitmen K3 dari manajemen perusahaan. Komitmen manajemen pengendalian BRK tidak harus secara spesifik dinyatakan dalam kebijakan tertulis akan tetapi dapat merupakan bagian dari kebijakan K3 secara umum. Komitmen manajemen dalam mengendalikan BRK harus diwujudkan dalam:

- a. Menyediakan anggaran dan sumber daya yang memadai untuk melaksanakan program training K3 dan analisis bahaya dan risiko ditempat kerja secara berkelanjutan.
- b. Berkomitmen untuk melaksanakan rekomendasi hasil analisis bahaya dan risiko.
- c. Ikut terlibat aktif dalam program training, analisis bahaya dan risiko.

Pekerja harus menunjukkan komitmen dalam pengendalian BRK yang diwujudkan dalam:

- a. Mengikuti semua program training yang dilakukan oleh perusahaan.
- b. Ikut berpartisipasi aktif dalam melakukan analisis risiko dan bahaya ditempat kerja secara berkelanjutan.
- c. Melaksanakan prosedur kerja standar secara baik.
- d. Menjaga keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja.

### 6.6.2. Program dan Pelaksanaan Pelatihan Bahaya Reaktifitas Kimia

Dalam sistem manajemen K3 (SMK3) Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor PER.05/MEN/1996 pada lampiran I poin 3.1.5 tentang pelatihan (training) disebutkan bahwa penerapan dan pengembangan sistem manajemen K3 yang efektif ditentukan oleh kompetensi kerja dan pelatihan dari setiap tenaga kerja di perusahaan. Pelatihan merupakan salah satu alat penting dalam menjamin kompetensi kerja yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan keselamatan dan kesehatan kerja. OHSAS 18001 section 4.4.2 mensyaratkan bahwa setiap pekerja harus memiliki kompetensi untuk melakukan tugas-tugas yang berdampak pada K3. Kompetensi harus ditetapkan dalam hal pendidikan yang sesuai, pelatihan dan / atau pengalaman.

Training K3 merupakan program yang sangat penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, dari berbagai studi yang dilakukan terhadap perilaku tidak aman dari pekerja diperoleh beberapa alasan (National Safety Council, 1985):

1. Pekerja tidak memperoleh intruksi kerja secara spesifik dan detail.
2. Kesalahpahaman terhadap intruksi kerja.
3. Tidak mengetahui instruksi kerja.
4. Menganggap instruksi kerja tersebut tidak penting atau tidak perlu.
5. Mengabaikan instruksi kerja.

Untuk mencegah hal tersebut diatas terjadi maka sangat diperlukan training bagi pekerja untuk memahami setiap instruksi kerja secara baik dan akibat yang dapat terjadi jika tidak melakukan pekerjaan sesuai dengan instruksi kerja.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa training dapat meningkatkan kompetensi dan pengetahuan pekerja. Kemudian pengetahuan dan kompetensi pekerja tersebut dapat mengurangi kesalahan pencampuran dan parameter proses yang disebabkan oleh faktor pekerja, dimana kesalahan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya BRK. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dingsdag (2008) yang menyimpulkan bahwa untuk meningkatkan budaya dan perilaku K3 untuk mengurangi kecelakaan kerja maka diperlukan training K3 untuk meningkatkan kompetensi dan pemahaman K3 pada seluruh *line management* dan pekerja.

Setiap pekerja baru harus mendapatkan training yang cukup sebelum melaksanakan tugas sesuai tanggung jawab yang diberikan. Training yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan dari area kerja masing-masing pekerja. Untuk memastikan bahwa pekerja baru sudah menguasai tugas dan tanggung jawab yang

diberikan maka diperlukan tolok ukur sebagai umpan balik dari training yang diberikan. Training tidak hanya diberikan pada pekerja baru, akan tetapi pekerja lamapun harus diberikan training penyegaran. Pihak manajemen perusahaan harus membuat program training tahunan yang meliputi topik-topik baru maupun topik-topik lama sebagai penyegaran (*re-fresh training*).

Training yang diberikan harus meliputi pengetahuan (*knowledge*) dan keahlian (*skill*) untuk meningkat kompetensi pokok (*core competency*) dan kompetensi K3 (*safety competency*). Kompetensi pokok adalah kompetensi minimum yang harus dimiliki pekerja untuk menjalankan tugas pokok yang dibebankan, misalnya operator produksi harus memahami dan mampu menjalankan mesin produksi, laboran harus mampu melakukan analisa dasar bahan kimia dan seterusnya. Namun kompetensi pokok saja tidak cukup untuk melakukan pekerjaan secara aman, maka diperlukan kompetensi K3. Pada umumnya training kompetensi pokok tidak dilengkapi dengan kompetensi K3 atau tidak mengandung aspek-sapek K3 (Dingsdag, 2008). Untuk perusahaan yang sudah menerapkan sistem terintegrasi QHSE seperti PT CDF, training K3 sudah menjadi bagian dari training kompetensi pokok, meskipun masih diperlukan training khusus mengenai K3 untuk pendalaman pada aspek-aspek tertentu.

Secara garis besar training K3 yang diperlukan adalah sebagai berikut (National Safety Council, 1985):

1. Training untuk karyawan baru, misalnya: peraturan umum perusahaan, profil perusahaan, peraturan K3 secara umum, kebijakan K3, program pencegahan kecelakaan, intruksi kerja yang dibutuhkan, bahaya ditempat kerja, alat pelindung diri, dst.
2. *Job Safety Analysis* (JSA); pemahaman terhadap JSA dan proses JSA.
3. *Job instruction training* (JIT); training yang secara spesifik menjelaskan prosedur kerja standar di area kerja masing-masing, misalnya; prosedur kalibrasi, prosedur pembuatan produk, prosedur pembersihan tangki, dst.
4. *Other method instruction*; training untuk trainer, bagaimana mempersiapkan dan melakukan training secara baik.

Tabel 6.6. Topik Training Peningkatan Kompetensi Pekerja Untuk Mengurangi Risiko BRK.

No	Topik Training	Kompetensi	Bagian	Jabatan	Keterangan
1	Prosedur kerja standar dan instruksi kerja	Pokok	Semua	Operator s/d Manager	Kebutuhan disesuaikan dengan departemen masing-masing (SOP/WI)
2	Sistem Manajemen K3	Pokok/K3	Semua	Spv s/d manager	Pemahaman (SMK3, OHSAS 18001)
3	Respon keadaan darurat	Pokok/K3	Semua	Semua	Pemahaman dan praktek (SOP)
4	Bahan kimia berbahaya dan Penaganannya	Pokok/K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Operator s/d Manager	Kebutuhan disesuaikan dengan tingkat jabatan dan bersifat umum (NFPA, NIOSH)
5	MSDS dan Label Bahan Kimia (GHS)	K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Operator s/d Manager	Kebutuhan disesuaikan dengan tingkat jabatan dan bersifat umum (GHS,NFPA, UN)
6	Tata Cara Penyimpanan Bahan Kimia di Gudang	Pokok/K3	Gudang	Operator s/d Manager	Operator – Umum Spv& Mgr – Detil (CCPS, NFPA)
7	Penanganan Tumpahan Bahan Kimia	K3	Prod, Gudang dan Lab	Operator s/d Manager	Operator – praktek Spv&Mgr - + pengetahuan (NFPA, CCPS)
8	Bahaya Reaktifitas Kimia	K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Operator s/d Manager	Operator - Bersifat umum (awareness) Spv & Mgr – Lebih detil /pemahaman (CCPS)
9	Penanganan BRK	K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Operator s/d Manager	Operator - Bersifat umum (awareness) Spv & Mgr – Lebih detil /pemahaman (CCPS)
10	Managemen BRK	K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Spv s/d Manager	Pemahaman (CCPS)
11	Indentifikasi dan analisis BRK	K3	Prod., Gudang, Lab, Enjinereng	Spv s/d Manager	Pemahaman dan praktek (CCPS)
12	Analysis Tools untuk BRK	K3	Lab	Spv	Pemahaman dan praktek (CCPS, CRW 2)

Topik dan isi training harus disesuaikan dengan kebutuhan area kerja atau tanggung jawab dan tingkatan atau jabatan pekerja, karena umumnya tingkatan atau jabatan menunjukkan tingkat pendidikan pekerja. Sebagai contoh, operator bagian produksi memerlukan training keahlian dalam mengoperasikan mesin produksi, sementara teknisi dari bagian enjinereng memerlukan training keahlian dalam perawatan dan perbaikan mesin produksi. Supervisor produksi lebih memerlukan

training pengetahuan proses produksi dari pada keahlian dalam mengoperasikan mesin produksi.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk mengurangi kesalahan pekerja yang berdampak pada BRK, maka diperlukan *core competency* dan *safety competency* yang baik. Tabel 6.6 merupakan topik training yang direkomendasikan untuk meningkatkan *core* dan *safety competency* pekerja sehingga dapat mengurangi risiko BRK ditempat kerja.

### **6.6.3. Program dan Pelaksanaan Analisis Bahaya dan Risiko Bahaya Reaktifitas Kimia**

OHSAS 18001 section 4.3.1 mensyaratkan adanya prosedur untuk mengidentifikasi bahaya dan menetapkan mana saja yang signifikan, penilaian risiko dan pencegahannya. Dalam sistem manajemen K3 (SMK3) Peraturan Menteri Tenaga Kerja nomor PER.05/MEN/1996 juga disyaratkan untuk melakukan identifikasi sumber bahaya, penilaian dan pengendalian risiko. Sumber bahaya yang teridentifikasi harus dinilai untuk menentukan tingkat risiko yang merupakan tolak ukur kemungkinan terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja.

Analisis bahaya dan risiko merupakan landasan untuk mengembangkan sistem manajemen K3. Menurut Frank Bird dalam bukunya *Loss Control Management*, untuk mengembangkan suatu sistem K3 yang baik, harus mengikuti tahapan yang disebut IEDIM, yaitu: *Identification, Evaluation, Develop the plan, Implementation* dan *Measurement* (Ramli S., 2004). Frank Bird menempatkan identifikasi bahaya dan risiko pada tahapan pertama dalam proses pengembangan sistem manajemen K3. Identifikasi bahaya dan risiko harus disertai dengan evaluasi dan penilaian risiko, karena setiap industri memiliki jenis dan tingkat bahaya dan risiko yang berbeda-beda, sehingga sistem pengendalian dan manajemen keselamatan yang diterapkan juga akan berbeda.

Hasil penelitian ini juga membuktikan bahwa untuk mengembangkan sistem manajemen K3 dalam hal ini prosedur kerja standar dan keamanan lingkungan kerja harus didahului oleh analisis bahaya dan risiko. Analisis bahaya dan risiko BRK dapat merupakan bagian dari analisis bahaya dan risiko K3 secara umum sesuai persyaratan sistem manajemen K3, namun harus ada penekanan secara mendalam pada kajian bahaya dan risiko reaktifitas kimia yang dapat terjadi baik pada

penyimpanan bahan baku atau proses produksi. Tabel 6.7 merupakan analisis bahaya dan risiko tambahan yang diperlukan untuk pengembangan sistem pengendalian BRK pada industri kimia hilir. Berdasarkan hasil penelitian ini, analisis bahaya dan risiko yang diusulkan pada Tabel 6.7 cukup memadai untuk mengendalikan BRK pada industri kimia hilir dan sangat dapat diterapkan dengan segala keterbatasan yang ada pada industri kimia hilir di Indonesia.

Tabel 6.7. Analisis Bahaya dan Risiko BRK pada Industri Kimia Hilir

No	Analisis Bahaya dan Risiko BRK	Lokasi	Alat Analisis (Tools)
1	Analisis Bahaya Bahan Baku Kimia /sifat intrinsik (Flammability, Toxicity, Corrosivity, Reactivity, etc)	Gudang dan Lab	MSDS, NIOSH Pocket Guide, NFPA
2	Analisis Potensi BRK Bahan Baku	Gudang dan Lab	CRW 2 NOAA Worksheet, Bretherick's Handbook, CRISH Database
3	Preliminary Screening BRK	Prod, Lab, Gudang	Preliminary Screening Checklist CCPS
4	Analisis Potensi BRK Produk	Produksi	CRW 2 NOAA Worksheet
5	Analisis Potensi BRK Proses Produksi / faktor ekstrinsik	Produksi	Checklist, KJ Analysis

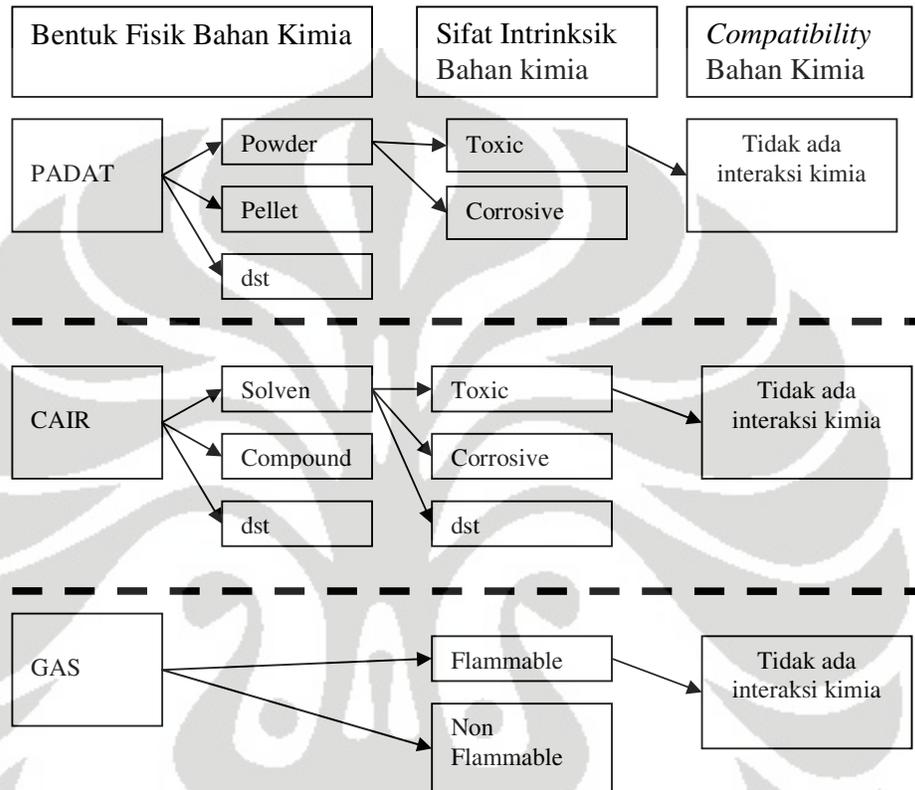
Ada 5 tahapan analisis bahaya dan risiko BRK yang direkomendasikan untuk dilakukan pada industri kimia hilir, yaitu:

1. Analisis bahaya sifat intrinsik bahan baku kimia; analisis ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahaya bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku produksi. Sifat-sifat instrinsik bahan kimia yang perlu diidentifikasi adalah sifat mudah terbakar (*Flammability*), sifat mudah meledak (*Explosive*), sifat beracun (*Toxicology*) dan sifat reaktif dengan air atau udara (*Reaktivity*). Sumber informasi yang dapat digunakan adalah Lembar Data Keselamatan Bahan (LDKB) yang dapat diperoleh dari pemasok bahan kimia atau dari database yang ada di internet. Analisis bahaya sifat intrinsik bahan baku kimia ini perlu dilakukan untuk mengetahui metode penyimpanan, sistem kontrol teknologi keselamatan yang diperlukan dan penanganan kondisi darurat.
2. Analisis potensi BRK bahan baku kimia; analisis ini dilakukan untuk mengetahui bahan baku kimia yang berpotensi bereaksi atau berinteraksi satu sama lain. Analisis ini dapat dilakukan dengan menggunakan program

perangkat lunak CRW 2 dari NOAA. Dari hasil analisis ini dapat diperoleh tabel kesesuaian (*compatibility chart*) yang dapat dijadikan acuan untuk metode penyimpanan atau pemisahan bahan-bahan yang dapat berinteraksi satu sama lain. Dengan mengetahui bahan baku kimia yang berpotensi bereaksi satu sama lain maka dapat dicegah terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan pada saat penanganan bahan baku kimia digudang penyimpanan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ramussen (1989) bahwa 24% kecelakaan BRK terjadi di gudang penyimpanan. Pada umumnya penyimpanan bahan baku dikelompokkan berdasarkan bentuk fisik (Padat, Cair, Pasta, Gas) dan sifat intrinsik bahan kimia (Flammable, Toxic, Corrosive, dst). Untuk menghindari adanya potensi BRK pada gudang penyimpanan maka perlu dilakukan pemisahan bahan-bahan kimia yang berpotensi bereaksi dengan bahan kimia lain. Gambar 6.3 merupakan ilustrasi metode pengelompokkan penyimpanan bahan kimia berdasarkan bentuk fisik, sifat intrinsik dan sifat reaksi atau *compatibility* bahan kimia.

3. Priliminary Screening BRK; analisis ini dilakukan untuk mengetahui potensi adanya BRK pada industri tersebut secara umum. Ceklist yang dikeluarkan oleh CCPS *Chemical Reactivity Hazards Management* dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi BRK pada proses yang dilakukan. Untuk mengetahui potensi yang dapat menyebabkan terjadinya BRK pada proses produksi dapat digunakan ceklist yang dikembangkan pada penelitian ini (Gambar 4.2). Hasil skirining ini dapat digunakan sebagai acuan untuk analisis BRK lebih dalam.
4. Analisis Potensi BRK Produk; analisis ini adalah untuk mengetahui adanya potensi BRK pada formulasi setiap produk yang diproduksi dan potensi BRK antar produk yang diproduksi. Analisis ini dapat dilakukan dengan menggunakan program perangkat lunak CRW 2 dari NOAA. Data yang diperlukan untuk analisis ini dapat diperoleh dari *Bill of Material* (BOM) yang digunakan untuk order produksi. Dari BOM ini juga dapat diketahui komposisi dari masing-masing ingredien yang terdapat didalam formula produk yang akan diproduksi, sehingga juga dapat diperkirakan atau dihitung stokiometri reaksi yang dapat terjadi. Dengan mengetahui potensi

BRK yang dapat terjadi pada produk maka dapat diantisipasi potensi terjadinya kesalahan pencampuran, kontaminasi, kesalahan parameter parameter proses dan ketidak sempurnaan pencampuran dari produk-produk yang memiliki potensi BRK.



Gambar 6.3. Ilustrasi Metode Pengelompokan Penyimpanan Bahan Baku Kimia

- Analisis Potensi BRK Faktor Ekstrinsik; yang dimaksud faktor ekstrinsik disini adalah faktor yang bukan intrinsik dari bahan kimia yang digunakan seperti jumlah bahan kimia, sistem pencampuran, teknologi keselamatan, *layout facility*, pemisahan bahan penyimpanan bahan kimia, dst. (Johnson et al., 2003). Untuk analisis ini dapat digunakan ceklist yang dikembangkan pada penelitian ini (Lampiran 7), dan KJ analisis untuk mengkaji potensi kecelakaan BRK dengan skenario kecelakaan BRK. Dengan mengetahui faktor ekstrinsik penyebab BRK maka dapat dikembangkan sistem manajemen BRK dan teknologi keselamatan BRK.

#### 6.6.4. Pembuatan dan Pelaksanaan Prosedur Kerja Standar

Dalam sistem manajemen K3 OHSAS 18001 ataupun SMK3 Permenaker dipersyaratkan atau disarankan adanya prosedur tertulis atau SOP untuk beberapa elemen-elemen penting misalnya diperlukan prosedur tertulis untuk; identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko, pelatihan, kepedulian dan kompetensi, pengendalian dokumen dan data, pengendalian operasi (prosedur operasi atau instruksi kerja), dan seterusnya. Didalam SMK3 Permenaker Lampiran II poin 2.2 tentang Manual SMK3 disebutkan:

- 2.2.1. Manual Sistem Manajemen K3 meliputi kebijakan, tujuan, rencana dan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja untuk semua tingkatan dalam perusahaan.
- 2.2.2. Apabila diperlukan manual khusus yang berkaitan dengan produk, proses atau tempat kerja tertentu telah dibuat.
- 2.2.3. Manual SMK3 mudah didapat oleh semua personil dalam perusahaan.

Pada poin 3.1 tentang pengendalian dokumen disebutkan:

- 3.1.1. Prosedur yang terdokumentasi mempertimbangkan identifikasi bahaya dan penilaian risiko yang dilakukan pada tahap melakukan perancangan dan perancangan ulang.
- 3.1.2. Prosedur dan instruksi kerja untuk penggunaan produk, pengoperasian sarana produksi dan proses yang aman disusun selama tahap perancangan.
- 3.1.3. Petugas yang kompeten telah ditentukan untuk melakukan verifikasi bahwa perancangan memenuhi persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja yang ditetapkan.
- 3.1.4. Semua perubahan dan modifikasi perancangan yang mempunyai implikasi terhadap keselamatan dan kesehatan kerja diidentifikasi, didokumentasikan, ditinjau ulang dan disetujui oleh petugas yang berwenang sebelum pelaksanaan.

Didalam sistem manajemen bahaya reaktifitas kimia yang dikeluarkan oleh CCPS pada *section 4.1 tentang Develop/Document System to Manage Chemical Reactivity Hazards* dijelaskan bahwa pembuatan atau pengembangan sistem manajemen tidak dapat dilakukan hanya satu kali (one time project), akan tetapi harus

terus dilakukan selama ada perubahan terhadap bahan baku, proses dan pekerja yang dapat berdampak pada keselamatan dan kesehatan kerja. Termasuk perubahan kecil dari kemurnian bahan baku, modifikasi ukuran tangki atau perubahan prosedur kerja (AIChe, 1995).

Hasil penelitian juga membuktikan bahwa sistem manajemen BRK harus dilengkapi dengan prosedur kerja standar yang tertulis. Prosedur kerja standar harus memasukkan aspek-aspek K3 untuk mencegah terjadinya kesalahan prosedur yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja. Sistem manajemen BRK tidak harus memiliki prosedur tersendiri atau terpisah dengan sistem manajemen lain. Pada prinsipnya sistem manajemen keselamatan, lingkungan dan kualitas sudah mengandung sebagian besar aspek-aspek manajemen BRK yang diperlukan. Beberapa poin yang diperlukan dalam mengendalikan BRK dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen yang sudah ada. Tabel 6.8 adalah rekomendasi prosedur kerja standar yang dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen lain untuk mengurangi potensi BRK pada industri kimia hilir di Indonesia.

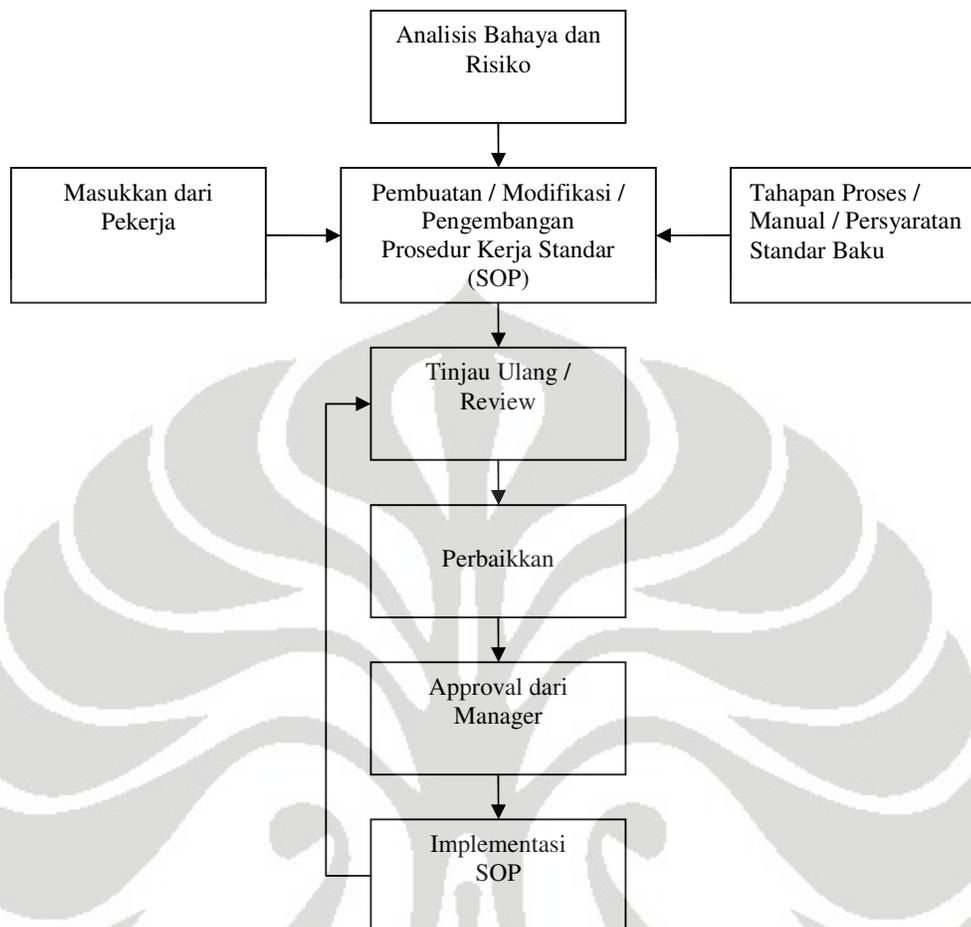
Prosedur kerja standar dan instruksi kerja harus ditulis dalam bahasa yang mudah dipahami oleh pekerja. Umumnya pada industri kimia hilir, sebagian besar pekerja produksi, gudang, enjinering dan Lab memiliki pendidikan yang rendah (SLTP, SLTA dan D3). Sebaiknya dalam membuat prosedur kerja melibatkan para pekerja sehingga lebih sesuai dengan pemahaman pekerja dilapangan. Prosedur kerja standar juga harus lengkap, jelas dan tidak bertele-tele.

Hasil penelitian ini juga membuktikan bahwa untuk membuat prosedur kerja standar K3 atau BRK harus mengacu pada hasil analisis bahaya dan risiko. Prosedur K3 atau BRK tidak akan menjadi efektif dalam menurunkan tingkat kecelakaan atau potensi BRK ditempat kerja jika dibuat hanya mengacu pada literatur atau replikasi dari sistem lain meskipun dari industri sejenis. Setiap industri memiliki karakteristik proses dan bahaya sendiri-sendiri, oleh karena itu pengendalian bahaya dan risikonya juga harus disesuaikan dengan karakter masing-masing industri. Gambar 6.4 adalah merupakan ilustrasi proses pembuatan prosedur kerja standar yang direkomendasikan dari hasil penelitian ini.

Tabel 6.8. Prosedur Kerja Standar Terintegrasi dengan Sistem Manajemen K3, Kualitas dan Lingkungan.

No	Elemen Pengendalian BRK	Prosedur Kerja Standar	Prosedur BRK Terintegrasi	SMK3 Permenaker	OHSAS 18001:2007	ISO 9001:2008	ISO 14001:2004
1	Program and Training BRK	Prosedur Training	Memasukkan topik Bahaya Bahan Kimia, MSDS dan Bahaya Reaktifitas Kimia dalam Modul Training.	12	4.4.2, 4.3.4,	6.2	4.4.2
2	Analisis Bahaya dan Risiko BRK	Prosedur Ijin Kerja	Prosedur untuk pengecekan bahan kimia berbahaya dan reaktif	6.4	4.3.1	4.2	4.3.1
3		Prosedur Analisis Bahaya dan Risiko	Prosedur analisis bahaya reaktifitas kimia	6.1	4.3.1	4.2	4.3.1
4		Prosedur Penanganan Bahan Kimia Berbahaya	Prosedur Penanganan Bahan Kimia Reaktif	6.1	4.4.7	-	4.4.7
5		Prosedur Penanganan Tumpahan Bahan Kimia	Prosedur Penanganan Tumpahan Bahan Kimia Reaktif	6.1, 9.1	4.4.7	-	4.4.7
6		Prosedur Pengembangan Produk Baru	Prosedur Pengecekan Potensi BRK pada Produk Baru	3.1	4.4.6	7.3	4.4.6
7		Prosedur Perubahan Komposisi atau Modifikasi Produk	Prosedur Pengecekan Potensi BRK pada Produk yang di Modifikasi	3.1	4.4.6	7.3	4.4.6
8		Prosedur Perubahan Proses Produksi	Prosedur Pengecekan Potensi BRK pada Proses Baru	3.1	4.4.6	7.3	4.4.6
9		Prosedur Keadaan Darurat	Prosedur Penanganan Bahaya Reaktifitas Kimia	6.7, 8	4.4.7	-	4.4.7
10		Prosedur Ijin Kerja Bagi Kontraktor	Prosedur Pengecekan Potensi BRK pada area kerja. Training BRK untuk Kontraktor	6.4	4.4.6	4.3	4.4.6

No	Elemen Pengendalian BRK	Prosedur Kerja Standar	Prosedur BRK Terintegrasi	SMK3 Permenaker	OHSAS 18001:2007	ISO 9001:2008	ISO 14001:2004
11	Prosedur Standar Kerja Penanganan BRK	Prosedur Penerimaan Bahan Baku (Kelengkapan dokumen)	Kelengkapan MSDS, CoA, Label dan Simbol Hazard	5.1, 5.3, 9.2	4.4.6	7.4	4.4.6
12		Prosedur Pengecekan Kualitas Bahan Baku (QC Incoming raw materail)	Kemurnian Bahan Baku	5.2	4.5.1	7.4	4.5.1
13		Prosedur Permintaan dan Pengiriman Bahan Baku ke Produksi (BOM, Pelabelan)	Pelabelan dan penanganan bahan kimia berbahaya dan reaktif, penyimpanan sisa bahan baku.	2.2	4.4.6	7.5	4.4.6
14		Prosedur Proses Produksi (WI Proses)	Kontrol terhadap komposisi bahan baku, urutan proses pencampuran, tekanan, temperatur, pengambilan sampel.	2.2	4.4.6	7.5	4.4.6
15		Prosedur Sampling dan Pengecekan Kualitas Produk Antara dan Akhir	Cara sampling, waktu sampling, tempat sampling, spesifikasi, pelaporan hasil pengecekan.	2.2	4.5.1, 4.4.6	8.2	4.5.1, 4.4.6
16	Keamanan & Kenyamanan Lingkungan Kerja	Prosedur Penyimpanan Bahan Baku (Penempatan dan Pelabelan)	Pemisahan bahan-bahan kimia reaktif	9.3	4.4.6	4.15, 4.8	4.4.6
17		Prosedur dan Standar Kebersihan Tangki/Vessel	Cara membersihkan, standar kebersihan dan pengecekan kebersihan	6.5	4.4.6	4.9	4.4.6
18		Prosedur Penyimpanan dan Transfer Produk Antara dan Akhir	Tempat penyimpanan, kondisi penyimpanan, waktu penyimpanan, cara pemindahan/transfer.	9.3	4.4.6	7.5	4.4.6
19		Prosedur Pelabelan Tangki Proses dan Produk Antara	Bentuk label, penamaan tangki dan produk	9.3	4.4.6	4.8	4.4.6
20		Prosedur dan Jadwal Perawatan / Kalibrasi Alat dan Mesin	Prosedur untuk pengecekan bahan kimia berbahaya dan reaktif	6.5	4.5.1	7.6	4.5.1



Gambar 6.4. Rekomendasi Proses Pembuatan Prosedur Kerja Standar (SOP)

Pembuatan, modifikasi dan pengembangan prosedur kerja standar (SOP) harus memasukkan 3 faktor penting yaitu (1) masukkan dari pekerja, (2) masukkan dari hasil analisis bahaya dan risiko, (3) tahapan proses, manual mesin dan persyaratan standar baku. Pembuatan SOP dapat dilakukan oleh team atau perorangan yang ditugaskan dan memiliki kompetensi sesuai dengan prosedur yang dibuat. Setelah rancangan SOP selesai, tahap selanjutnya harus dilakukan tinjau ulang atau review yang dilakukan oleh team yang melibatkan pekerja, supervisor atau manajer berwenang yang akan melakukan *approval*. Semua masukkan dari team tinjau ulang harus dimasukkan kedalam SOP dengan melakukan perbaikan pada rancangan SOP. Setelah rancangan SOP diperbaiki maka diserahkan kepada supervisor atau manajer yang berwenang untuk melakukan persetujuan atau *approval*. Setelah SOP mendapat persetujuan oleh manajer berwenang maka SOP sudah dapat digunakan atau diimplementasikan. Dalam proses implementasi sebaiknya dilakukan tinjau ulang atau

review berkala untuk mendapatkan umpan balik dari pekerja yang menggunakan SOP tersebut, jika ada perbaikan maka harus dilakukan persetujuan ulang oleh manajer berwenang.

#### **6.6.5. Pemeliharaan Keamanan/Kenyamanan Lingkungan Kerja**

Didalam SMK3 Permenaker pada lampiran I poin 3.3.4 tentang Perancangan (Design) dan Rekayasa disebutkan bahwa pengendalian risiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja dalam proses rekayasa harus dimulai sejak tahap perancangan dan perencanaan. Setiap tahap dan siklus perancangan meliputi pengembangan, verifikasi ulang, validasi dan penyesuaian harus dikaitkan dengan identifikasi sumber bahaya, prosedur penilaian dan pengendalian risiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa faktor keamanan dan kenyamanan lingkungan hanya berpengaruh terhadap proses penyimpanan bahan baku dan produk, secara tidak langsung faktor lingkungan juga berpengaruh terhadap terjadinya kontaminasi bahan baku atau produk baik digudang maupun di area produksi. Keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja yang dimaksud dalam penelitian ini adalah kebersihan dan kerapian area dan alat kerja, perawatan mesin dan alat kerja, alur proses atau tata letak dan ruang, pencahayaan, ventilasi, teknologi keselamatan dan alat-alat keselamatan kerja.

Berdasarkan hasil observasi dilapangan ditemukan bahwa:

1. Tempat dan tata ruang penyimpanan sangat terbatas. Pembagian area penyimpanan baik digudang maupun di area produksi untuk produk antara juga sangat terbatas dan tidak tertata dengan baik. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pengambilan bahan baku yang dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi atau pengotor. Penempatan bahan baku digudang yang tidak teratur dan ditumpuk juga memungkinkan terjadinya kontaminasi bahan baku.
2. Ditemukan beberapa bahan baku tanpa label atau label tidak jelas. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam penggunaan bahan baku.
3. Beberapa area dan alat kerja yang kurang bersih dan rapi, terutama pada PT XYZ dan PT PQR dimana kedua perusahaan ini memiliki jumlah dan jenis produk yang sangat bervariasi dan banyak, hal ini menyebabkan

siklus produksi tinggi dan jumlah bahan baku dan produk antara di area produksi juga banyak. Disamping kemungkinan terjadinya kontaminasi, kondisi ini juga sangat rentan terhadap tertukarnya bahan baku atau produk antara.

4. Pencahayaan dan ventilasi sudah cukup baik. Meskipun pada PT XYZ plant A ditemukan bau solven yang sangat menyengat, hal ini bukan disebabkan oleh ventilasi yang kurang baik akan tetapi disebabkan oleh penanganan solven yang tidak tepat.
5. Alat pelindung diri kurang mencukupi dan tidak sesuai standar terutama pada PT XYZ dan PT PQR.
6. Beberapa alat-alat produksi berada dalam kondisi kurang baik dan tidak terawat terutama pada PT XYZ Plant B.

Tabel 6.9. Rekomendasi Program Pemeliharaan Keamanan dan Kenyamanan Lingkungan Kerja untuk Mengurangi BRK

No	Program	Keterangan	Referensi
1	Perawatan Rutin (Routine Maitenance)	Program dan jadwal perawatan mesin dan alat-alat produksi harus dimasukkan dalam SOP	ISO 9001, OHSAS 18001
2	Kalibrasi Alat	Alat-alat ukur seperti timbangan, pengukur tekanan, pengukur suhu dan pengukur aliran harus dikalibrasi secara periodik.	ISO 9001, OHSAS 18001
3	Program kebersihan dan kerapian (Houskeeping)	Program kebersihan dan kerapian harus masuk dalam prosedur kerja standar.	Program 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin)
4	First In First Out (FIFO)	Sistem kontrol terhadap bahan baku yang lama dan baru harus diterapkan secara baik untuk menghindari bahan baku kadaluarsa.	
5	Layout atau Tata Ruang Alur Proses Produksi	Penataan alur proses produksi yang efektif dan efisien untuk mengurangi potensi kesalahan pencampuran, kontaminasi dan kesalahan penyimpanan	
6	Rambu-Rambu K3 dan <i>Marking Line</i>	Penempatan rambu-rambu K3 dan <i>marking line</i> untuk meningkatkan kewaspadaan pekerja.	
7	<i>Engineering Control System</i>	Sistem pengendalian bahaya dengan <i>engineering control</i> .	NFPA, OSHA
8	Alat Pelindung Diri (APD)	Sistem perlindungan menggunakan alat pelindung diri yang sesuai.	NIOSH, OSHA

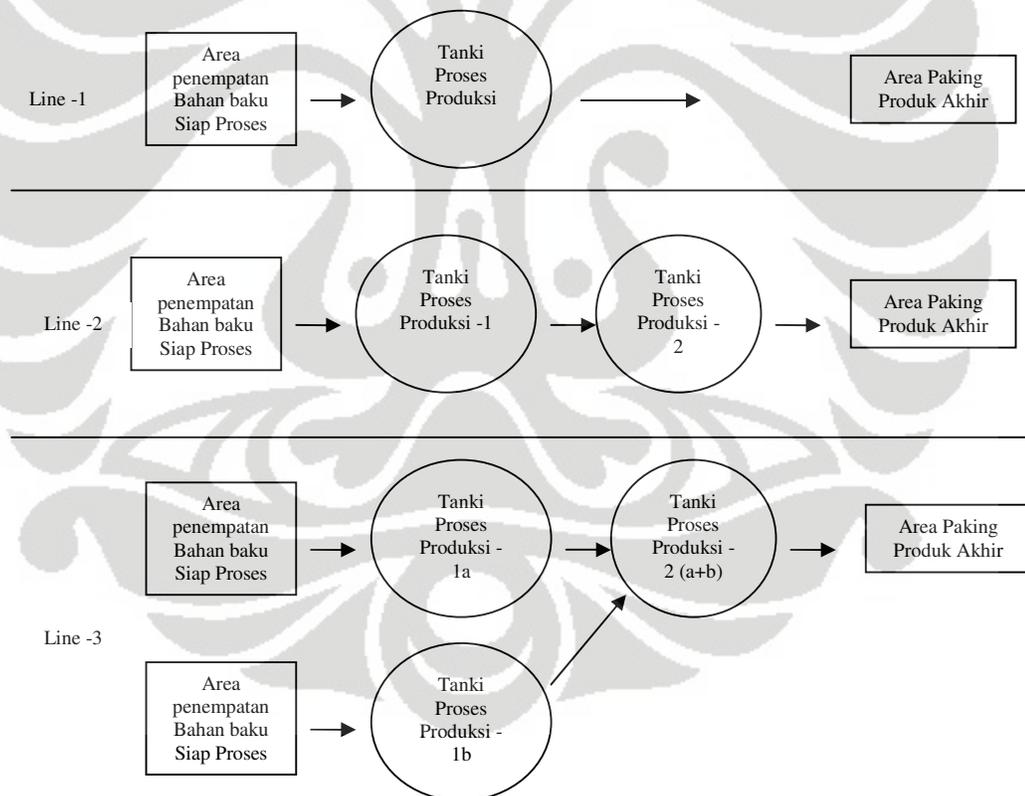
Semua temuan diatas dapat berpotensi menyebabkan terjadinya kontaminasi bahan baku atau produk baik diarea produksi maupun gudang. Kontaminasi tidak hanya menyebabkan produk cacat (*quality defect*) akan tetapi juga berpotensi menyebabkan terjadinya BRK. Untuk mengurangi terjadinya potensi BRK yang diakibatkan oleh faktor lingkungan, beberapa rekomendasi untuk menjaga dan meningkatkan kondisi lingkungan kerja dapat dilihat pada Tabel 6.9. Semua program untuk memperbaiki lingkungan kerja tersebut harus mengacu pada hasil analisis bahaya dan risiko yang sudah dilakukan sehingga perbaiki lingkungan kerja benar-benar dapat mengurangi potensi terjadinya kecelakaan BRK.

Ada 8 rekomendasi program lingkungan kerja yang dapat dilakukan untuk menurunkan potensi BRK pada industri kimi hilir. Sebagian dari program tersebut merupakan bagian dari sistem manajemen kualitas dan keselamatan.

1. Perawatan Rutin; mesin dan alat-alat kerja yang digunakan untuk proses produksi harus dijaga agar selalu dalam kondisi baik atau berfungsi secara baik. Untuk menjaga mesin dan peralatan produksi agar tetap berfungsi secara baik maka diperlukan perawatan secara rutin dan berkala.
2. Kalibrasi Alat; kalibrasi alat-alat ukur merupakan hal yang sangat penting untuk menjaga kuakurasian pengukuran yang dilakukan. Alat-alat yang pada umumnya perlu dikalibrasi secara berkala dan rutin adalah timbangan, pressure gauge, flow meter, termometer dan alat ukur yang digunakan di laboratorium. Alat-alat ukur yang sudah dikalibrasi harus diberi label kalibrasi yang mencantumkan waktu kalibrasi, hasil kalibrasi dan waktu untuk kalibrasi ulang. Kalibrasi dapat dilakukan secara internal atau oleh pihak ketiga yang memiliki otorisasi. Alat-alat ukur yang terkalibrasi secara baik akan mengurangi potensi terjadinya kesalahan parameter proses dan ketidaksempurnaan pencampuran yang dapat menyebabkan terjadinya BRK.
3. Program Kebersihan dan Kerapian; kebersihan dan kerapian area kerja akan meningkatkan kenyamanan dalam bekerja dan mengurangi potensi terjadinya kesalahan kerja seperti kontaminasi produk, kesalahan pencampuran dan kesalahan penyimpanan. Salah satu program yang sangat populer dan banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk menjaga kebersihan dan kerapian area kerja adalah program 5R. 5R yang

merupakan singkatan dari Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin dapat digunakan untuk mencegah potensi BRK pada industri kimia hilir yang menggunakan bahan kimia, tangki atau vesel dan produk yang dihasilkan dalam jumlah yang cukup banyak dan bervariasi. Penerapan prinsip-prinsip 5R secara konsisten dan baik akan sangat efektif dalam menurunkan potensi BRK seperti yang dilakukan oleh PT CDF.

4. *Firts In First Out (FIFO)*; adalah sistem kontrol terhadap penggunaan bahan baku dimana bahan baku digunakan berdasarkan tanggal kedatangan ke gudang penyimpanan. Bahan baku yang kedatangan lebih awal harus digunakan lebih dahulu untuk proses produksi guna menghindari bahan baku melewati masa kadaluarsa. Untuk memudahkan proses FIFO maka penyimpanan di gudang harus ditempatkan berdasarkan urutan kedatangan bahan baku.



Gambar 6.5. Ilustrasi Layout Alur Proses dengan Sistem Series untuk Industri Kimia Hilir

5. *Layout* dan Tata Ruang Alur Proses Produksi; penataan ruang atau layout alur proses produksi yang baik dapat meningkatkan efisiensi proses produksi, mengurangi potensi terjadinya kesalahan pencampuran dan kontaminasi produk dan meningkatkan kenyamanan dan keamanan kerja. *Layout* dan tata ruang proses produksi harus mencerminkan alur proses pembuatan produk. Secara sederhana dapat digambarkan layout proses produksi yang direkomendasikan pada industri kimia hilir seperti pada Gambar 6.5. Alur proses sebaiknya mengikuti rangkaian seri untuk proses yang berurutan dan paralel untuk proses yang dilakukan bersamaan. Alur proses sebaiknya mengikuti aliran bahan baku hingga menjadi produk akhir di paking area. Hal ini akan memudahkan sistem kontrol terhadap proses produksi.
6. Rambu-rambu K3 dan *marking line*; pembuatan rambu dan penandaan bisa sejalan dengan program 5R. Rambu-rambu K3 (*safety signage*) sangat penting dalam mengurangi perilaku atau tindakan tidak aman dari pekerja. Dalam ilmu perilaku keselamatan ABC model, rambu-rambu dan *marking line* merupakan salah satu aktivator bagi perilaku seorang pekerja (Geller E.S., 2000). Penempatan rambu K3 dan *marking line* juga merupakan salah satu bentuk intervensi untuk mengubah perilaku pekerja. Menurut Geller (2000), untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari proses intervensi ini maka ada beberapa hal yang harus dipenuhi dalam suatu aktivator, yaitu:
  - a. *Specify behavior*; aktivator harus dibuat spesifik untuk perilaku tertentu, misalnya rambu wajib memakai helm di area kerja tertentu.
  - b. *Maintain salience with novelty*; aktivator harus dapat memberikan dampak jangka panjang, oleh sebab itu aktivator harus memiliki pesan yang akan membekas dalam pikiran pekerja dan selalu dapat diingat.
  - c. *Vary the message*: aktivator sebaiknya memiliki pesan yang bervariasi, oleh karena itu rambu juga harus dapat diganti atau dengan membuat slogan-slogan K3 yang bervariasi.
  - d. *Involve target audience*: dalam membuat aktivator sebaiknya melibatkan pekerja untuk mendapatkan disain rambu yang baik dan mudah dipahami oleh pekerja.

- e. *Activate close to response opportunity*; penempatan aktivator harus sesuai dan dekat dengan target atau mudah dilihat oleh pekerja.
- f. *Implicate consequences*; aktivator juga dapat merefleksikan atau memberi pesan konsekuensi jika terjadi pelanggaran.

Untuk rambu K3 yang standar dan *marking line* pada umumnya sudah ada standar ukuran, bentuk dan warna yang ditetapkan oleh peraturan lokal atau internasional.

7. *Engineering Control*; , yaitu dengan menambahkan berbagai peralatan dan mesin yang dapat mengurangi bahaya dari sumbernya. Contohnya adalah penggunaan exhaust dan sistem ventilasi untuk meminimalisir bahaya debu atau gas. Akan tetapi pengendalian dengan *system engineering control* membutuhkan dana yang cukup besar. *Engineering control* harus dilakukan berdasarkan analisis bahaya dan risiko sehingga diperoleh proteksi yang maksimum dari *engineering control* tersebut.

Tabel 6.10. Jenis Bahaya dan APD yang Diperlukan pada Industri Kimia Hilir

No	Tubuh Yang Dilindungi	Bahaya	APD
1	Mata	Percikan bahan kimia, debu, proyektil, gas, uap, radiasi	<i>safety spectacles, goggles, faceshields, visors.</i>
2	Kepala	Kejatuhan benda, benturan, rambut tertarik mesin	<i>Helmet</i>
3	Sistem pernapasan	Debu, gas, uap, fume, kekurangan oksigen	Respirator, alat bantu pernapasan
4	Melindungi badan	Panas berlebihan, tumpahan atau percikan bahan kimia	<i>Cover all</i> , pakaian anti panas/api
5	Tangan	Panas, terpotong, bahan kimia, sengatan listrik	Sarung tangan
6	Kaki	Tumpahan bahan kimia, tertimpa benda, sengatan listrik	Sepatu <i>safety</i>

8. Alat pelindung diri (APD); definisi APD dalam HSE regulasi adalah semua peralatan yang melindungi pekerja selama bekerja termasuk pakaian yang harus di pakai pada saat bekerja, pelindung kepala (helmet), sarung tangan (gloves), pelindung mata (eye protection), pakaian yang bersifat reflektive, sepatu, pelindung pendegaran (hearing protection) dan pelindung

pernapasan (masker). [HSE, 1992]. Penggunaan APD di tempat kerja di sesuaikan dengan pajanan bahaya yang di hadapi di area kerja. Tabel 6.10 memperlihatkan jenis bahaya dan APD yang diperlukan di area kerja pada industri kimia hilir. Penggunaan APD secara benar dan tepat dapat meningkatkan rasa aman dan nyaman dalam melakukan pekerjaan. Hal ini akan dapat mengurangi perilaku tidak aman yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja.

### **6.7. Rekomendasi Penerapan Sistem Pengendalian Bahaya Reaktifitas Kimia**

Untuk kemudahan dan kepraktisan dalam penerapan sistem pengendalian BRK ini, ada 7 tahapan yang direkomendasi dalam penerapan sistem pengendalian BRK pada industri kimia hilir. Gambar 6.6 merupakan langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam penerapan sistem pengendalian BRK.

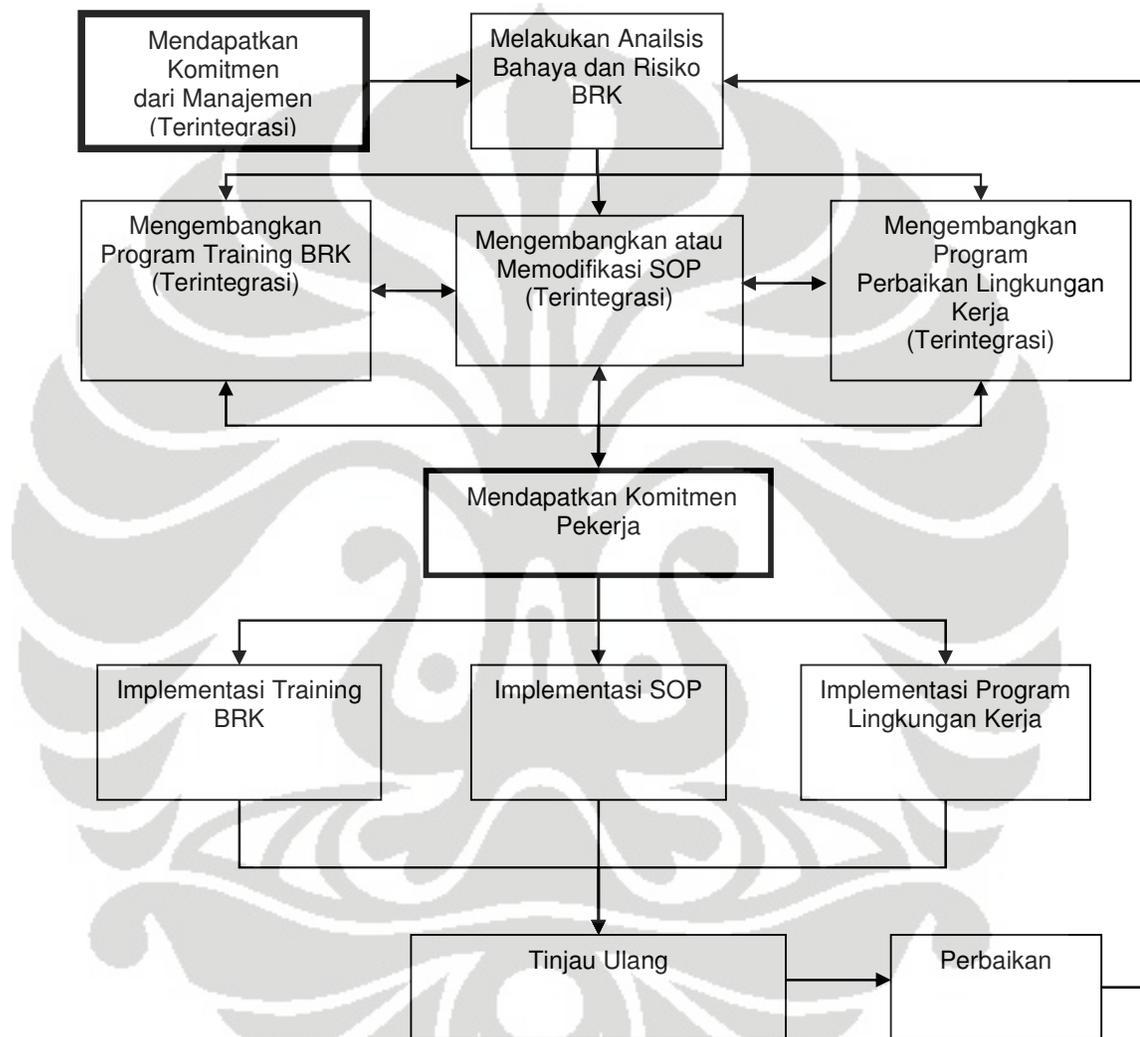
**Tahap-1 :** Mendapatkan komitmen dari manajemen untuk menerapkan sistem pengendalian BRK pada fasilitas perusahaan. Untuk mendapatkan komitmen dari manajemen diperlukan penjelasan mengenai tujuan, ruang lingkup, sistem pelaksanaan dan dampak bagi perusahaan kepada pihak manajemen. Jika diperlukan dapat diundang pakar yang memahami BRK untuk menjelaskan kepada pihak manajemen. Komitmen manajemen ini kemudian dikomunikasikan kepada seluruh pekerja.

**Tahap-2:** Melakukan analisis bahaya dan risiko pada seluruh fasilitas yang terkait dengan proses produksi. Analisis bahaya dan risiko dimulai dengan pembentukan tim yang ditunjuk secara resmi oleh manajemen, sehingga memiliki kewenangan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan.

**Tahap-3:** Setelah memperoleh hasil analisis bahaya dan risiko pada fasilitas perusahaan, kemudian secara paralel dikembangkan program training BRK, membuat SOP dan program lingkungan kerja. Untuk mengembangkan prosedur kerja standar dan program lingkungan kerja harus mengacu pada hasil rekomendasi dari analisis bahaya dan risiko. Melibatkan pekerja dalam mengembangkan program training, pembuatan SOP dan program lingkungan kerja.

**Tahap-4:** Melakukan komunikasi kepada pekerja mengenai program yang akan diterapkan guna mengendalikan BRK pada fasilitas perusahaan, hal ini dilakukan untuk mendapatkan komitmen dan dukungan dari seluruh pekerja.

**Tahap-5:** Melaksanakan semua program BRK yang sudah direncanakan, dimulai dengan melakukan training bagi pekerja agar memahami sistem pengendalian BRK ditempat kerja. Kemudian dilanjutkan dengan menerapkan prosedur kerja standar dan program lingkungan kerja.



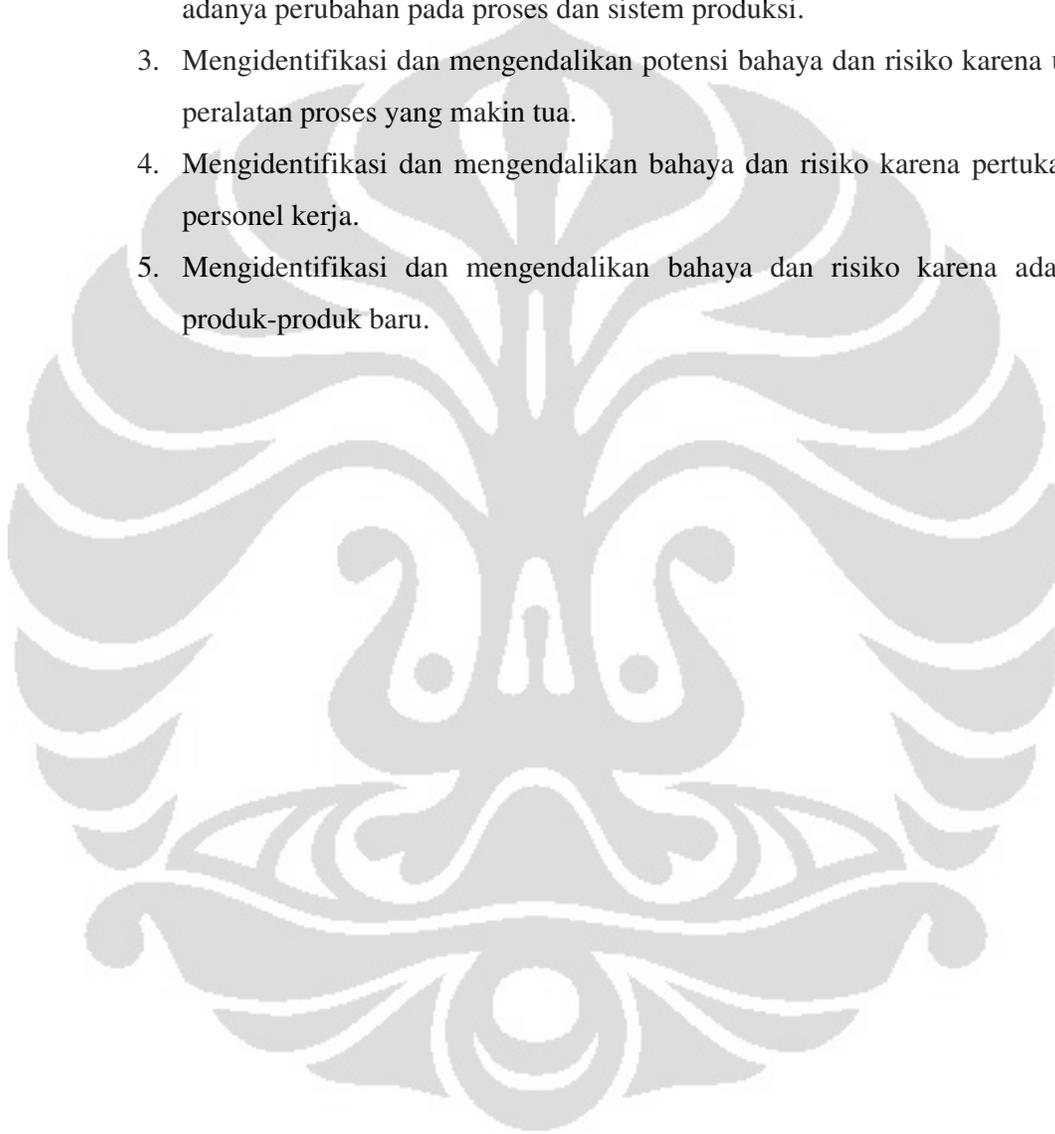
Gambar 6.6. Tahapan Penerapan Sistem Pengendalian BRK pada Industri Kimia Hilir.

**Tahap-6:** Melakukan tinjau ulang secara berkala untuk melihat efektifitas pelaksanaan sistem pengendalian BRK dan mengidentifikasi kekurangan sistem untuk dapat ditingkatkan.

**Tahap-7:** Melakukan perbaikan berdasarkan rekomendasi dari hasil tinjau ulang.

Ketujuh tahapan penerapan sistem pengendalian BRK ini merupakan siklus proses sistem pengendalian yang harus dilakukan secara terus menerus. Siklus ini harus dijalankan secara berkesinambungan untuk:

1. Meningkatkan sistem pengendalian BRK kearah yang lebih baik,
2. Mengidentifikasi dan mengendalikan adanya bahaya dan risiko baru karena adanya perubahan pada proses dan sistem produksi.
3. Mengidentifikasi dan mengendalikan potensi bahaya dan risiko karena usia peralatan proses yang makin tua.
4. Mengidentifikasi dan mengendalikan bahaya dan risiko karena pertukaran personel kerja.
5. Mengidentifikasi dan mengendalikan bahaya dan risiko karena adanya produk-produk baru.



## **BAB 7**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1. Kesimpulan**

1. Hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa terdapat potensi yang cukup tinggi terjadinya kecelakaan bahaya reaktifitas kimia pada industri kimia hilir dapat diterima. Hal ini dibuktikan dari hasil kajian bahaya reaktifitas kimia 351 produk antara dan akhir diperoleh jumlah produk antara dan akhir yang memiliki potensi interaksi/reaksi bahan baku dalam formulanya adalah 32%, dimana jumlah pasangan interaksi/reaksi kimia dengan  $IB = 1$  (bahaya sangat tinggi) adalah 21% dan jumlah pasangan interaksi/reaksi kimia dengan  $IB = 0.75$  (bahaya tinggi) adalah 11%. Sedangkan jumlah produk yang berpotensi saling berinteraksi/bereaksi jika tercampur adalah 295 produk (84%) dengan total pasangan campuran 15042, dimana jumlah pasangan produk yang dapat berinteraksi/bereaksi dengan  $IB = 1$  adalah 18%, jumlah pasangan produk yang dapat berinteraksi/bereaksi dengan  $IB = 0.75$  adalah 32%.
2. Persamaan SIB yang memasukan faktor Sistem Manajemen Keselamatan (FSMK), Faktor Pekerja (FP) dan Faktor Teknologi Keselamatan (FTK) terbukti lebih dapat menurunkan IB pada industri kimia hilir.
3. Hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa faktor pekerja memberikan kontribusi paling besar yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan bahaya reaktifitas kimia yang dipicu oleh pengotor, kesalahan pencampuran, kesalahan kondisi proses, ketidak sempurnaan pencampuran dan kesalahan penyimpanan pada industri kimia hilir di Indonesia dapat diterima. Berdasarkan hasil KJ analisis BRK; faktor pekerja (FP) dapat menurunkan 44% potensi BRK, faktor sistem manajemen keselamatan (FSMK) dapat menurunkan potensi BRK 33% dan faktor teknologi keselamatan (FTK) dapat menurunkan 23% potensi BRK.

4. Hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen keselamatan, kualitas dan lingkungan untuk mengendalikan bahaya reaktifitas kimia dapat diterima. Hal ini dibuktikan dari hasil temuan penelitian pada tiga perusahaan industri kimia hilir sebagai berikut:
  - a. PT XYZ yang sudah menerapkan ISO 9001 dapat menurunkan 47% indeks risiko BRK.
  - b. PT PQR yang sudah menerapkan ISO 9001 + GMP + Corporate Safety Program dapat menurunkan 90% indeks risiko BRK.
  - c. PT CDF yang sudah menerapkan ISO 9001+ ISO 14001 + OHSAS 18001 + SMK3 + PSM + BS8800 dapat menurunkan 97% indeks risiko BRK.
5. Dari model penyebab BRK yang dikembangkan terdapat 7 variabel laten yang mempengaruhi baik langsung maupun tidak langsung terjadinya BRK pada industri kimia hilir, yaitu: komitmen K3, training, analisis risiko, kompetensi pekerja, faktor pekerja, prosedur kerja standar dan lingkungan kerja. Dan terdapat dua variabel laten yang berpengaruh secara langsung terhadap terjadinya bahaya reaktifitas kimia, variabel tersebut adalah faktor kesalahan pekerja yang mempengaruhi terjadinya kesalahan pencampuran dan parameter proses, variabel yang lain adalah lingkungan kerja yang mempengaruhi kesalahan penyimpanan.
6. Penelitian ini juga membuktikan bahwa Program perangkat lunak CRW 2 dari NOAA cukup efektif digunakan untuk menganalisis bahaya reaktifitas bahan baku kimia, produk antara dan produk akhir. Pada umumnya industri kimia hilir di Indonesia memiliki sumber daya yang sangat terbatas sehingga hampir tidak memungkinkan untuk melakukan pengujian reaktifitas kimia di laboratorium, maka alternatif penggunaan program perangkat lunak menjadi alternatif paling tepat efisien dan efektif. Namun penggunaan program perangkat lunak CRW 2 harus didukung dengan kelengkapan informasi bahan baku kimia seperti lembar data keselamatan bahan (LDKB).

7. Metoda kajian berlapis BRK (CRH layer assessment) yang dikembangkan pada penelitian ini untuk industri kimia hilir terbukti dapat mengidentifikasi potensi BRK. Metoda kajian berlapis yang dimodifikasi dari metoda yang dikembangkan oleh Shah et.al (2005), yaitu merupakan kajian yang dilakukan secara bertahap dan simultan terbukti efektif dalam menggali potensi BRK pada industri kimia hilir.
8. Metode KJ analisis yang dikembangkan oleh Jiro Kawakita dapat digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi penyebab terjadinya suatu skenario kecelakaan melalui curah pendapat yang melibatkan pekerja mulai dari level paling bawah (operator) sampai level manajemen (Direktur). Metoda KJ analisis pada umumnya digunakan sebagai tools untuk memperbaiki kinerja bisnis. Pada penelitian ini metoda KJ analisis digunakan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya kecelakaan BRK dari skenario terburuk yang dikembangkan ternyata dapat menggali secara mendalam potensi penyebab terjadinya skenario kecelakaan BRK tersebut.

## **7.2. Saran**

Dari pengalaman selama melakukan penelitian dan hasil penelitian yang diperoleh, ada beberapa saran yang ingin peneliti sampaikan kepada pihak pemerintah, perusahaan dan peneliti-peneliti lain yang mengkaji BRK pada IKH:

### **Untuk Pemerintah:**

1. Membuat standar (SNI) pengendalian bahaya reaktifitas kimia untuk industri kimia hilir.
2. Melakukan pengawasan yang lebih ketat dalam penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja umumnya dan pengendalian bahaya reaktifitas kimia khususnya..
3. Mewajibkan semua industri kimia hilir untuk menerapkan *Global Harmonize System* (GHS), sehingga penggunaan dan kelengkapan Lembar Data Keselamatan Bahan (LDKB) dan sistem pelabelan bahan kimia menjadi lebih baik.

**Untuk Kelompok Akademis dan Peneliti:**

- a. Perlu dikembangkan program perangkat lunak untuk menghitung SIB dan SIR BRK pada IKH dan dilakukan uji coba pada IKH yang lebih luas.
- b. Perlu dilakukan penelitian tentang efektifitas penerapan sistem pengendalian BRK yang diusulkan.
- c. Pengembangan penelitian tentang kemampuan dan pemahaman terhadap Lembar Data Keselamatan Bahan (LDKB) dari produsen dan konsumen bahan kimia di Indonesia.
- d. Pengembangan penelitian tentang efek domino dan dampak lingkungan dari BRK pada industri kimia hilir.
- e. Perlu dilakukan penelitian tentang efek kesehatan dari BRK.

**Untuk Industri Kimia Hilir:**

1. Komitmen manajemen terhadap pengendalian bahaya reaktifitas kimia perlu lebih ditingkatkan.
2. Perlu dilakukan peningkatan pengetahuan dan pemahaman para pekerja tentang proses kimia dan fisika, bahaya bahan kimia dan reaktifitas kimia.
3. Perlu dilakukan analisis risiko bahaya reaktifitas kimia pada keseluruhan fasilitas produksi dan penyimpanan.
4. Memasukkan sistem dan program pengendalian BRK yang diusulkan dalam penelitian ini kedalam sistem manajemen yang ada (diintegrasikan).
5. Melakukan pengawasan dan tinjau ulang terhadap pelaksanaan sistem pengendalian bahaya reaktifitas kimia secara berkala.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- AICHe. 1995. Guidelines For Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design, Center for Chemical Safety of the Institute of Chemical Engineers, 345 East 47th street, New York, New York 10017
- ASTM (2005). The ASTM Computer Program for Chemical Thermodynamic and Energy Release Evaluation, User Guide. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshocken. USA.
- Asfahl, C.R. (1990). Industrial Safety and Health Management, second edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Bellamy, L.J., Geyer T.A.W. and Wilkonson. (2008). Development of a functional model which integrates human factors, safety management system and wider organizational issues. *Journal of Safety Science* 46, 461-492.
- Berger, S. (2006). AICHe Initiatives to Promote Effective Management of Chemical Reactivity Hazards. Published online 16 March 2006 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI 10.1002/prs.10130
- BPS. 2008. <http://www.bps.go.id/index.shtml>, Selasa 20 Maret 2008
- Carson, P. (2002). Hazardous Chemicals Handbook. Butterworth-Heinemann An imprint of Elsevier Science. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP. 225 Wildwood Avenue, Woburn, MA 01801-2041.
- CCPS. (1992). Guidelines For Hazard Evaluation Procedures. American Institute of Chemical Engineers. 345 East 47th Street, New York, NY 10017.
- CCPS. (2001). Reactive Material Hazards. CCPS Safety Alert • October 1, 2001
- CCPS. (1995). Guideline For Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design. American Institute of Chemical Engineers. 345 East 47th Street, New York, NY 10017.
- CCPS. (1996). Integrating Process Safety Management, Environment, Safety, Health, and Quality. American Institute of Chemical Engineers. 345 East 47th Street, New York, New York 10017.
- Choudhry, R.M., Fang D. and Mohamed S. (2007). The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. *Safety Science* 45, 993–1012.
- Cooper, D. (2001). Improving Safety Culture, A Pratical Guide. Applied Behavioral Science. UK.
- Cui, L., Zhao, J., Qiu, T. and Chen, B. (2008). Layered Digraph Model for HAZOP Analysis of Chemical Processes. *Willey Interscience, Process Safety Progress* Vol. 27, No.4.

- Cross, J. (1998). Study Notes, SESC9211 Risk Management. Departmen of Safety Science, University of New South Wales, Sydney 2052
- Daniel, A. & Crowl, T.I. (2004). Identifying criteria to classify chemical mixtures as ‘highly hazardous’ due to chemical reactivity. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17, 279–289.
- DeJoy, D.M. (2005). Behavior change versus culture change: Divergent approaches to managing workplace safety. *Safety Science* 43, 105–129.
- Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. (2008). Data Kecelakaan Kerja. <http://www.nakertrans.go.id/pusdatin.html>,16,naker.
- Departemen Perindustrian Republik Indonesia. (2008). Direktori Profil Perusahaan. <http://www.depperin.go.id/Content2.asp?kd4dg=0202#0202>.
- DeReamer (1981). *Modern Safety and Health Technology*. Willey interscience, New York.
- Dingsdag, D.P., Biggs, H.C. and Sheahan, V.L. (2008). Understanding and defining OH&S competency for construction site positions: Worker perceptions. *Safety Science* 46, 619–633.
- DNV. (1994). *International Safety rating System*, 6 edition. Publishedby DNV Managemen Services, Palce house, 3 Cathedral Street, London SE1 9DE.
- Eckhoff, R.K. (2005). *Explosion Hazards in The Process Industries*. University of Bergen, Norway.
- EPA 550-F-04-004, May 2004. *Identifying Chemical Reactivity Hazards: Preliminary Screening Method*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA 550-F-04-005, February 2005. *Managing Chemical Reactivity Hazards*. United States Environmental Protection Agency.
- Gallagher, C., Underhill, E. and Rimmer, M. (2001). *Occupational Health and Safety Management System-A Review of their Effectiveness in Securing Healthy and safe Workplaces*. Nasional Occupational Health and Safety Commision, Sydney.
- Grote, G. (2007). Understanding and assessing safety culture through the lens of organizational management of uncertainty. *Safety Science* 45, 637–652.
- Hair, J. F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R. E. and Tatham, R.L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. Six Edition. Pearson Prentice Hall, Pearson Education International.
- Heinrich, H.W., Petersen, D. and Ross N. (1980). *Industrial Accident Prevention – A Safety Management Approach*. Fifth Edition. McGraw-Hill Book Company.

- Herrero, G.S., Saldan, M.A.M., Campo, M.A.M. and Ritzel D.O. (2002). From the traditional concept of safety management to safety integrated with quality. *Journal of Safety Research*, 33 (2002) 1 – 20.
- Hoyos, C.G. and Zimohong, B. (1988). *Occupational Safety and Accident Prevention-Behavioral Strategies and Methods*. Elsevier, New York.
- Hudson, P. (2007). Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety Science* 45, 697–722.
- Info Safety. (2009). Mengenal OHSAS 18001 dalam Penerapan SMK3. <http://programsafety.blogspot.com/2009/03/22.50>.
- Jatiputra, S. and Yovsyah. (1991). *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.
- Johnson, R.W. (2006). *Chemical Reactivity Hazards-Instructional Module*. CCPS, AIChE. USA.
- Johnson, R.W., Rudy, S.W and Unwin S.D. (2003). *Essential Practice Managing Chemical Reactivity Hazards*, Center for Chemical Safety of the Institute of Chemical Engineers, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5991.
- Joseph, G. (2003). Recent reactive incidents and fundamental concept that can help prevent them. *Journal of Hazardous Materials* 104, 65–73.
- Kraus, L.J. and Grosskopf, J. (2008). Auditing Integrated Management Systems: Considerations and Practice Tips. Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI: 10.1002/tqem.20202.
- Kresno, S., Hadi, E.N., Wuryaningsih, C.E. and Ariawan, I. (2000). *Aplikasi Metode Kualitatif dalam Penelitian Kesehatan*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Depok.
- Koller, G., Fischer, U. and Hungerböhler K. (2000). Assessing Safety, Health, and Environmental Impact Early during Process Development. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2000, 39 (4), 960-972.
- Laskova, A. & Tabas, M. (2008). Method for the Systematical Hazard Identification. Published online 11 June 2008 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI 10.1002/prs.10265.
- Legget, D. (2004). Chemical reactivity assessments in R&D. *Journal of Hazardous Materials* 115, 63–70.
- Leggett, D.J. (2006). Rapid Identification of Reactivity Hazards in a Multiuse Facility. Published online 3 January 2006 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI 10.1002/prs.10119.

- Makin, A.M. & Winder, C. (2008). A new conceptual framework to improve the application of occupational health and safety management systems. *Journal of Safety Science* 46, 935-948.
- Martin, E. (2006). *Survey Questionnaire Construction*. U. S. Census Bureau, Washington D.C.
- Medan Online. (2008). Penerapan K3 Sangat Buruk. <http://www.medanbisnisonline.com/2008/10/31>.
- Moder, K.P., Russo, J.P., Justiniano, F., Marshall, W.F., Mcghee, T.H., Stankovich, R. and Frank W.L. (2007). Development of a Hazardous Material Compatibility Storage Guideline and Tool. Published online 5 February 2007 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI 10.1002/prs.10186.
- Moleong, L.J. (2006). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung.
- Mullen, J. (2004). Investigating factors that influence individual safety behavior at work. *Journal of Safety Research* 35, 275– 285.
- Paul, P.S. & Maiti, J. (2007). The role of behavioral factors on safety Management in underground mines. *Safety Science* 45, 449–471.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER.05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- PP 74 tahun 2001. Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).
- Poerwandari, K. (2005). *Pendekatan Kualitatif Untuk Penelitian Perilaku Manusia*. Fakultas Psikologi, Universitas Indonesia, Depok.
- Pojasek, R.B. (2006). Is Your Integrated Management System Really Integrated?. Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)). DOI: 10.1002/tqem.20124.
- Ramli, S. (2004). *Road Map Sistem Manajemen K3*. INRESH Consulting. Jakarta.
- Rasmussen, B. (1989). Chemical Process Hazard Identification. *Reliability Engineering and System Safety* 24, 11-20.
- Reason, J. (2000). *Human Error: Model and Management*. *British Medical Journal*, 320 : 768-770.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Reason, J. (1997). *Managing the Risk of Organization Accidents*. Ashgate Publishing Limited. England.

- Rosenstock, L., Cullen, M. and Fingerhut, M. (2004), Disease Control Priorities in Developing Countries.
- Roy, M. (2003). Self-directed workteams and safety: a winning combination?. *Safety Science* 41, 359–376.
- Rundmo, T. & Hale, A.R. (2003). Managers' attitudes towards safety and accident prevention. *Safety Science* 41, 557–574.
- Safety Alert (October 1, 2001). Reactive Material, What You Need To Know, Hazards. CCPS.
- Saraf, S.R., Rogers, W.J. and Mannan, M.S. (2003). Prediction of reactive hazards based on molecular structure. *Journal of Hazardous Materials A98*, 15–29.
- Sarwono, J. (2006). Analisis Data Penelitian Menggunakan SPSS. Penerbit C.V Andi Offset. Yogyakarta.
- Savic, S. (2001). Integrasi of Management System in Terms of Optimization of Workplace Human Performance. *FACTA Universities. Working and Living Environmental Protection*. Vol 2. N. 1, 2002, pp 27-38.
- Shah, S., Fischer, U. and Hungerbühler, K. (2005). Assessment of chemical process hazards in early design stages. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18, 335–352.
- Shah, S., Fischer, U., and Hungerbühler, K. (2005). Assessment of chemical process hazards in early design stages. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18, 335–352.
- Srinivasan, R. & Nhan, N.T. (2007). A statistical approach for evaluating inherent benign-ness of chemical process routes in early design stages. *Process safety and environmental protection* xxx, xxx–xxx.
- Sugiyono, (2005). *Statistika Untuk Penelitian*. Penerbit Alfabeta, Bandung
- Syaaf, R. Z. (2008). *Konsep dan Teori-Teori Perilaku dalam Bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.
- Theodore, S., Glickman, and Erkut, E. (2007). Assessment of hazardous material risks for rail yard safety. *Safety Science* 45, 813–822.
- U.S.Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Reactive Explosion at First Chemical Corp. Investigation Digest, Published October 2004.
- U.S.Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Refinery Explosion and Fire, Investigation Report NO. 2005-04-I-TX, Maret 2007.
- Wiegman, D.A and Shappell, S.A. (2003). *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis*. Ashgate Publishing Limited. England.

Wikipedia. (2010). [http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_operating\\_procedure](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_operating_procedure). May 07, 2010.

Winder, C. & Zarei, A. (2000). Incompatibilities of chemicals .Journal of Hazardous Materials ,A79, 19–30.

WWW.osha.gov (2.19 p.m. 09/19/2007). OSHA Technical Manual (OTM). Section 5-Safety Hazards, Chapter 2-Petroleum Refining Proscess., US Department of Labour.

Zar, J.H., (1999). Biostatistical Analysis, 4<sup>th</sup> Edition. Department of Biological Sciences, Northen Illionois University. Upper Saddle River, New Jersey 07458.

Zhou,Q., Fang,D. and Wang, X., (2007). A method to identify strategies for the improvement of human safety behavior by considering safety climate and personal experiance. Safety Science xxx, xxx–xxx.

