



UNIVERSITAS INDONESIA

TESIS

**ANALISIS RISIKO KESELAMATAN PADA PIPA
TRANSMISI NATURAL GAS DI PT. XYZ
DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN DARI
W. KENT MUHLBAUER**

**Oleh:
I MADE SUDARTA
0706189356**

**PROGRAM STUDI
MAGISTER KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2008**

UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
PROGRAM STUDI
MAGISTER KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

Tesis, Desember 2008

I Made Sudarta
NPM: 0706189356

**ANALISIS RISIKO KESELAMATAN PADA PIPA TRANSMISI NATURAL
GAS DI PT. XYZ
DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN DARI W.KENT MUHLBAUER**

ABSTRAK

Pemodelan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk melakukan suatu analisis risiko untuk mengetahui gambaran dan tingkat risiko terhadap potensi kegagalan yang disebabkan oleh adanya beberapa faktor dan dampak yang ditimbulkan akibat adanya kegagalan suatu sistem.

Dalam melakukan analisis risiko pada sistem perpipaan yang digunakan untuk menstransmisikan natural gas di PT. XYZ dari suatu tempat ke tempat yang lain digunakan pemodelan dari W. Kent Muhlbauer, dimana model ini secara langsung dapat membantu dalam proses pengolahan data-data untuk menentukan gambaran serta besaran risiko pada suatu sistem perpipaan transmisi. Hasil dari olahan data ini dapat digunakan untuk melakukan justifikasi, tindakan serta sekala prioritas yang harus dilakukan.

UNIVERSITY OF INDONESIA

FACULTY OF PUBLIC HEALTH

MAGISTER OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH PROGRAM

THESIS, December 2008

I Made Sudarta

NPM: 0706189356



**PIPELINE SAFETY RISK ANALYSIS FOR NATURAL GAS
TRANSMISSION IN PT. XYZ
WITH W. KENT MUHLBAUER'S MODEL**

ABSTRACT

Modeling is one part of ways to determine and define the risk level of potentially failure caused by several factors and impact result due to system failures. On performing of pipeline safety risk analysis where pipeline is used to transport natural gas by PT. XYZ from one place to other place with using W. Kent Muhlbauer's model. This model will use to calculate and to define the risk level from gathered data that collected from PT. XYZ. The risk analyses results are used to justify the actions are to be taken in accordance with priority level.



**ANALISIS RISIKO KESELAMATAN PADA PIPA
TRANSMISI NATURAL GAS DI PT. XYZ
DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN DARI
W. KENT MUHLBAUER**

Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Disusun oleh:
I Made Sudarta
0706189356

Program Studi Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia
Desember 2008

Analisis risiko..., I Made Sudarta, FKM UI, 2008.

LEMBAR PERSETUJUAN

Tesis ini telah diperiksa, disetujui dan dipertahankan di hadapan tim penguji tesis pada program studi Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.



Depok, 15 Desember 2008

Pembimbing


A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Zulkifli', is written over the watermark logo.

(dr. Zulkifli Djunaidi, M.App.Sc)

Panitia sidang ujian Tesis Magister
Program Pasca Sarjana
Program Studi Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia

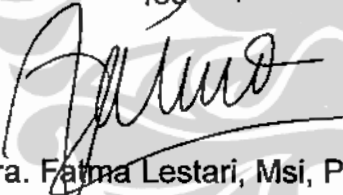
Depok , 15 Desember 2008

Ketua,



(dr. Zulkifli Djunaidi, M.App.Sc)

Anggota,



(Dra. Fatma Lestari, Msi, PhD)

Anggota,



(Juanto Sitorus, S.Si. MT)

Anggota



(Moh. Arisman Indrawan SH, MT.)

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Made Sudarta
NPM : 0706189356
Program Studi : Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja,
Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas
Indonesia

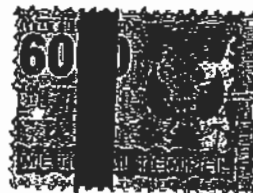
Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan tesis saya ini yang berjudul "Analisis Risiko Keselamatan Pada Pipa Transmisi Natural Gas di PT. XYZ dengan menggunakan Pemodelan dari W. Kent Muhlbauer"

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 11 Desember 2008

Yang membuat pernyataan



(I Made Sudarta)

RIWAYAT HIDUP

- Nama : Ir. I Made Sudarta
- Tempat /tanggal lahir : Singaraja, 3 Juli 1964
- Riwayat pendidikan :
 - 1983-1990 : Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang
 - 1980-1983 : SMA TP 45 Singaraja, Bali
 - 1977-1980 : SMPN 2 Singaraja, Bali
 - 1971-1976 : SDN 2 Ketewel, Singaraja, Bali
- Pekerjaan : Swasta

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat Nya yang telah diberikan kepada saya mulai dari pengajuan permohonan penelitian, seminar proposal, seminar hasil sampai dengan selesainya penyusunan tesis ini sebagai bagian dari kewajiban setiap mahasiswa dalam merampungkan studi untuk mendapatkan gelar Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Universitas Indonesia.

Dituntut mental yang kuat serta dorongan dari berbagai pihak yang terlibat dalam merampungkan penyusunan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung untuk itu ijinkanlah saya dalam kesempatan ini menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, kakak, dan adik-adik yang banyak memberikan dorongan, doa dan sepirit dalam merampungkan studi ini sampai diraihnya gelar Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
2. Istriku yang tercinta Imelda serta anak-anakku yang tersayang: Nia, Elda dan Ara yang tak henti-hentinya memberikan semangat, doa dan pengertian atas tersitanya perhatian dan waktu saya buat mereka selama menjalani pendidikan di kampus Univeristas Indonesia, banyak waktu yang sebelumnya digunakan untuk bersama, selama mengikuti pendidikan semuanya menjadi terabaikan demi satu tujuan yaitu meningkatkan kompetensi dalam bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
3. Para dosen jurusan K3 program megister Universitas Indonesia, yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga saya mendapatkan apa yang sebenarnya dicari di Universitas Indonesia.

4. Bapak dr. Zulkifli Djunaidi M.App.Sc, yang telah membimbing saya mulai dari awal sampai rampungnya tesis ini, banyak waktu beliau yang tersita serta ilmu-ilmu terapan yang beliau berikan kepada saya selama bimbingan tesis ini.
5. Ibu Dra. Fatma Lestari, Msi, PhD, yang telah bersedia menjadi dosen penguji selama ini dan memberikan masukan yang sangat konstruktif demi penyempurnaan tesis ini.
6. Rekan-rekan jurusan S2 K3 angkatan 2007, yang telah banyak memberikan informasi-informasi penting dalam merampungkan penyusunan tesis ini.
7. PT. XYZ, yang telah memberikan ijin serta data-data yang diperlukan dalam penyusunan tesis ini.
8. Rekan-rekan sekerja yang banyak membantu selama saya megikuti studi di Universitas Indonesia sampai berhasilnya saya meraih gelar Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja (MKKK).

DAFTAR ISI

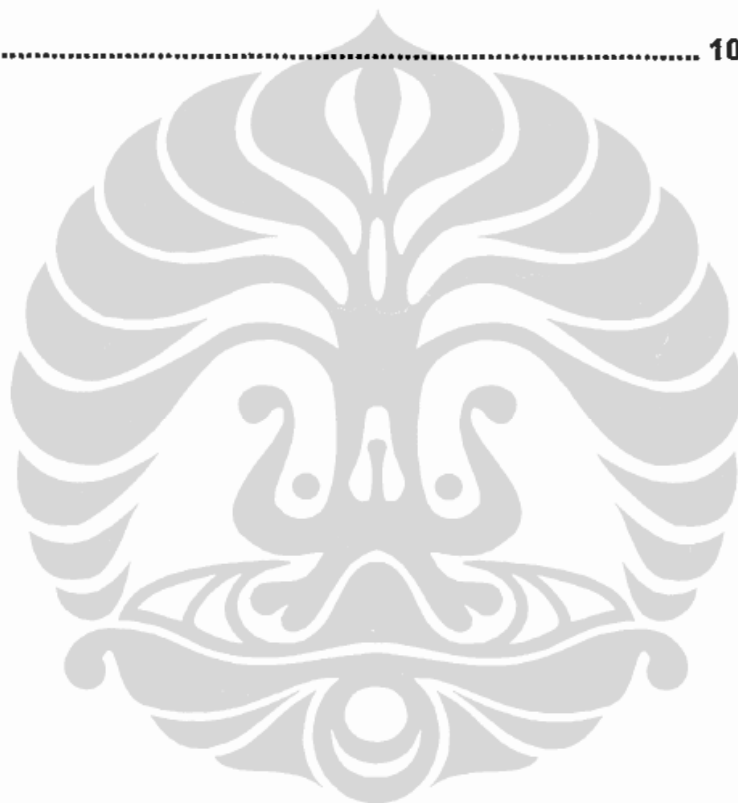
Bab I	Pendahuluan.....	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan Penelitian	5
1.3	Pertanyaan Penelitian	6
1.4	Tujuan Penelitian	6
1.4.1	Umum	6
1.4.2	Khusus.....	7
1.5	Manfaat Penelitian	7
1.5.1	Bagi Perusahaan	7
1.5.2	Bagi Peneliti	7
1.5.3	Bagi Institusi Pendidikan	7
1.6	Ruang Lingkup Penelitian	8
Bab II	Tinjauan Pustaka.....	9
2.1	Konsep Manajemen Risiko	9
2.1.1	Hazard (bahaya)	11
2.1.2	Identifikasi Bahaya (hazards identification)	12
2.1.3	Risiko	13
2.1.4	Kegagalan.	13
2.1.5	Kemungkinan (probability)	14
2.1.6	Konsekuensi	14
2.1.7	Penilaian dan Evaluasi Risiko	15
2.1.8	Pengendalian Risiko	15
2.2	Pipeline dan Produk Hazard.....	15
2.2.1	Penyebaran	17
2.2.2	Korosi	19
2.3	Sistem Manajemen Pipeline yang Terintegrasi.....	22
2.4	Landasan Teori	24

2.4.1	Indek Kerusakan Yang Disebabkan Oleh Pihak Ketiga.....	24
2.4.2	Indek Korosi.....	25
2.4.2.1	Komponen indek korosi	26
2.4.2.2	Keberadaan pipa logam lain	29
2.4.2.3	Potensi untuk terjadinya penyimpangan aliran listrik karena berdekatan dengan AC induced current	30
2.4.2.4	Korosi mekanis	30
2.4.2.5	Perlindungan katodik	31
2.4.2.6	Test leads (test box)	32
2.4.2.7	Close interval survey	33
2.4.2.8	Penggunaan perangkat-perangkat inspeksi internal	33
2.4.3	Indek disain	34
2.4.3.1	Disain enjineriing	34
2.4.3.2	Kondisi lingkungan operasional	35
2.4.3.3	Faktor keselamatan pipa	35
2.4.3.4	Faktor keamanan system	36
2.4.3.5	Kelelahan (fatigue)	37
2.4.3.6	Potensi sentakan	38
2.4.4	Indek kesalahan pengoperasian.....	39
2.4.4.1	Faktor disain	39
2.4.4.2	Faktor konstruksi	39
2.4.4.3	Faktor operasi	40
2.4.4.4	Faktor pemeliharaan	41

2.4.5	Faktor dampak kebocoran	41
2.4.5.1.1	Produk hazard.....	42
2.4.5.1.2	Volume kebocoran	44
2.4.5.1.3	Penyebaran	45
2.4.5.1.4	Receptor	46
2.4.6	Keterbatasan dan keunggulan model pipeline risk management manual	47
2.4.7	Peringkat Risiko	48
Bab III	Kerangka Konsep dan Definisi Operasional	49
3.1	Kerangka Konsep	49
3.2	Definisi Operasional	50
Bab IV	Metodologi Penelitian	52
4.1	Metode Analisa Risiko	52
4.1.1	Metode Identifikasi Risiko	52
4.1.2	Metode Analisis Risiko	52
4.2	Metode Pengumpulan Data	53
4.3	Cara Pengukuran dan Pengamatan Variabel.....	53
4.3.1	Skor pada Indek Kerusakan Yang Disebabkan Oleh Pihak Ke-tiga	54
4.3.1.1	Kedalaman pelindung pipa	54
4.3.1.2	Activity level	55
4.3.1.3	Aboveground facilities.....	56
4.3.1.4	One-call system	56
4.3.1.5	Public education program	57
4.3.1.6	Right of way condition	57
4.3.1.7	Frekuensi patroli	58

4.3.2	Indek Korosi (corrosion index)	58
4.3.2.1	Korosi atmosfer	59
4.3.2.2	Korosi internal	64
4.3.2.3	Buried metal corrosion	70
4.3.3	Indek Disain	69
4.3.3.1	Faktor keamanan pipa	71
4.3.3.2	System safety factor	72
4.3.3.3	Kelelahan (fatigue)	72
4.3.3.4	Surge potential	74
4.3.3.5	System hydrostatic test	75
4.3.3.6	Pergerakan tanah	75
4.3.4	Indek Kesalahan Pengoperasian	77
4.3.4.1	Disain	78
4.3.4.2	Konstruksi	79
4.3.4.3	Operasi	80
4.3.4.4	Perawatan	81
4.3.5	Faktor Dampak Kebocoran	82
4.3.6	Teknik Analisa Data	86
Bab V Hasil Penelitian dan Pembahasan		87
5.1	Gambaran Umum System Perpipaan	87
5.1.1	Lokasi Jalur Pipa	87
5.2	Gambaran Tingkat Risiko	89
5.2.1	Tingkat Risiko Pada Indek Kerusakan yang disebabkan oleh Pihak Ketiga	89
5.2.2	Tingkat Risiko Pada Indek Korosi	91
5.2.3	Tingkat Risiko Pada Indek Diasain	93

5.2.4	Tingkat Risiko Pada Indek Kesalahan Operasi	95
5.2.5	Tingkat Risiko Pada Faktor Dampak Kebocoran.....	97
5.2.6	Gambaran Tingkat Risiko Secara Umum	100
Bab VI	Kesimpulan dan Rekomendasi	104
6.1	Kesimpulan	104
6.2	Rekomendasi	105
Daftar Pustaka	108



DAFTAR TABEL

Tabel 1: Data Statistik Kecelakaan Pipeline Priode 1-1-1986 s/d 31-8-2008 oleh PHMSA	9
Tabel 2: Hierarchy of Controls	16
Tabel 3: Penilaian Kegagalan Akibat Kelelahan (fatigue)	38
Tabel 4: Hubungan Antara MAOP dan Lifetime Cycles	73
Tabel 5: Pipeline Produk.....	84
Tabel 6: Kecepatan Pelepasan Produk Berdasarkan Nilai RQ	85
Tabel 7: Penentuan Pelepasan Material Berdasarkan Berat Molekul Setelah 10 Menit	85
Tabel 8: Kategorisasi Kepadatan Penduduk	85
Tabel 9: Gas composition PT. XYZ	88
Tabel 10: Gambaran Risiko Pada Indeks Kerusakan oleh pihak Ketiga.....	89
Tabel 11: Gambaran Risiko Pada Indeks Korosi.....	91
Tabel 12: Gambaran Risiko Pada Indeks Disain.....	93
Tabel 13: Gambaran Risiko Pada Indeks Kesalahan Operasional.....	95
Tabel 14: Gambaran Risiko Pada Faktor Dampak Kebocoran.....	98
Tabel 15: Gambaran Risiko Secara Umum.....	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 : Peta Cadangan Gas Indonesia (2006)	2
Gambar 2 : Gas Reserves dan Pipeline Planning	3
Gambar 3 : Adverse Consequences	10
Gambar 4 : Risk Management Process ASNZ 4360:1999	11
Gambar 5 : Conceptual fire hazard model.....	18
Gambar 6 : Proposed hazard area radius a function of line diameter and pressure	19
Gambar 7 : Material rusak akibat bahaya korosi.....	20
Gambar 8 : Potongan material rusak akibat bahaya korosi	21
Gambar 9 : Profil korosi pada permukaan pipa sisi luar	22
Gambar 10: Pipeline Integrity	23
Gambar 11 : Minimum Deth of Cover	24
Gambar 12 : Statistik Angka Penyebab Kegagalan dalam Sistem Perpipaan	26
Gambar 13 : Intalasi Perlindungan Katodik dengan Menggunakan Rectifier	32
Gambar 14 : Relative acute-chronic hazard scale for some pipeline products	43
Gambar 15 : Tipe Struktur Indek Model.....	49
Gambar 16 : Sket Sistem Perpipaan dengan Panjang 4,2 Km	87
Gambar 17 : Klasifikasi Risiko	103

DAFTAR GRAFIK

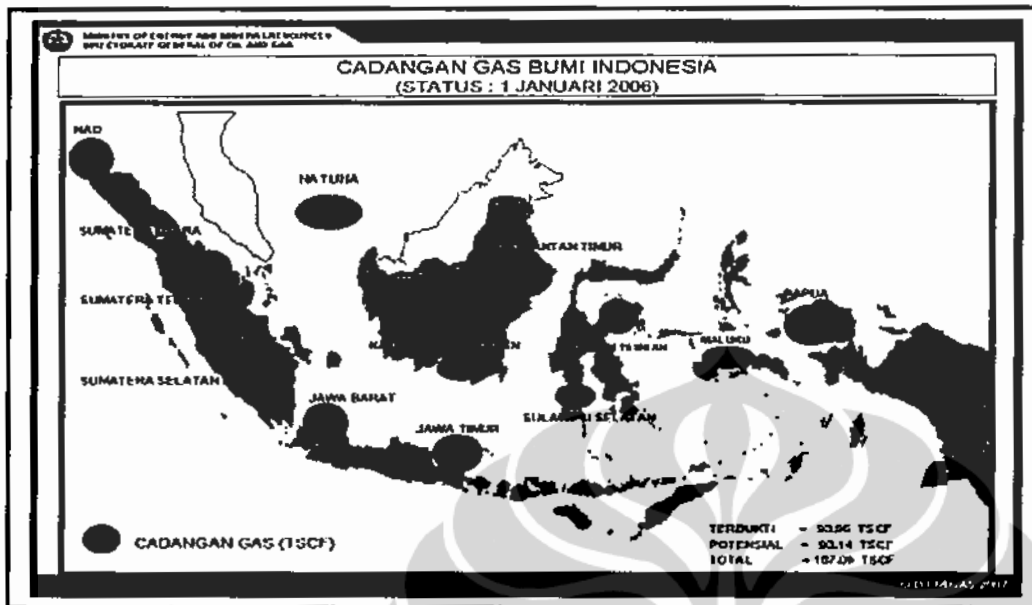
Grafik 1: Skor risiko rata-rata pada indek kerusakan oleh pihak ketiga	90
Grafik 2: Skor risiko rata-rata pada indek korosi	92
Grafik 3: Skor risiko rata-rata pada indek disain	94
Grafik 4: Skor risiko rata-rata pada indek kesalahan operasi	97
Grafik 5: Skor lack impact factor	99
Grafik 6: Gambaran skor risiko secara umum	101
Grafik 7: Chance of failure	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Krisis energi global akhir-akhir ini yang ditandai dengan melangitnya harga minyak mentah dan memaksa banyak negara di belahan bumi ini melakukan diversifikasi energi. Ada banyak cara yang akan atau telah dilakukan oleh kebanyakan negara-negara yang selama ini mengkonsumsi bahan bakar minyak sebagai sumber satu-satunya yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan bahan bakar sarana transportasi seperti udara, darat dan laut. Menurut sumber dari kementerian ESDM Republik Indonesia selama ini pemanfaatan bahan bakar nasional didominasi oleh minyak bumi yakni sekitar 52,50% sedangkan gas bumi hanya 14,04%. Menurut laporan Energy Information Administration (EIA), Indonesia masuk daftar ke sembilan negara penghasil gas bumi terbesar di dunia. Sumber gas bumi Indonesia mencapai 97,8 juta kubik. Stok gas bumi mencapai 187 triliun kaki kubik atau akan habis dalam waktu 68 tahun, dengan alasan itulah pemerintah Indonesia memutuskan untuk segera mengkonversi minyak tanah ke gas untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan industri dan juga menekan biaya subsidi yang dikeluarkan dalam pengolahan bahan bakar minyak.



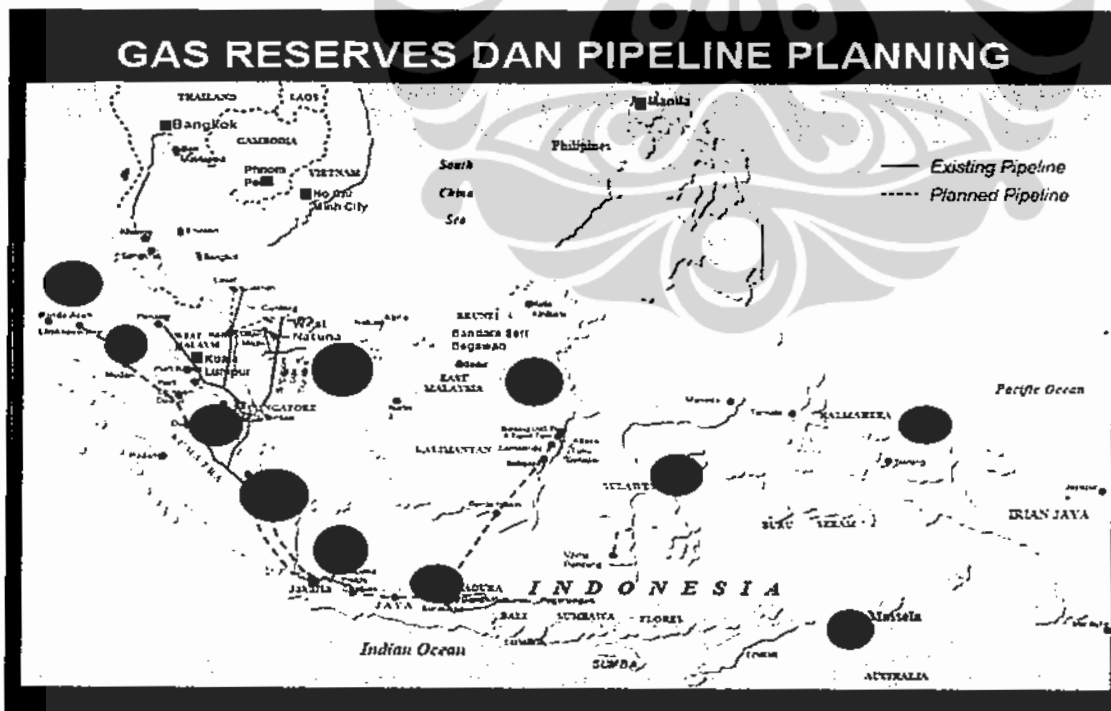
Gambar 1: Peta Cadangan Gas Indonesia (Januari 2006)

Sumber : Departemen energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia

Ditinjau dari lokasi atau sumber gas menurut peta pada gambar 1, masalah berikutnya yang menjadi perhatian pemerintah selain eksplorasinya adalah metode mentransmisikan dan pendistribusian dari sumber ke pemakai. Sebenarnya ada banyak cara yang dapat dilakukan misalnya dengan menggunakan angkutan laut (kapal laut) dimana gas diambil dari sumbernya kemudian dimasukkan ke dalam tangki yang ada di dalam kapal kemudian kapal berlayar menuju tujuan dan setibanya di tujuan gas akan dikeluarkan kembali dan di masukkan ke dalam tangki timbun. Kemudian gas juga dapat diangkut melalui darat dengan menggunakan kereta api maupun truk tangki yang dirancang khusus untuk mengangkut gas, kemudian gas juga dapat ditransmisikan dan didistribusikan dari sumber ke pemakai melau sistem perpipaan (*pipeline*) dimana pipa-pipa baja dengan ukuran dan ketebalan tertentu disambung dengan menggunakan metode pengelasan (*welding process*) kemudian diletakkan di atas pendukung (*pipe support*) apakah itu melintas

di atas tanah (*above-ground*) maupun di bawah tanah (*under-ground*) tergantung dari kondisi alam yang dilaluinya. Pemasangan sistem perpipaan di bawah tanah (*under-ground*) akan dilakukan dengan pertimbangan tertentu misalnya apabila melalui pemukiman penduduk atau populasi mahluk hidup, pusat keramaian, daerah-daerah yang berpotensi menimbulkan bahaya seperti tanah longsor, atau bencana alam lainnya.

Pemilihan sarana pengangkutan gas tersebut dilandasi dengan perhitungan teknis, sosial, budaya, ekonomi, pertahanan dan keamanan. Menurut sumber dari Departemen energi dan sumber daya mineral, pasar terbesar pengguna gas adalah 60% berada di pulau Jawa. Gambar di bawah ini adalah cadangan gas bumi Indonesia dan rencana pemasangan jaringan pipa.



Gambar 2: Gas Reserves dan Pipeline Planning (2006)

Sumber : Departemen energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia

Mengingat gas adalah bahan bakar yang mudah terbakar, berarti ada risiko yang terdapat di dalam pengaliran gas melalui sistem perpipaan. Risiko sangat dipengaruhi oleh faktor probabilitas, konsekuensinya dan waktu, misalnya dengan adanya bahaya korosi pada pipa dapat mengakibatkan adanya kebocoran sehingga media yang ada di dalamnya akan keluar yang apabila tidak dikendalikan dapat mengakibatkan kerugian materi maupun jiwa. Mengacu pada perundangan dan peraturan pemerintah Indonesia yaitu Undang-undang nomor 1 tahun 1970 tentang keselamatan kerja. Yang diatur oleh undang-undang ini ialah keselamatan kerja dalam segala tempat kerja, baik di darat, di dalam tanah, di permukaan air, di dalam air maupun di udara, yang berada di dalam wilayah kekuasaan Republik Indonesia dan Surat Keputusan Mentabes No.300K/38M.PE/1997 tentang Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi. Menurut data statistik periode (1-1-1986 s/d 31-8-2008), yang dikeluarkan oleh US *Department of Transportation PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration)* Operator Transmisi, menyebutkan telah terjadi kecelakaan pada sistem perpipaan dengan tingkat kerugian seperti yang digambarkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1: Data statistik kecelakaan pipeline periode 1-1-1986 s/d 31-8-2008 oleh
US Department of Transportation PHMSA

Year	No. of Incidents	Fatalities	Injuries	Property Damage
1986	83	6	20	\$11,166,262
1987	70	0	15	\$4,720,466
1988	89	2	11	\$9,316,078
1989	103	22	28	\$20,458,939
1990	89	0	17	\$11,302,316
1991	71	0	12	\$11,931,238
1992	74	3	15	\$24,578,165
1993	95	1	17	\$23,035,268
1994	81	0	22	\$45,170,293
1995	64	2	10	\$9,957,750
1996	77	1	5	\$13,078,474
1997	73	1	5	\$12,078,117
1998	99	1	11	\$44,487,310
1999	54	2	8	\$17,695,937
2000	80	15	18	\$17,868,261
2001	87	2	5	\$23,674,225
2002	82	1	5	\$26,713,069
2003	97	1	8	\$49,863,561
2004	123	0	3	\$68,187,092
2005	181	0	7	\$367,669,813
2006	146	3	5	\$52,303,376
2007	133	2	7	\$61,843,587
2008	66	0	3	\$112,038,336
Totals	2117	65	257	\$1,039,137,933

Sumber: [www:http//phmsa.dot.gov/](http://phmsa.dot.gov/), diambil pada tanggal 4 Oktober 2008

1.2. Permasalahan Penelitian

Analisis risiko pada sistem pemipaan di PT. XYZ, wajib dilakukan mengingat bahaya yang ditimbulkan sangat besar apabila terjadi kebocoran yang berdampak secara langsung pada keselamatan penduduk yang bermukim di sekitar sistem perpipaan tersebut.

Oleh karena itu pelaksanaan analisis risiko akan sangat membantu operator gas di dalam menjaga integritas sistem perpipaannya yang dapat memberikan jaminan akan keselamatan pada penduduk yang berada di sekitarnya.

Penerapan analisis risiko dengan menggunakan model yang telah dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer yang saat ini sudah diadopsi oleh US EPA (*United State Environmental Protection Agency*) akan sangat membantu dalam proses analisis sampai menentukan tingkat risiko.

1.3. Pertanyaan Penelitian

Bagaimanakah gambaran bahaya dan tingkat risiko pada sistem perpipaan di PT. XYZ setelah dilakukan analisis risiko dengan menggunakan model dari W. Kent Muhlbauer.

1.4. Tujuan Penelitian

1.4.1. Umum

- Mendapatkan gambaran bahaya dan risiko terhadap keselamatan pada pengoperasian pipa baik terhadap lingkungannya maupun pada tingkat operasional.
- Mengetahui dan menilai tingkat risiko yang timbul akibat pengoperasian sistem perpipaan tersebut.
- Memberikan rekomendasi untuk mengurangi risiko dengan mengendalikan risiko sesuai dengan tingkatannya.
- Memberikan masukan kepada pihak perusahaan untuk melakukan mitigasi yang menyeluruh berkaitan dengan tanggung jawab sosial perusahaan bagi masyarakat di sekitar lokasi perpipaan (*corporate social responsibility/CSR*).

1.4.2. Khusus

- Sebagai wujud dari kepedulian mahasiswa S2 K3 FKM UI dalam menerapkan ilmu yang di dapat dari bangku kuliah dan penerapannya di lapangan.
- Mengetahui tingkatan seberapa aman pengoperasian sistem perpipaan di PT. XYZ terhadap bahaya-bahaya yang dapat mempengaruhi kecelakaan.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Bagi Perusahaan

Sebagai masukan bagi perusahaan, di dalam melaksanakan prinsip-prinsip penanganan risiko secara terencana dan sistematis, sehingga kemungkinan risiko yang ada dapat dieliminir atau dihilangkan agar operasi sistem perpipaan dapat berjalan lancar, aman, dan berwawasan lingkungan.

1.5.2. Bagi Peneliti

Memperdalam dan mengembangkan pengetahuan bidang K3 sebagai aplikasi antara ilmu yang diperoleh selama kuliah, khususnya yang berhubungan dengan pengendalian risiko melalui analisis risiko pada sistem perpipaan penyalur natural gas di PT. XYZ.

1.5.3. Bagi Institusi Pendidikan

Mengembangkan ilmu bidang K3 terutama yang berkaitan dengan manajemen risiko pada sistem perpipaan pada penyaluran natural gas.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup dari penelitian ini adalah:

- Mengidentifikasi bahaya dan penilaian risiko dari jalur pipa sepanjang 4.2 km yang dioperasikan oleh PT. XYZ.
- Mengevaluasi potensi risiko dengan menggunakan pendekatan semikuantitatif.
- Membuat profil risiko dari jalur pipa.
- Membuat rekomendasi untuk pengelolaan risiko.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Manajemen Risiko

Konsep manajemen risiko adalah merupakan proses yang terstruktur dan komprehensif untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengendalikan risiko yang ada dalam suatu kegiatan. Risiko adalah bagian yang tidak dapat dipisahkan dari setiap kegiatan, yang selalu mengandung unsur ketidak pastian. Oleh sebab itu risiko selalu dihadapkan pada konsekuensi yang ditimbulkannya. Manajemen risiko adalah suatu proses evaluasi dan jika memungkinkan pengontrolan terhadap sumber pajanan (*exposure sources*) dan risiko (Rao V. Kolluru, dkk).

Risiko digambarkan sebagai kemungkinan (*probability*) dari suatu peristiwa yang mengakibatkan kerugian dan besaran kerugian. Mengalirkan produk yang berbahaya dan mengandung risiko (*hazardous*) dengan sistem perpipaan adalah sangat berisiko, karena produk yang berbahaya tersebut sangat berpotensi untuk menimbulkan kerugian apabila produk tersebut mengalami kebocoran. Kebocoran terjadi karena banyak alasan misalnya pipanya bocor (*leak*) atau pecah (*rupture*) oleh karena adanya korosi sehingga secara lambat laun terjadi penipisan ketebalan pipa dan dengan adanya tekanan dari media yang dialirkannya maka terjadilah daya dorong keluar berupa kebocoran, dan kerusakan dapat juga disebabkan oleh adanya faktor kelelahan (*fatigue*) pada pipa yang mengakibatkan terjadinya keretakan pada pipa (*cracking*), benturan dan lain sebagainya.

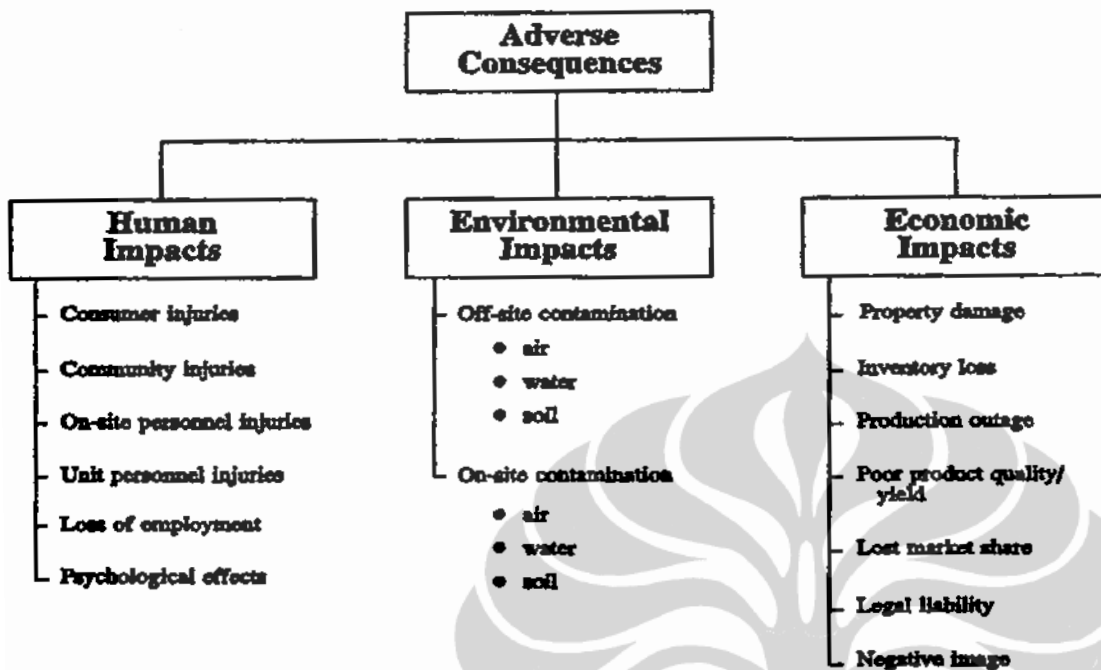
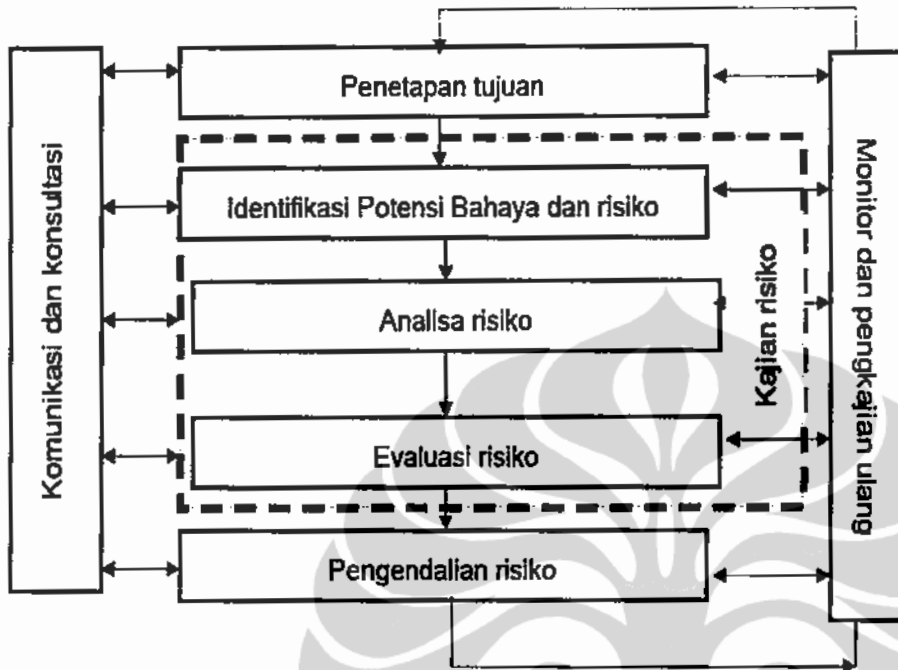


Figure 3.1 Adverse consequences resulting from process hazards.

Gambar 3: Adverse Consequences Resulting From Process Hazards

Sumber: Center for Chemical Process Safety, Guideline for Hazard Evaluation Procedures, second edition 1992)

Risiko sebenarnya dapat dikelola dengan benar dan tepat apabila telah diketahui potensi bahayanya. Dalam penerapan manajemen risiko ada beberapa konsep pendekatan yang dapat dilakukan, namun demikian pada dasarnya pendekatan tersebut satu sama lain tidak jauh berbeda dan tujuannya adalah menekan atau menghilangkan risiko yang apabila timbul dapat membawa kerugian.



Gambar 4: Risk Management Process AS/NZS 4360:1999 (tahun 2003)

Penerapan analisis risiko dimulai dari penetapan tujuan, kemudian langkah berikutnya adalah melakukan identifikasi potensi bahaya risiko yang terdapat dalam kegiatan tersebut. Kemudian dilakukan analisis dan evaluasi risiko. Setelah diketahui besaran risiko dan bahaya yang kemungkinan dapat terjadi maka langkah selanjutnya dikomunikasikan dan dilakukan pengendalian risiko untuk meminimalkan atau meniadakan kemungkinan-kemungkinan buruk yang dapat terjadi serta dikaji secara terus menerus untuk perbaikan secara komprehensif.

2.1.1 Hazards

Kata *hazards* berasal dari *al zahr*, bahasa arab yang berarti dadu (*dice*), mengacu pada suatu permainan kuno. *Hazard* digambarkan sebagai suatu

karakteristik atau sekumpulan karakteristik yang dapat menyebabkan potensi kerugian, *flammability* dan *toxicity* merupakan contoh dari bentuk karakteristik (W Kent Muhlbauer 2004).

Hazard dapat dibagi menjadi beberapa tipe antara lain:

- Bahaya fisik (*Physical Hazards*): ini termasuk noise, radiasi, panas, dingin, getaran (*vibration*), dan tekanan (*pressure*).
- Bahaya kimia (*Chemical Hazards*): bahan-bahan kimia yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kesehatan dan properti, diantaranya: korosi, oksidasi, keracunan, karsinogen, mudah terbakar, mudah meledak.
- Bahaya biologi (*Biological Hazards*): terutama dari reaksi infeksi atau alergi, ini termasuk: virus, bakteri, jamur, dan organisme yang lain.
- Bahaya ergonomi (*Ergonomic hazards*): bahaya ini berasal dari miskinnya design kerja (*work design*), tata letak (*layout*) atau aktifitas (*task*).
- Bahaya psikologi (*Psychological hazards*): stres, kekerasan di tempat kerja, dan jam kerja yang panjang.

2.1.2 Identifikasi bahaya (*hazard identification*)

Identifikasi bahaya dapat dilakukan dengan menggunakan metode atau teknik-teknik diantaranya adalah sebagai berikut:

- *Safety Review*
- *Checklist Analysis*
- *Relative Ranking*
- *Hazard and Operability Analysis (HAZOPS)*
- *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*
- *Event Tree Analysis*

- *Fault Tree Analysis*

2.1.3 Risiko (risk)

Risiko pada umumnya digambarkan sebagai kemungkinan (*probability*) dari suatu peristiwa yang dapat mengakibatkan kerugian dan potensi besaran kerugian tersebut (W Kent Muhlbauer 2004).

Untuk memahami secara penuh mengenai risiko, ada beberapa pertanyaan yang harus dijawab diantaranya:

- Apa yang dapat terjadi? (*what can go wrong*)
- Bagaimana kemungkinannya? (*How likely is it*)
- Apa konsekuensinya? (*What are the consequences*).

Dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut maka risiko dapat diketahui.

Jadi secara matematis risiko dapat digambarkan sebagai berikut:

Risk = (event likelihood) x (event consequences).

2.1.4 Kegagalan (*Failure*)

Menjawab pertanyaan "*what can go wrong*" mulai dengan mencari gambaran kegagalan pada perpipaan. Hilangnya integritas adalah salah satu cara untuk mengkarakteristik suatu kegagalan dalam perpipaan.

Kegagalan (*failure*) terjadi apabila struktur mendapatkan tekanan atau beban (*stress*) yang melebihi kapasitasnya. Wujud dari beban (*stress*) yang ada pada sistem perpipaan antara lain: *internal pressure*, *temperature* yang ekstrim, beban tanah yang berlebihan, gaya dari luar, dan kelelahan (*fatigue*). Kegagalan atau hilangnya kekuatan dapat juga terjadi oleh karena hilangnya material yang

disebabkan adanya korosi atau kerusakan secara mekanis misalnya; luka garutan (*scratches*) dan tercungkil (*gouges*).

2.1.5 Kemungkinan (*probability*)

Beberapa estimasi dari kemungkinan suatu kegagalan sangat diperlukan dalam melakukan penaksiran suatu risiko. Hal ini ditujukan pada pertanyaan yang kedua yakni "How likely is it?" Beberapa perkiraan mengenai *probability* adalah dengan menggunakan analisa statistik, karena data statistik akan memberikan gambaran yang sebenarnya dari suatu peristiwa.

2.1.6 Konsekuensi (*consequences*)

Konsekuensi secara tidak langsung dinyatakan sebagai suatu kerugian. Aspek-aspek yang berpotensi kerugian pada dasarnya dapat dihitung. Konsekuensi terkadang dapat dikelompokkan dalam kategori langsung atau tidak langsung, yang menyangkut biaya secara langsung termasuk (W Kent Muhlbauer 2004) :

- Kerusakan properti
- Kerusakan pada kesehatan manusia
- Kehilangan produk
- Biaya perbaikan
- Biaya pembersihan dan pengobatan (*remediation*).

Sedangkan yang masuk ke dalam kategori biaya tidak langsung adalah: proses pengadilan, pelanggaran kontrak, ketidak puasan pelanggan, reaksi politik, hilangnya pasar, dan hukuman oleh pemerintah.

Hazard yang menyebabkan konsekuensi dan disebabkan oleh hilangnya integritas dari pengoperasian suatu perpipaan termasuk didalamnya:

- *Toxicity* karena adanya kebocoran produk dalam perpipaan
- Kontaminasi/polusi yang dapat merusak flora dan fauna, air minum, dan sebagainya.
- Dampak mekanis dari tekanan yang keluar bersama produk yang dikandungnya.
- Kebakaran (*pool fires, fireballs, jet fires and explosions*).

2.1.7 Penilaian dan Evaluasi Risiko

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya dilakukan penilaian risiko untuk menentukan besarnya risiko dan peringkatnya. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan kemungkinan terjadinya (*likelihood*) dan keparahan yang mungkin terjadi (*severity*). Penilaian risiko dapat dilakukan dengan berbagai cara namun secara garis besar dapat dilakukan dengan pendekatan kualitatif, semikualitatif dan kuantitatif.

2.1.8 Pengendalian Risiko

Setelah proses penilaian dan evaluasi risiko dilakukan dapat diketahui peringkat risiko, sehingga dapat diambil tindakan perbaikan atau pengendaliannya. Pada dasarnya pengendalian risiko dilakukan dengan beberapa pendekatan sebagai berikut:

Tabel 2: *Hierarchy of controls*

Elimination	Get rid of the hazard out of the workplace. i.e. designing the problem out. This is the best option, if can be done
Substitution	Use something less hazardous. For example water based chemical rather than solvent based ones.
Isolation	Use barriers to shield or isolate the hazard. For example guards on machines, enclosures for noisy machinery
Engineering controls	Design and install equipment to counteract the hazard. For example installing an exhaust ventilation system to extract dangerous fumes or dust
Administrative controls	Arrange work to reduce the time people are around the hazard
Personel protective equipment	Have people wear protective equipment and clothing while near the hazard. For example ear plugs.

Menurut proses manajemen risiko, teknik pengendalian risiko dapat dikelompokkan atas:

- Mengendalikan kemungkinan terjadinya (*likelihood*), yaitu mengupayakan agar kemungkinan terjadinya risiko dapat ditekan.
- Mengendalikan tingkat keparahan (*severity*) jika risiko terjadi.

Dalam pelaksanaan lapangan pengendalian risiko dilakukan sampai ketinggian yang dapat diterima yang dikenal dengan istilah *ALARP (as low as reasonable practicable)*

2.2 Pipeline dan Produk *Hazards*

Mengalirkan material yang tergolong kelompok *hazardous* adalah kondisi yang sangat berisiko bagi masyarakat yang ada di sekitarnya maupun bagi pengelola itu sendiri. Hazard material biasanya sudah teridentifikasi sejak material belum di masukkan ke dalam sistem perpipaan, Bahaya utama mentransport natural gas adalah disebabkan oleh bahan yang mudah terbakar (*flammability*) dan beracun (*toxicity*) apabila terjadi kebocoran maupun tumpahan. Bahaya mudah terbakar menjadi perhatian keselamatan sedangkan bahan beracun menjadi perhatian pada lingkungan dan keselamatan yang ada di sekitar perpipaan tersebut.

2.2.1 Penyebaran (*dispersion*)

Apabila terjadi kebocoran gas dan gas berupa kabut akan dilepas ke udara, penyebaran dimulai karena pencampuran yang hebat dalam jet turbulen, jika kebocoran melalui suatu lubang atau terjadinya *blow up*. Setelah proses ini, penyebaran berikutnya tergantung dari apakah campuran gas dan udara menjadi berat atau tidak. Apabila kondisinya berat campuran gas tersebut akan menyebar sebagai lapisan mendekati permukaan tanah, dan bila kondisinya ringan maka penyebarannya akan naik ke atas.

Gambar di bawah ini memberikan ilustrasi dari pola penyebaran produk apabila terjadi kebocoran atau pelepasan gas atau cairan. Begitu juga pola penyebaran radiasi apabila terjadi kebakaran dan dampaknya pada lingkungan sekelilingnya.

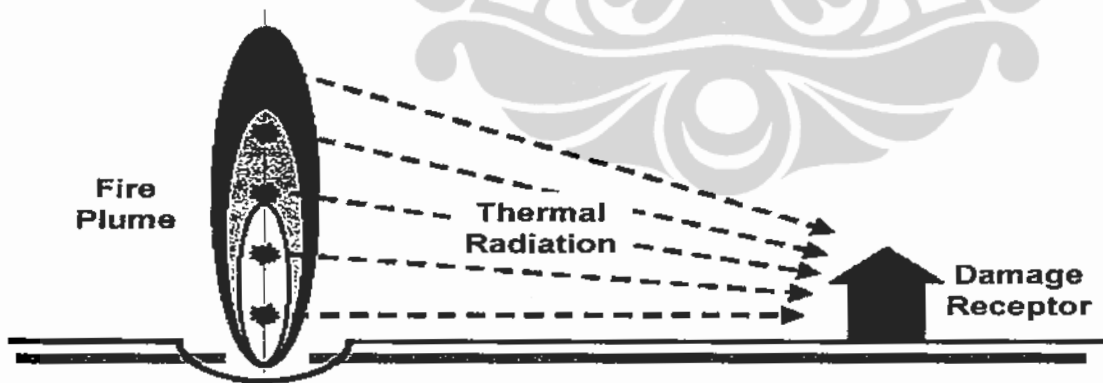
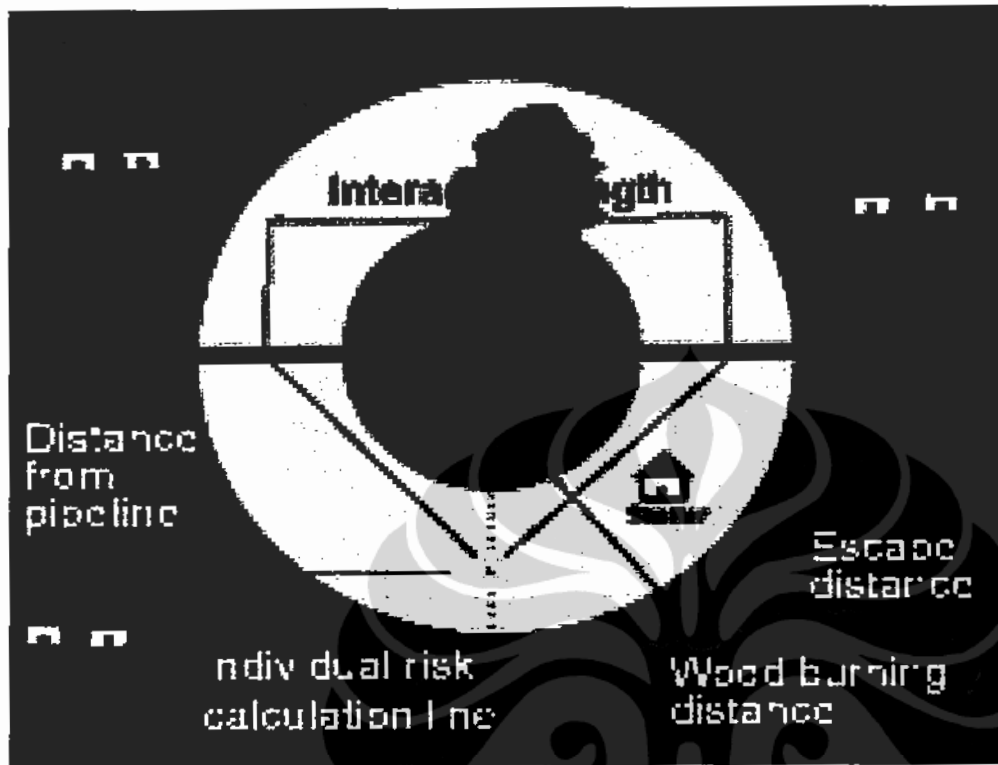


Figure 2.1 Conceptual fire hazard model.

Gambar 5: Conceptual fire hazard model

Sumber : Kuprewicz B Richard, 2003, *Pipelines Prevention Releases*, prepared for Washington City and Country Pipeline Safety Consortium, Acufacts, USA

Atau dengan menggunakan gambar di bawah ini, maka radius daerah berbahaya dapat dianalisa dengan memperhitungkan faktor maksimum *operating pressure* dan *diameter nominal* dari pipa tersebut.

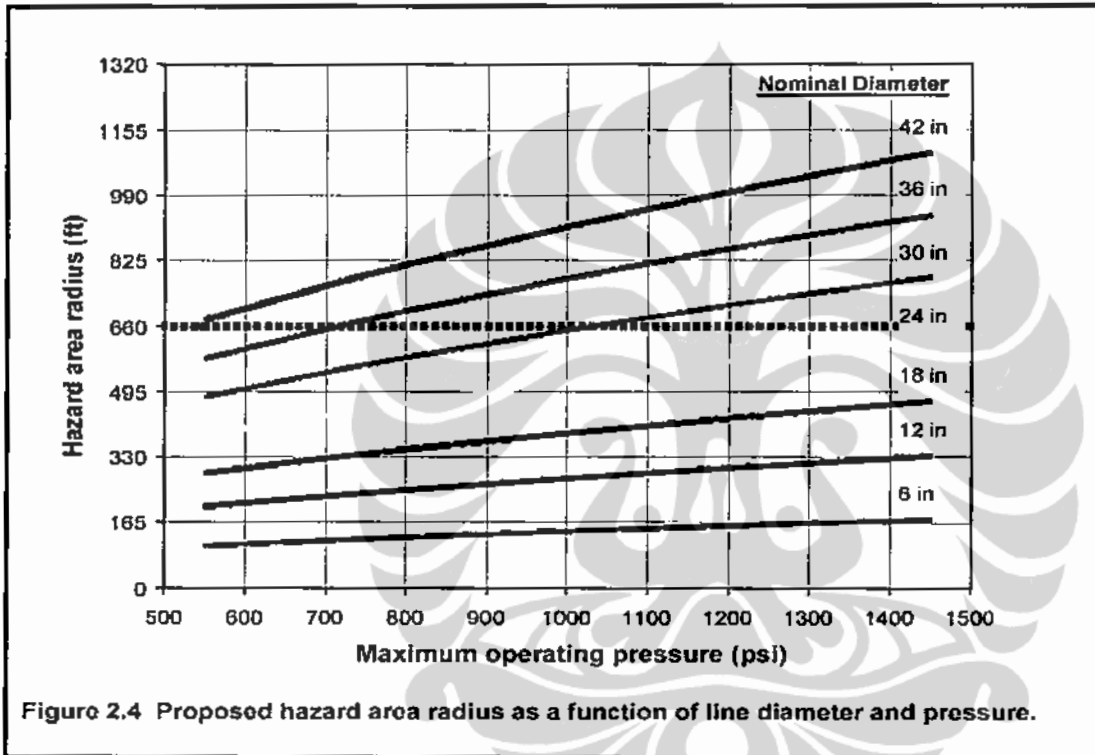


Figure 2.4 Proposed hazard area radius as a function of line diameter and pressure.

Gambar 6: Proposed hazard area radius a function of line diameter and pressure

Sumber : Kuprewicz B Richard, 2003, *Pipelines Prevention Releases, prepared for Washington City and Country Pipeline Safety Consortium, Acufacts, USA*

2.2.2 Korosi

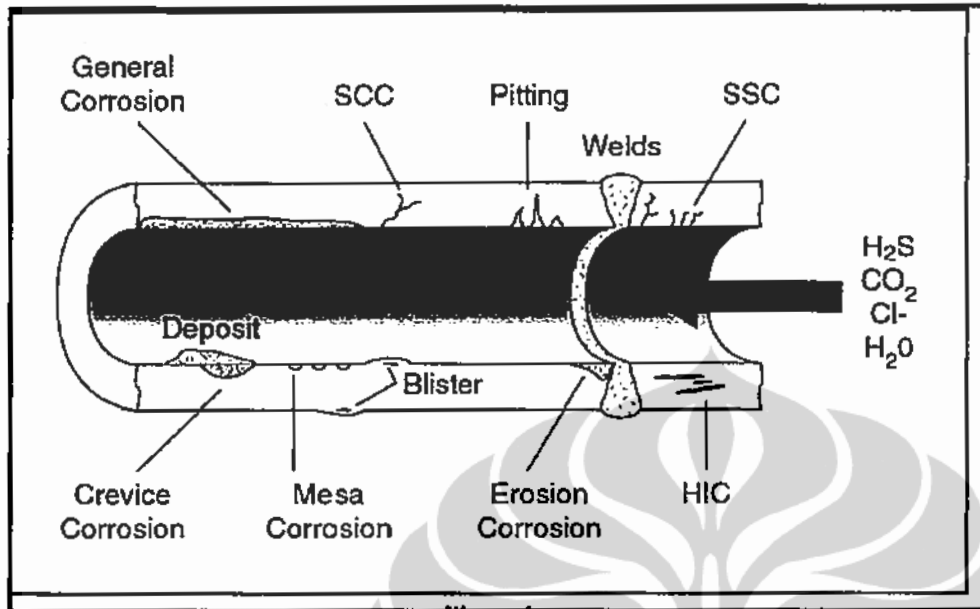
Korosi bisa terjadi karena adanya endapan cairan yang disalurkan, iritasi/gesekan yang terus menerus antara permukaan dalam pipa dengan material

yang disalurkan dan juga faktor-faktor lainnya. Di bawah ini diperlihatkan contoh-contoh akibat ditimbulkan oleh bahaya korosi.



Gambar 7: Material rusak akibat bahaya korosi

Sumber : US Department of Transportation, 2006, *Pipeline Safety: Design and Construction Standards To Reduce Internal Corrosion in Gas Transmission Pipelines*, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), Department of Transportation. 49 CFR Part 192 [Docket No. PHMSA-2005-22642; Notice 1] RIN 2137-AE09, USA



Gambar 8: Potongan material rusak akibat bahaya korosi

Sumber : US Department of Transportation, 2006, *Pipeline Safety: Design and Construction Standards To Reduce Internal Corrosion in Gas Transmission Pipelines*, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), Department of Transportation. 49 CFR Part 192 [Docket No. PHMSA-2005-22642; Notice 1] RIN 2137-AE09, USA

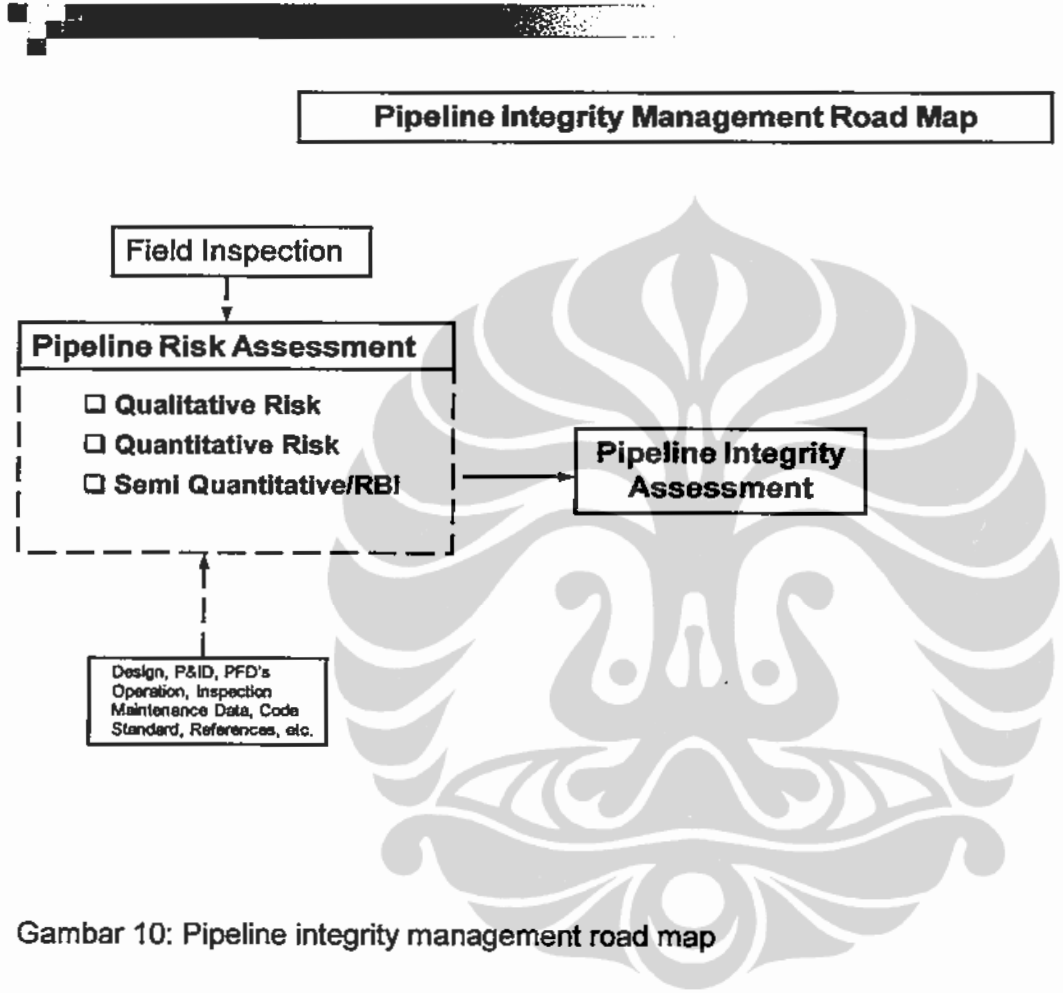


Gambar 9 : Profil korosi pada permukaan pipa sisi luar

Sumber : US Department of Transportation, 2006, *Pipeline Safety: Design and Construction Standards To Reduce Internal Corrosion in Gas Transmission Pipelines*, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), Department of Transportation. 49 CFR Part 192 [Docket No. PHMSA–2005–22642; Notice 1] RIN 2137–AE09, USA

2.3 Sistem Manajemen Perpipaian yang Terintegrasi (*Pipeline Integrity Management System*)

Sistem manajemen perpipaian yang terintegrasi merupakan serangkaian aktifitas yang dilakukan di dalam mengendalikan suatu risiko dan dimulai dari kegiatan pemeriksaan di lapangan, kemudian analisis risiko dengan menggunakan pemodelan dengan hasil kualitatif, semi kuantitatif maupun kuantitatif dan setelah itu sampai pada evaluasi risiko dan pengendaliannya atau tindakan koreksi atau perbaikan yang harus dilakukan dengan perencanaan yang matang dan terintegrasi.



Gambar 10: Pipeline integrity management road map

Sumber : Eiber Bob, 2003, *Overview of Integrity Assessment Methods for Pipelines*, prepared for Washington City and County Pipeline Safety Consortium, Washington, USA

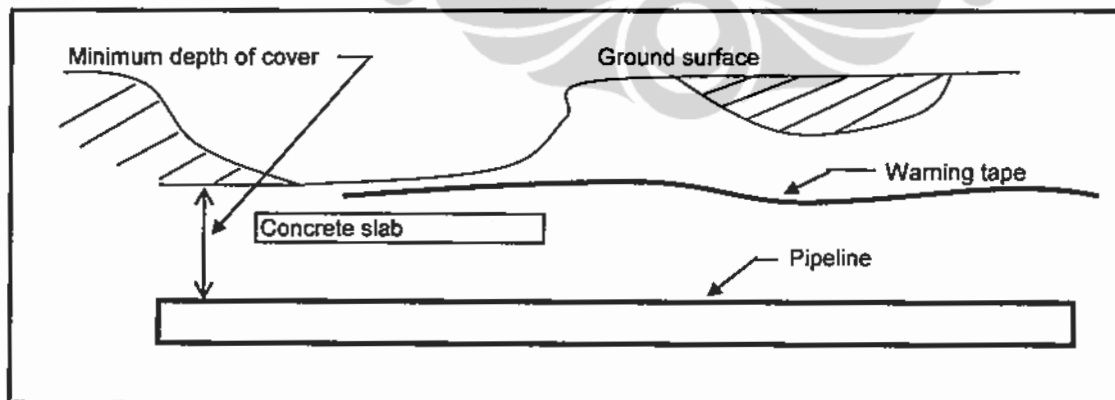
2.4 Landasan Teori

Menurut W. Kent Muhlbauer (2004) faktor risiko dalam suatu sistem perpipaan terdiri dari 4 faktor diantaranya:

2.4.1 Indek kerusakan yang disebabkan oleh pihak ke-tiga (*third party damage index*)

Faktor-faktor yang dikelompokkan ke dalam penyebab kerusakan oleh pihak ke-tiga adalah sebagai berikut:

- Kedalaman minimum pelindung (*minimum depth of cover*)
- Tingkat aktifitas (*activity level*)
- Fasilitas di atas tanah (*aboveground facilities*)
- Program pendidikan pada masyarakat setempat (*public education programs*)
- Kondisi koridor perpipaan (*right-of-away*)
- Jumlah patroli (*patrol frequency*)



Gambar 11: Minimum depth of cover (W. Kent Muhlbauer 1992)

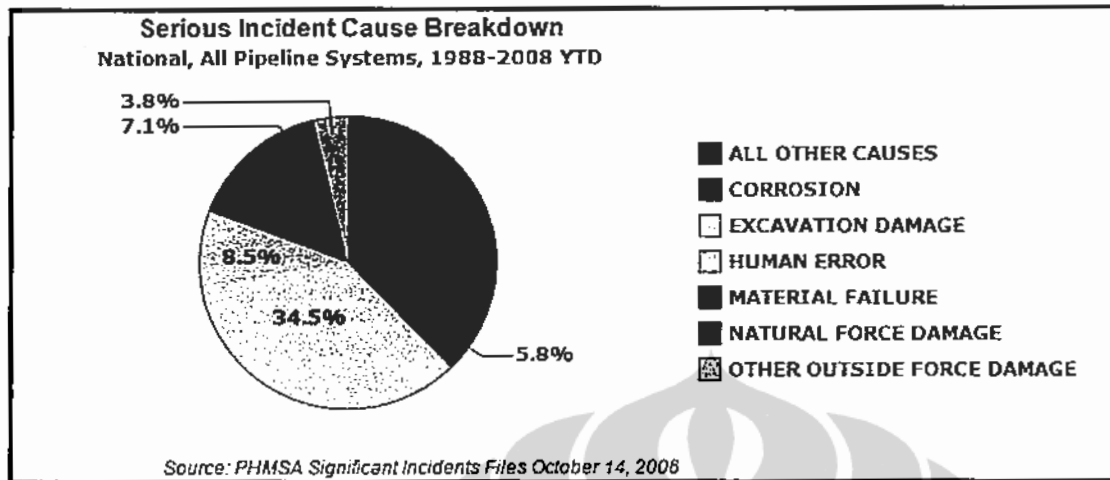
2.4.2 Indek korosi (*corrosion index*)

Apabila sistem perpipaan menggunakan bahan baku dari pipa baja maka faktor kedua yang diperhitungkan dalam menilai risiko pipa adalah faktor korosi. Sebagian besar kasus kebocoran dalam pengoperasian pipa minyak dan gas bersumber dari faktor korosi. Faktor korosi merupakan hal yang sangat penting dalam pengoperasian pipa karena dapat menurunkan integritas struktur.

Pipa dapat mengalami korosi karena berbagai faktor yang datang dari internal maupun eksternal. Misalnya kondisi tanah, cuaca, dan sifat metalurgi dari pipa yang digunakan. Semakin korosif sifat suatu pipa, kemungkinan terjadinya kebocoran semakin besar yang berarti tingkat kerawanannya semakin tinggi.

Pada perhitungan indek korosi ada dua faktor yang harus dilakukan yaitu : jenis material dan kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan termasuk kondisi-kondisi yang dapat mempengaruhi penyusutan ketebalan pipa dari bagian dalam atau luar oleh karena proses korosi.

Menurut *US Department of Transportaion (DOT)-2008*, penyebab kegagalan pada sistem perpipaan adalah sebagai berikut:



Gambar 12: Statistik angka penyebab kegagalan dalam sistem perpipaan

Sumber: <http://ops.dot.gov>, diambil tanggal: 30 Oktober 2008

Hal-hal yang harus diperhatikan di dalam menentukan faktor risiko terhadap korosi antara lain:

2.4.2.1 Komponen Indeks Korosi

Komponen indeks korosi dikategorikan ke dalam 3 tipe yaitu:

a) Korosi akibat Udara (*Atmospheric Corrosion*) :

Fasilitas yang rentan terhadap korosi antara lain:

- Lokasi pipa antara air dan udara (*Splash Zone*)

Lokasi dimana pipa terpapar di udara dan air. Adanya kondisi/fasilitas tersebut, menimbulkan pembentukan anoda dan katoda. Hal ini karena paparan terhadap udara dan air menyebabkan perbedaan konsentrasi oksigen sehingga menimbulkan daerah-daerah anoda dan katoda. Jika pipa terpapar oleh jenis air dengan kandungan garam tinggi (seperti

air laut atau air formasi) maka proses korosi yang berasal dari proses elektrokimia akan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan adanya ion-ion yang tinggi untuk mendukung proses reaksi elektrokimia tersebut.

- Pelindung Pipa (*casing*), Pembalut pipa (*insulation*) dan Penopang pipa (*pipe support/hanger*)

Adanya *casing* dapat mendukung terjadinya korosi, karena *casing* akan berperilaku sebagai katoda sementara pipa berperilaku sebagai anoda. Walaupun tidak terjadi aliran listrik, adanya *casing* seringkali menjadi tempat penimbunan air yang menyebabkan korosi.

- Kondisi udara

Kondisi atmosfer dapat meningkatkan atau mempercepat proses korosi yang terjadi melalui mekanisme oksidasi. Karakteristik atmosfer yang mempengaruhi adalah :

- Komposisi kimia atmosfer seperti kandungan garam, kadar CO₂, SO₂, Cl₂, dan lain lain.
- Kelembaban udara. Kadar uap air mempengaruhi laju korosi sehingga diperhitungkan dalam analisa risiko
- Temperatur dapat mempengaruhi proses korosi, Proses korosi berlangsung lebih cepat pada kondisi temperatur tinggi.

- Program Inspeksi

Program inspeksi yang dilakukan dengan baik dan terencana dapat menekan risiko korosi. Melalui inspeksi yang baik perusahaan akan mampu mendeteksi kemungkinan terjadinya korosi secara dini. Karena itu dalam penilaian risiko faktor inspeksi merupakan salah satu elemen penilaian.

b) Korosi dari dalam (*Internal Corrosion*)

Korosi dari dalam sistem perpipaan sangat dipengaruhi oleh media atau produk yang dialirkan di dalamnya dan tindakan pencegahan, apabila media tersebut bersifat korosif maka hal ini sangat mempengaruhi laju korosi yang terjadi di dalam sistem perpipaan tersebut.

c) Korosi akibat permukaan yang ditanam di bawah tanah (*subsurface corrosion*)

Korosi yang disebabkan oleh karena ditanamnya pipa di dalam tanah sangatlah sulit untuk dikategorikan, untuk menjelaskan mekanisme dari tipe korosi ini dengan menggabungkan antara sifat-sifat (*attributes*) dan pencegahan (*preventions*) yang antara lain:

- Keberadaan material baja lain yang tertanam di sekitar pipa tersebut akan mempengaruhi tingkat korosi apabila tidak dilakukan pencegahan.
- Potensial arus listrik yang kesasar.

- *Stress corrosion cracking potensial.*
- *Spasi lead test*
- Pemeriksaan pada *rectifier* dan jaminan iterferensi.
- Jumlah pembacaan "*test lead*"

Derajat korosifitas tanah diukur berdasarkan resistensi tanah dan kandungan unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Resistensi tanah merupakan ukuran bagaimana aliran listrik mengalir sehingga proses korosi dapat berlangsung. Resistensi tanah bergantung pada berbagai faktor seperti kandungan uap air, konsentrasi ion-ion, porositas tanah, suhu dan jenis tanah. Faktor-faktor tersebut seringkali dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti curah hujan, temperatur lingkungan, iklim dan lain lain. Oleh karena itu resistensi tanah menjadi hal yang penting untuk dipertimbangkan karena sangat berpengaruh terhadap proses korosi. Resistensi tanah seringkali dinyatakan dalam bentuk nilai *soil resistivity*, dan pengukuran *resistivity* harus dilakukan secara periodik untuk memberikan gambaran yang aktual.

2.4.2.2 Keberadaan Pipa Logam Lain

Keberadaan pipa logam lain di dekat jalur pipa yang terpendam merupakan potensi risiko. Adanya pipa logam lain dapat menyebabkan penyimpangan/interferensi terhadap sistem *cathodic protection*. Adanya pipa logam lain dapat menimbulkan mekanisme korosi melalui proses sel

galvanis. Bahaya akan timbul jika pipa logam lain memiliki elektronegatifitas yang lebih tinggi dan akan bersifat katoda, sehingga jalur pipa utama menjadi anoda dan mengalami korosi. Makin banyak terdapat pipa logam lain di sekitar jalur pipa utama, makin besar risiko korosi yang terjadi.

2.4.2.3 Potensi untuk terjadinya Penyimpangan aliran listrik karena berdekatan dengan *AC Induced Current*.

Adanya transmisi listrik di dekat jalur pipa menimbulkan medan magnet dan medan listrik sehingga menyebabkan pipa bermuatan. Pipa yang bermuatan listrik tidak saja berbahaya bagi sistem pipa itu sendiri, tetapi juga berbahaya bagi manusia jika kontak dengan pipa tersebut. Risiko yang ada bergantung pada jarak transmisi listrik tersebut dengan pipa, oleh karena itu dalam penilaian faktor yang menentukan adalah jarak serta ada/tidaknya tindakan pencegahan.

2.4.2.4 Korosi Mekanis (*Mechanical Corrosion*)

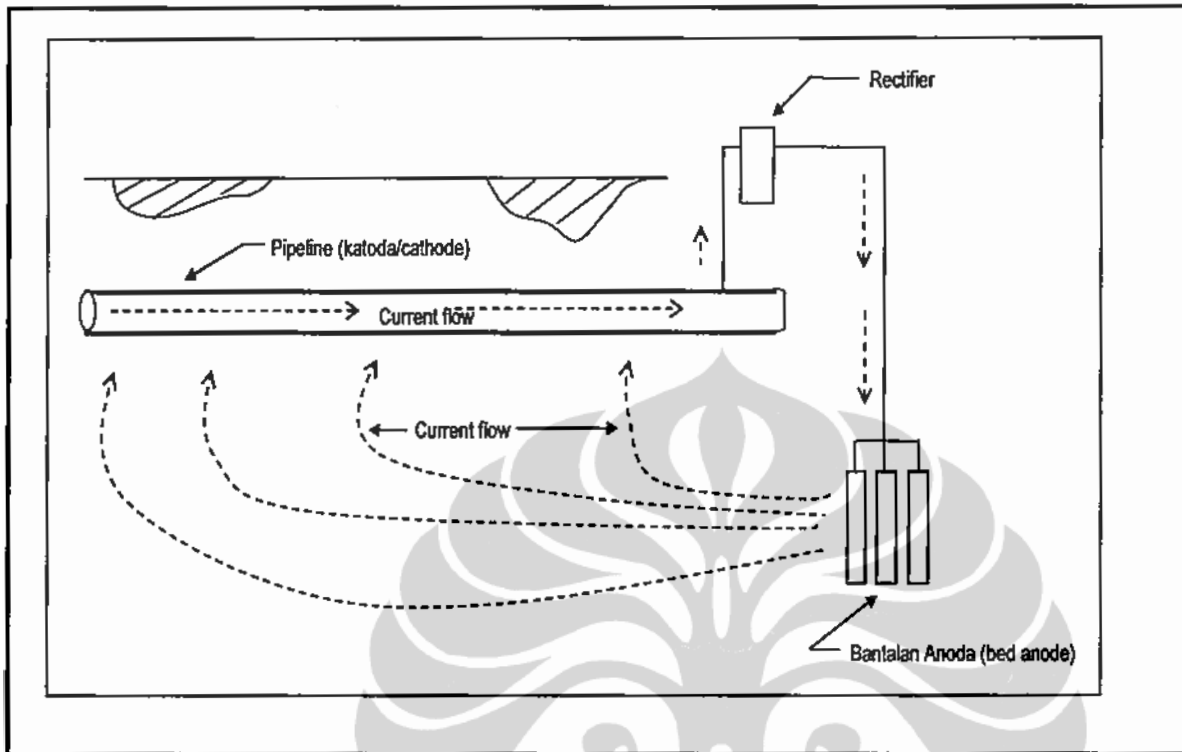
Fenomena kerusakan jenis ini meliputi komponen korosi dan komponen mekanis. Termasuk dalam kategori ini adalah

- *Hydrogen Stress Corrosion Cracking (HSCC)*
- *Sulfide Stress Corrosion Cracking (SSCC)*
- *Hydrogen Induces Cracking (HIC)*
- *Corrosion Fatigue*
- *Errosion*

Faktor yang berperan dalam jenis korosi ini adalah tekanan (*stress*), kondisi lingkungan dan jenis logam. Ketiga faktor ini harus dipertimbangkan karena sangat mempengaruhi terjadinya korosi mekanis (*mechanical corrosion*). Tingkat tekanan (*stress level*) dikaji berdasarkan prosentase tekanan operasi dibandingkan dengan MAOP. Sementara itu faktor lingkungan yang dikaji mencakup faktor eksternal (*soil corrosivity*) dan faktor internal (*product corrosivity*). Untuk faktor pengkontribusi jenis logam dikaji pada bagian *Design Index*.

2.4.2.5 Perlindungan Katodik (*Cathodic Protection*)

Perlindungan korosi dengan memasang perlindungan katodik adalah untuk pipa yang ditanam dalam tanah (*under-ground*). Katodik Sistem ini memberikan perlindungan pada pipa melalui mekanisme sel galvanis. Aliran elektron (listrik) mengalir dari suatu bed anoda melalui tanah sebagai media elektrolit, dimana jalur pipa berperilaku sebagai katoda, sehingga pada akhirnya pipa terlindungi dari korosi. *Rectifier* memberikan gaya dorong terhadap aliran listrik (*impressed current*) yang ada sehingga dapat mempertahankan perlindungan terhadap pipa. Sistem lainnya adalah menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*), dimana arus dan potensialnya bukan berasal dari sumber lain namun berdasarkan perbedaan keelektronegatifan antara katoda dan anoda korban. Faktor yang perlu dikaji sehubungan dengan sistem ini adalah perangkat *cathodic protection* itu sendiri beserta program inspeksi yang diterapkan.



Gambar 13: Instalasi perlindungan katodik dengan menggunakan rectifier (W. Kent Muhlbauer 1992)

2.4.2.6 Test Leads (Test Box)

Test leads (Test Box) merupakan metode untuk memonitor keefektifan sistem *cathodic protection*. Melalui *test leads (test box)*, dapat dilakukan pengukuran menggunakan voltmeter dan elektroda pembanding sehingga diketahui beda potensial pipa terhadap tanah. Hasil pengukuran ini menunjukkan derajat perlindungan pada pipa karena menunjukkan kecenderungan mengalirnya arus listrik, besaran arus listrik serta arah aliran listrik. Hasil pembacaan melalui *test leads* memberikan gambaran hanya pada lokasi disekitar *test leads (test box)*

berada serta pada dilakukannya pembacaan. Oleh karena lokasi dan waktu sangat berpengaruh, maka pada bagian ini dikaji jarak penempatan test leads dari jalur pipa beserta frekuensi pembacaannya.

2.4.2.7 Close Interval Survey

Hasil pembacaan melalui *test leads* hanya memberikan gambaran pada lokasi disekitar *test leads* serta pada saat dilakukannya pembacaan, sementara itu gambaran secara keseluruhan jalur pipa belum tercermin. Gambaran secara keseluruhan disepanjang jalur pipa diperoleh melalui *Close Interval Survey*. *Close Interval Survey* memberikan profil potensial pipa terhadap tanah disepanjang jalur pipa karena pembacaan dilakukan setiap 2 hingga 15 *feet*. *Close Interval Survey* menunjukkan lokasi-lokasi dimana terdapat interferensi baik interferensi yang berasal dari logam lain, interferensi karena adanya *casing*, lokasi dimana sistem *cathodic protection* tidak berjalan dengan baik, hingga lokasi dimana terdapat cacat *coating*. *Close Interval Survey* harus dilaksanakan secara periodik sehingga dapat memberikan gambaran yang disepanjang jalur pipa.

2.4.2.8 Penggunaan Perangkat-Perangkat Inspeksi Internal

Inspeksi internal merupakan indikator langsung terhadap aktifitas korosi. Salah satu contoh perangkat inspeksi internal adalah *intelegence pig*. Alat ini ada yang dilengkapi dengan teknologi ultrasonik, ataupun fluks magnet untuk melakukan inspeksi internal.

Perangkat ultrasonik didasarkan pada gelombang suara yang mengukur secara kontinyu ketebalan dinding pipa bersama perangkat pigging yang berjalan sepanjang jalur pipa. Fluks magnet menghasilkan medan magnet pada dinding pipa, perubahan pada dinding pipa ditunjukkan oleh perubahan pada medan magnet. Hasil inspeksi internal menggunakan *pigging* memberikan gambaran detail mengenai setiap perubahan/cacat yang terjadi pada dinding pipa, seperti adanya patahan pada pipa, cacat coating, ukuran cacat yang terjadi, ukuran logam yang hilang dan lain-lain.

2.4.3 Indek disain (*design index*)

Faktor disain memegang peranan penting dalam menjamin keamanan operasi pipa. Faktor ini menyangkut perencanaan yang baik sejak awal proyek pipa dimulai. Banyak terjadi kecelakaan dalam operasi pipa karena kurang baiknya perencanaan awal.

Dalam perancangan ini meliputi disain enjinereng dan kondisi lingkungan operasional misalnya pemilihan material, pemilihan route, kalkulasi perhitungan tegangan pipa (*stress calculaton*), ketebalan pipa sudah termasuk daya tahan terhadap korosi (*allowance corrosion*), posisi terjebaknya air atau penguapan media yang dialirkan oleh karena perbedaan elevasi, tekanan kerja, teknik pemasangan dan sebagainya.

2.4.3.1 Disain Enjinereng (*Design Engineering*)

Pada saat disain enjinereng aspek-aspek yang menjadi perhatian dan tuntutan yang harus dipenuhi persyaratannya antara

lain kekuatan pipa, eksternal proteksi, maksimal tekanan internal, daya tahan sistim sambungan pengelasan, beban eksternal, daya tahan terhadap korosi (*corrosion allowance*), beban siklus maksimal, faktor kelelahan (*fatigue factor*) dan lainnya.

2.4.3.2 Kondisi Lingkungan Operasional

Kondisi lingkungan operasional merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari penilaian suatu risiko, dimana sistem perpipaan yang dipasang membentang dan melewati segala aspek kehidupan perlu mempertingkan beberapa hal antara lain:

- Faktor keamanan pipa (*Pipe Safety Factor*)
- Faktor sistem pengaman (*System Safety Factor*)
- Kelelahan (*Fatigue*).
- Potensi terjadinya sentakan (*Surge Potential*)
- Sistem pengujian hidrostatis (*Sistem Hydrostatik Test*)
- Pergeseran tanah (*Soil Movement*)

2.4.3.3 Faktor Keselamatan Pipa

Pada saat tahap disain pada umumnya jalur pipa dipasang dengan ketebalan yang lebih (*extra*) selain mempertimbangkan daya tahan terhadap korosi. Hal ini dikarenakan standar ketebalan bahan baku pipa yang terbuat dari plat baja sudah ditentukan dari pabrik pembuatnya sehingga di dalam pemilihan material pipa unsur

ketebalan menjadi aspek yang sangat mendasar yang terkadang pembulatan ketebalan disain lebih condong ke arah yang lebih tebal. Penambahan ketebalan ini biasanya dilakukan untuk melindungi pipa dari adanya korosi dan kerusakan dari luar. Proteksi lebih yang digunakan, disamping kebutuhan disain harus diperhatikan dalam evaluasi risiko.

Hal pertama yang harus diperhatikan dalam penilaian faktor keamanan pipa, adalah ketebalan dari pipa yang digunakan. Besarnya ketebalan minimum pipa yang digunakan dapat dilihat dari disain awal pipa. Bila tidak terdapat data awal disain, maka dapat dilakukan dengan cara pengukuran di tempat dengan menggunakan alat ukur ketebalan.

Ketebalan pipa yang dibutuhkan berdasarkan disain kemudian dibandingkan dengan ketebalan sebenarnya dari pipa yang terpasang. Perbandingan ketebalan antara disain dengan ketebalan pipa terpasang, akan menentukan bobot penilaian dari faktor keamanan dari pipa.

2.4.3.4 Faktor Keamanan Sistem

Penilaian faktor keamanan sistem adalah membandingkan antara tekanan disain dari jalur pipa dengan tekanan maksimum operasi yang diijinkan (MAOP).

2.4.3.5 Kelelahan (*Fatigue*)

Kerusakan akibat kelelahan adalah kegagalan yang diakibatkan secara mekanis dari bahan. Kelelahan adalah kelemahan dari material akibat terjadinya tekanan atau hentakan yang berulang-ulang pada material. Terjadinya proses lemahnya material akibat kelelahan tergantung dari frekuensi dan besarnya tekanan yang terjadi pada material.

Pada jalur pipa, biasanya kejadian yang mengakibatkan terjadinya kegagalan kelelahan disebabkan karena terjadinya perubahan tekanan dalam pipa. Tekanan dari luar akibat lalu lintas termasuk beban berulang yang harus diperhitungkan dalam penilaian kelelahan.

Penilaian kegagalan akibat *fatigue*, pertama-tama dihitung besarnya *fatigue* yang terjadi, yang kemudian dihitung prosentase besarnya tekanan yang berulang tersebut, dibandingkan dengan tekanan MAOP. Selanjutnya tabel dibawah ini dapat dipakai untuk menentukan besarnya penilaian.

Tabel 3 : Penilaian kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*) (W. Kent Muhlbauer 1992)

Lifetime Cycles					
% MAOP	< 10'	10' – 10 '	10' – 10 '	10' – 10 '	< 10'
90	9	6	4	2	1
75	10	7	5	3	2
50	11	8	6	4	3
25	12	9	7	5	4
10	13	10	8	6	5
5	14	11	9	7	6

2.4.3.6 Potensi Sentakan (*Surge Potential*)

Potensi terjadinya tekanan sentakan atau efek *water hammer*, akan dikaji pada penilaian disini. Besarnya tekanan sentakan tersebut tergantung dari *density* dan *elasticity* dari produk yang dialirkan dan kondisi perbedaan elevasi dari instalasi itu sendiri.

2.4.4 Indek Kesalahan Pengoperasian (incorrect operations index).

Pada indek kesalahan operasi, potensi terjadinya risiko yang sangat penting adalah akibat terjadinya kesalahan manusia (*human error*). Kesalahan dapat terjadi oleh karena pelanggaran (*violation*), dan khilaf (*lapses*). Besarnya kemungkinan terjadinya kesalahan manusia merupakan aspek yang sulit dilakukan secara kuantitatif, sehingga sangat sulit untuk dimengerti. Hal terpenting dalam pengkajian risiko akibat kesalahan operasi adalah memperkirakan kesalahan sekecil apapun yang mungkin terjadi disetiap proses, sehingga dapat terakumulasi yang mengakibatkan sistem menjadi mudah rusak disetiap proses yang berjalan. Oleh karenanya maka evaluasi dilakukan pada 4 tahap proses berikut ini yaitu : disain, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan. Indek Kesalahan Operasi adalah kumpulan bagian-bagian yang dapat dilakukan pencegahan. Bila sistem pipanisasi sudah dapat diketahui dari disain awal, konstruksi dan petunjuk pemeliharaan yang ada, maka pengoperasian jalur pipa tersebut dapat mengambil manfaat dari riwayat pengoperasian jalur pipa. Pendekatan sederhana biasanya mengasumsikan kondisi yang paling buruk, bila tidak ada data untuk membandingkan.

Beberapa hal yang termasuk dalam pengkajian Indek ini adalah sebagai berikut :

2.4.4.1 Faktor Disain

Pada tahap disain ini dievaluasi beberapa komponen sebagai berikut :

- Identifikasi Bahaya

- Kemampuan operasi maksimum dari jalur pipa saat ini (*maximum allowable working pressure/MAWP*)
- Sistem Pengaman
- Seleksi Material
- *Check List*

2.4.4.2 Faktor Konstruksi

Pada saat konstruksi komponen yang harus di evaluasi adalah :

- Sistem Inspeksi yang berjalan
- Seleksi bahan baku
- Penanaman jalur pipa
- Pengangkatan (*handling*) pipa
- Lapisan pelindung pipa

2.4.4.3 Faktor Operasi

Komponen yang masuk dalam evaluasi pada tahap ini adalah :

- Prosedur operasi
- SCADA dan sistem komunikasi.
- Pengujian kesehatan karyawan
- Program Pengamanan.
- Survey.

- Program pelatihan karyawan
- Pencegahan terjadinya kegagalan mekanis

2.4.4.4 Faktor Pemeliharaan

Komponen yang dilakukan evaluasi pada sistem pemeliharaan adalah :

- Dokumentasi
- Jadwal pemeliharaan
- Prosedur pelaksanaan

2.4.5 Faktor Dampak Kebocoran (*leak impact factor*)

Faktor-faktor pengaruh yang akan terjadi apabila ada kebocoran adalah:

- Product Hazard (acute + chronic hazards) (PH)*
- Leak/Spill Volume (LV)*
- Dispersion (D)*
- Receptors (R)*, dipengaruhi oleh: kepadatan penduduk, pertimbangan lingkungan dan area yang memiliki nilai yang tinggi.

Maka dapat dilihat bahwa LIF (*leak impact factor*) sebagai berikut:

$$LIF = PH \times LV \times D \times R$$

Dimana:

PH = *product hazard*

LV = *leak volume* (jumlah relatif dari cairan atau gas yang bocor)

D = *Dispersion (relative range of the leak)*

R = *receptors (all things that could be damaged).*

2.4.5.1 *Product Hazard*

Faktor utama yang menentukan bentuk dari *hazard* adalah karakteristik dari produk yang ada di dalam perpipaan yang sedang dialirkan.

Pada saat mempelajari pengaruh dari suatu kebocoran pipa, maka dilakukan perbedaan antara bahaya akut (*Acute*) dengan bahaya kronis (*Chronic*). Bahaya Akut adalah bahaya yang terjadi secara tiba-tiba, sehingga memerlukan perhatian yang cepat untuk mengatasi bahaya tersebut. Contoh bahaya ini seperti : Kebakaran, ledakan, atau pajanan bahan beracun.

a. *Acute hazard*

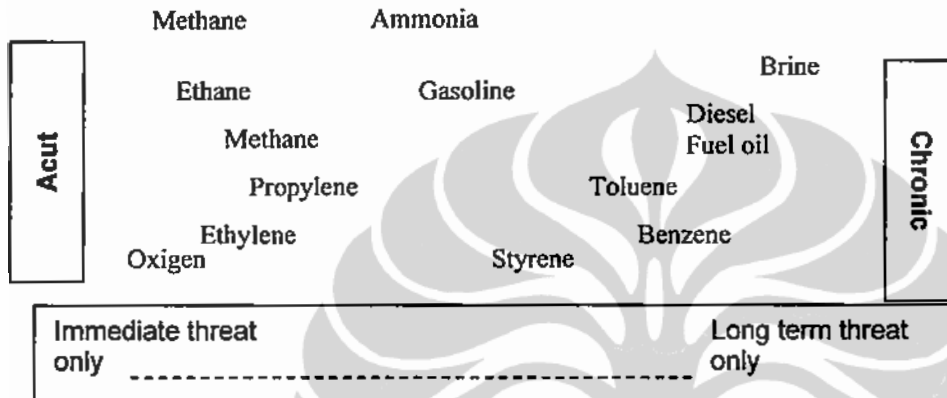
Kedua produk apakah itu cairan (*liquid*) dan gas harus diperiksa untuk mengetahui *flammability*, *reactivity*, dan *toxicity*.

- *Flammability, Nf*

Kebanyakan produk yang dialirkan pada perpipaan adalah mempunyai sifat mudah terbakar (*flammable*). *Hazard* yang terbesar dari kebanyakan hydrocarbon adalah dari kemampuan terbakarnya (*flammability*). Simbol Nf digunakan untuk menandakan *flammability rating* berdasarkan skala dari NFPA.

Flashpoint adalah salah satu indikator dari *flammability* suatu produk. *Flashpoint* dapat didefinisikan sebagai temperatur minimum dimana uap/gas bahan bakar cair dapat menyala

sekejap bila sumber panas yang cukup didekatkan pada permukaan cair tersebut (W Kent Muhlbauer, 2004).



Gambar 14: Relative acute-chronic hazard scale for some pipeline products

- *Reactivity, Nr*

Adakalanya suatu sistem perpipaan akan digunakan untuk mengalirkan material yang tidak stabil pada kondisi tertentu. Suatu reaksi dengan udara, air, atau dengan material itu sendiri dapat berpotensi menjadi sangat berbahaya.

- *Toxicity, Nh*

Rating pada NFPA untuk faktor kesehatan material adalah Nh. Nilai Nh hanya mempertimbangkan *hazard* kesehatan dengan tujuan bagaimana *hazard* mempengaruhi orang.

b. *Chronic hazard*

Ancaman yang sangat serius pada keselamatan jiwa adalah yang disebabkan oleh bocornya produk yang dialirkan perpipaan tersebut. Dampak yang dirasakan oleh makhluk hidup maupun lingkungan di sekeliling perpipaan tersebut yang sifatnya lama dapat dikategorikan sebagai *chronic hazard*.

2.4.5.2 Volume Kebocoran (*Leak volume*)

Volume kebocoran atau ukuran tumpahan merupakan fungsi dari rate kebocoran, waktu reaksi, dan kapasitas fasilitas. Hal ini adalah penyebab kerusakan pada penerima (*receptors*) dengan asumsi *zone hazard* yang proporsional.

Ada tiga komponen yang digunakan untuk skoring disini yang antara lain:

a. Ukuran lubang (*hole size*)

Sebagai komponen yang kritikal pada saat pemeriksaan adalah rate volume dari pada kebocoran. Ukuran lubang pada kegagalan dimana kebocoran terjadi harus diestimasi. Ukuran lubang akan ditentukan oleh model kegagalan yang dipengaruhi oleh fungsi dari material pipa, kondisi ketegangan, dan penyebab kegagalan.

b. Model kebocoran

Untuk mengetahui skor daripada tumpahan, mula-mula *evaluator* harus menentukan apakah produk yang ada di dalam pipa adalah cairan atau gas setelah pipa mengalami kegagalan. Ada beberapa model kebocoran antara lain:

- *Hazardous vapor release*
- *Hazardous liquid release*

- *Highly volatile release*

2.4.5.3 Penyebaran (Dispersion)

Bocornya isi dari perpipaan dapat berakibat sangat spesifik pada area, ditentukan dengan produk yang ada dan karakteristik daerah di sekitarnya.

Jika kebocoran pada perpipaan merupakan gas, dimana gas memiliki tingkat kebebasan dan akan menyebar dengan mudah. Gas yang mudah terbakar akan bercampur dengan oksigen sehingga menghasilkan campuran yang mudah menyala.

Daerah berbahaya pada kebocoran gas terbentuk melalui salah satu pola berikut ini yaitu: *jet fire* atau *vapor cloud*.

- *Jet fire*

Bocornya gas yang mudah terbakar membawa ancaman penyalan dan berikutnya adalah api (*fire*). Radiasi panas dari jet yang terus menerus atau semburan api kemungkinan besar didahului oleh bola api (*fireball*) yang merupakan bahaya utama pada penduduk dan properti dengan cepat di sekitar bocornya perpipaan yang mengalirkan gas.

- *Vapor clouds* (vapor spills).

Uap gas terbentuk dari produk yang pada awalnya dalam bentuk gas atau terbentuk dari terjadinya penguapan gas yang keluar. Ada dua *potensial hazard* yang ditimbulkan oleh *vapor cloud*, pertama jika produk dalam awan (*cloud*) adalah *toxic*, sedangkan *hazard* yang kedua adalah awan (*cloud*) adalah mudah terbakar. Dan sudah pasti *vapor cloud* dapat berupa keduanya yaitu *toxicity* dan *flammability*.

2.4.5.4 Receptor

Pengertian dari receptor disini adalah sesuatu yang dapat menderita oleh karena kebocoran pada perpipaan (W Kent Muhlbaue, 2006), diantaranya : kematian pada manusia, penderitaan pada manusia, kerusakan pada properti, kerusakan pada lingkungan dan biaya perbaikan.

Kerusakan pada *receptor* tergantung dari lamanya dan intensitas suatu peristiwa. Kejadian dengan durasi yang panjang dan intensitas yang tinggi menyebabkan sebagian besar kerusakan. Dengan intensitas yang rendah dan durasi yang pendek menyebabkan kerusakan yang sedikit.

Untuk setiap receptor diantaranya populasi, lingkungan, air minum, saluran air, informasi dasar yang diperlukan untuk penilaian termasuk:

- Karakteristik *receptor* (type dari penduduk, bangunan, dan lain-lain).
- Kepadatan *receptor* (unit per area).
- Kemudah terserangnya *receptor* (kerentanan untuk sakit, mobilitas, dan lain-lain)
- Jarak dan perlindungan dari *receptor*.

Pembagian kelas lokasi menurut DOT CFR Part 192 adalah sebagai berikut:

- Lokasi kelas 1, lokasi dimana terdapat 10 atau golongan kecil bangunan yang dihuni oleh penduduk.
- Lokasi kelas 2, lokasi dimana terdapat lebih dari 10 tetapi kurang dari 46 golongan kecil bangunan yang dihuni oleh penduduk.
- Lokasi kelas 3, lokasi dimana terdapat lebih dari 46 bangunan kecil yang dihuni oleh penduduk.

2.4.6 Keterbatasan dan Keunggulan Model Pipeline Risk Management

Manual W.Kent Muhlbauer

2.4.6.1 Keterbatasan Model Pipeline Risk Management Manual Versi W. Kent Muhlbauer (1992)

Model ini dirancang untuk memberi kemudahan dalam melakukan proses analisis risiko pada sistem perpipaan untuk mengenali risiko dan besaran risiko serta konsekuensinya.

Dalam penerapannya model ini memiliki beberapa keterbatasan yang harus diperhatikan antara lain:

- Dalam pembobotan atau skoring pada faktor indek kerusakan akibat pihak ketiga, tidak memperhitungkan sabotase, terorisme dan sebagainya yang berhubungan dengan kerusakan yang disengaja dengan tujuan tertentu.
- Tidak memperhitungkan kondisi-kondisi bencana alam, mengingat Indonesia mempunyai potensi bencana alam yang begitu besar seperti banjir bandang.
- Perlu mempertimbangkan adanya *emergency response plan* dan disampaikan pada penduduk maupun operator yang berada di dekat instalasi perpipaan tersebut apabila bahaya benar-benar terjadi.
- Belum mempertimbangkan karakter dan disiplin dimana setiap bangsa mempunyai karakter dan disiplin yang berbeda.

2.4.6.2 Sedangkan keunggulan dari Model Pipeline Risk Management Manual versi W. Kent Muhlbauer (2004) adalah sebagai berikut:

- Didalam sistem skoring pada faktor probabilitas pada prinsipnya tidak ada perbedaan yang signifikan, hanya ada sedikit perubahan pada sub faktor dan pembobotannya.

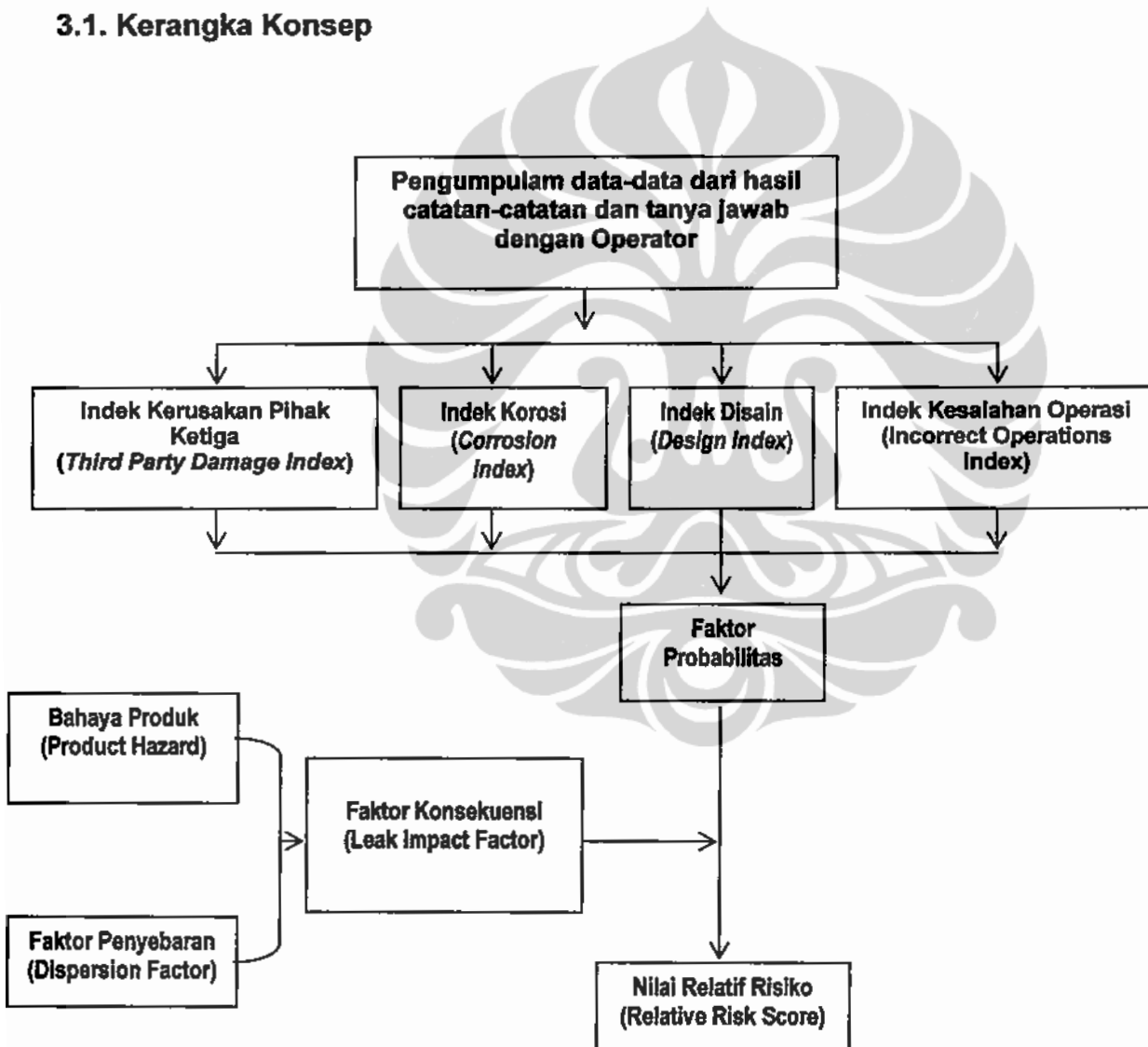
- Pada perhitungan Leak Impact Factor (LIF), disini lebih ditekankan pada beberapa elemen diantaranya: karakteristik produk, volume kebocoran, dispersion dan reseptor (penerima yang ada di sekitar perpipaan).
- LIF merupakan jumlah perkalian dari keempat elemen (karakteristik produk, volume kebocoran, dispersion dan reseptor) apabila salah satu dari keempat elemen tersebut ada yang nilainya 0 maka secara otomatis skor dari LIF adalah sama dengan 0 atau dengan kata lain kondisi ini tidak berisiko.

2.4.7 Peringkat Risiko

Peringkat risiko disusun dengan menggunakan sistem *leveling* dengan tingkat *severity* yang berbeda. Peringkat risiko ini pada dasarnya disusun berdasarkan kebijakan perusahaan masing-masing dan tergantung pada persepsi dalam menerima suatu risiko

BAB III
KERANGKA KONSEP,
DAN DEFINISI OPERASIONAL

3.1. Kerangka Konsep



Gambar 15 : Tipe Struktur Indek Model (W.Kent Muhlbauer 1992)

3.2 Definisi Operasional

No.	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Alat Ukur	Hasil Ukur	Kreteria
1	Indek bahaya pihak ke-tiga	Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh pihak ke-tiga	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya pihak ke-tiga	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya pihak ke-tiga	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan
2	Indek korosi bahaya	Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh adanya serangan korosi	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya korosi	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya korosi	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan
3	Indek disain	Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan kesalahan atau ketidak patuhan persyaratan disain	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya pada saat disain	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya pada saat disain	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan
4	Indek kesalahan operasi	Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh kesalahan pada saat operasional yang dilakukan oleh si operator	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam bahaya kesalahan operasi	Sistem Skoring pada komponen yang termasuk ke dalam kesalahan operasi	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan

5	Faktor Produk	Bahaya	Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh faktor karakteristik atau sifat-sifat dari produk itu sendiri	Sistem pada karakteristik dari produk sendiri mengacu MSDS tersebut	Skoring produk itu dengan pada material	Sistem Skoring pada karakteristik produk itu sendiri mengacu MSDS material tersebut	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan
6	Faktor penyebaran		Bahaya-bahaya (hazards) yang telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh faktor karakteristik hamburan kepacoran fluida di sekeliling perpipaan tersebut	Sistem pada karakteristik penyebaran tersebut	Skoring gas	Sistem Skoring pada karakteristik penyebaran fluida tersebut	Skor rata-rata	Tingkat risiko yang diijinkan

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Analisis Risiko

Studi analisis risiko ini menggunakan metode sebagai berikut :

4.1.1 Metode identifikasi risiko

Identifikasi risiko dilakukan dengan menggunakan *Check list*. Pada metode ini dilakukan identifikasi kondisi-kondisi dan faktor-faktor pengoperasian pipa yang memiliki potensi bahaya dan risiko yang dapat menyebabkan timbulnya kerugian.

Sistem perpipaan dibagi-bagi per seksi untuk memudahkan melakukan identifikasi risiko dengan mengikuti langkah-langkah berikut ini.

Pemilahan (*sectioning*), perpipaan dibagi menjadi beberapa seksi dimana setiap seksi panjangnya adalah 0.5 km dan analisis dimulai dari titik 0 km, untuk memudahkan analisis risiko dengan memperhatikan hal-hal berikut ini.

- Kepadatan populasi (*population density*)
- Kondisi tanah (*soil conditions*)
- Kondisi pelapisan (*coating condition*)

4.1.2 Metode analisis risiko

Metode analisis risiko yang digunakan adalah Kent W. Model (1992 & 2004), metode ini dipilih karena telah banyak digunakan diberbagai sistem perpipaan perusahaan gas maupun minyak di dunia. Metode ini memperhitungkan risiko

secara keseluruhan dengan menghitung faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat risiko keselamatan sistem pengoperasian pipa.

Metode analisis risiko tersebut bersifat semikuantitatif. Perhitungan risiko dilakukan dengan memberikan penilaian bobot pada kondisi pipa berdasarkan kriteria parameter/variabel yang ada.

4.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun data yang dipergunakan merupakan data sekunder yang didapat dari PT. XYZ, sehingga tidak diperlukan lagi pengambilan data secara langsung di lapangan (data primer). Pemeriksaan data dilakukan dengan mengumpulkan semua dokumen yang berhubungan langsung dengan perpipaan mulai dari fase *engineering*, pengadaan material, pemasangan dan pemeriksaan, uji tekan (*hydrotest*), sampai pada fase operasional.

4.3 Cara pengukuran dan pengamatan variabel

Cara pengukuran dan pengamatan variabel dilakukan dengan menggunakan referensi kombinasi antara *Pipeline Risk Management Manual* dari W. Kent Muhlbauer Versi 1992 dan versi 2004, hanya pada perhitungan *Leak Impact Factor* (LIF) menggunakan versi 1992 oleh karena pada versi 2004 belum menentukan skoring setiap elemen tersebut. Pengerjaan pemodelan akan diawali dengan memasukkan data yang di dapat dari hasil pemeriksaan dokumen-dokumen penunjang tersebut ke dalam sistem skoring, pengerjaan data dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

4.3.1 Skor pada indeks kerusakan oleh pihak ke tiga (*Third Party Damage Index*) skor maksimum = 100 pts)

Skoring pada pihak ke tiga adalah sebagai berikut:

Uraian	Skor	Persentase
Kedalaman minimum dari pelindung (<i>minimum depth of cover</i>)	0-20 pts	20%
Tingkatan aktivitas (<i>activity level</i>)	0-20 pts	20%
Fasilitas di atas tanah (<i>aboveground facilities</i>)	0-10 pts	10%
Sistem satu panggilan (<i>one-call system</i>)	0-15 pts	15%
Pendidikan warga sekitar (<i>public education</i>)	0-15 ts	15%
<i>Right-of-Way Condition (ROW)</i>	0-5 pts	5%
Frekuensi patroli (<i>patrol frequency</i>)	0-15 pts	15%
Total (sum)	0-100 pts	100%

4.3.1.1 Kedalaman minimum dari pelindung (*minimum depth of cover*) skor maks = 20 pts

Angka ini adalah jumlah pelindung tanah di atas bagian pipa yang paling dangkal. Tidak ada masalah seberapa dangkal bagian pipa tetapi nilai rata-rata kedalaman adalah dapat diterima.

Penentuan skor berdasarkan formula sebagai berikut :

$$\text{Skor} = (\text{Ketebalan cover dalam satuan Inch}) / 3 = \text{nilai points}$$

sampai maksimum 20 points (pts)

Kelebihan dari pelindung tanah ini adalah untuk melindungi jaringan dari aktifitas pihak luar yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem.

Skor tambahan: Apabila ada perlindungan tambahan maka diberikan skor tambahan sbb:

<i>2 inch concrete coating</i>	= 8 inch lapisan tanah
<i>4 inch concrete coating</i>	= 12 inch lapisan tanah
Pipa casing	= 24 inch lapisan tanah
<i>Concrete slab</i>	= 24 inch lapisan tanah
<i>Warning tape</i>	= 6 inch lapisan tanah

4.3.1.2 **Activity Level (skor maks = 20 pts)**

1. *High Activity Level (skor = 0)*

Dengan karakteristik salah satu atau lebih keterangan dibawah ini :

- Kepadatan penduduk klas 3 (DOT CFR part 192)
- Kepadatan penduduk sekitarnya tinggi
- Aktivitas konstruksi tinggi
- Volume kegiatan One-call tinggi
- Jalur perlintasan kereta api
- Banyak tertanam pipa lain pada jalur pipa tersebut.

2. *Medium Activity Level (skor = 8 pts)*

Dengan karakteristik salah satu atau lebih dibawah ini:

- Kepadatan penduduk kelas 2
- Kepadatan penduduk sekitarnya rendah
- Kegiatan konstruksi jarang
- Volume kegiatan One-call rendah
- Sedikit tertanam pipa lain pada jalur pipa tersebut.

3. *Low Activity Level* (skor = 15 pts)

Dengan karakteristik semua dibawah ini:

- Kepadatan kelas 1
- Kepadatan penduduk sekitarnya rendah, pedesaan.
- Tidak ada aktivitas konstruksi selama 10 th terakhir
- Kegiatan agrarian.

4. None (skor = 20)

4.3.1.3 Aboveground Facilities (skor maks = 10 pts)

Penilaian sbb:

<i>No aboveground facilities</i>	=10 pts
<i>Aboveground facilities</i>	= 0 pts
Facilities berjarak > 200 ft dari jalan kendaraan	= 5 pts
Dipasang pagar kawat sekeliling jarak 6 ft	= 2 pts
Perlindungan dudukan pipa baja	= 3 pts
Perlindungan pohon dia 12 in	= 4 pts
Perlindungan dengan parit	= 3 pts
Pemasangan tanda peringatan	= 1 pts

4.3.1.4 One – Call System (skor maks = 10 pts)

Penilaian sbb:

Dilengkapi dengan aspek hukum	= 4 pts
Data-data bukti efisiensi dan handal	= 2 pts
Diumumkan secara luas kemasyarakat	= 2 pts
Memenuhi standar ULCCA	= 2 pts
Reaksi tepat terhadap panggilan	= 5 pts

4.3.1.5 **Public Education Program (skor maks = 15 pts)**

Penilaian sbb:

Dengan pemberitahuan melalui surat	= 2 pts
Pertemuan dengan instansi terkait 1 kali/tahun	= 2 pts
Pertemuan dengan lokal kontraktor 1 kali/tahun	= 2 pts
Penyuluhan masyarakat secara regular	= 2 pts
Kontrak door – to – door dengan penduduk terdekat	= 4 pts
Pemberitahuan dengan surat terhadap kontraktor	= 2 pts
Publikasi sarana 1 kali/tahun	= 1 pts

4.3.1.6 **Right – of – Way Condition (skor maks= 11 pts)**

1. *Excellent* (skor = 5 pts)

Kondisi jalur ROW jelas, tanda rambu terlihat dari setiap sudut arah patroli lewat udara dilakukan.

2. *Good* (skor = 3 pts)

Kondisi jalur ROW jelas, rambu-rambu ada tetapi tidak dapat terlihat dari segala arah.

3. *Average* (skor = 2 pts)

Kondisi jalur ROW tidak seluruhnya jelas, diperlukan rambu tambahan terutama pada perlintasan jalan kereta api, perlintasan sungai dan lain lain

4. *Below Average* (skor = 1 pt)

Kondisi jalur ditumbuhi banyak tumbuh-tumbuhan, tidak seluruh jalur terlihat dari udara dan dari darat, rambu kurang.

5. *Poor* (skor = 0 pt)

Kondisi jalur pipa tidak ada ROW dan tidak ada rambu.

4.3.1.7 Frekuensi Patroli (skr maks = 15 pts)

Penilaian sbb:

Patroli dilakukan setiap hari	=15 pts
Patroli dilakukan 4 hari/minggu	=12 pts
Patroli dilakukan 3 hari/minggu	=10 pts
Patroli dilakukan 2 hari/minggu	= 8 pts
Patroli dilakukan 1 hari/minggu	= 6 pts
Patroli dilakukan < dari 4 kali/minggu	= 4 pts
Patroli dilakukan < dari 1 kali/minggu	= 2 pts
Tidak pernah dilakukan patroli	= 0 pts

4.3.2 Indek Korosi (corrosion index) skor maks = 100 pts

Yang termasuk ke dalam risiko korosi adalah sebagai berikut:

Uraian	Skor	Persentase
A. Korosi Atmosfer	0-10 pts	10%
1. terpajan atmosfer	0-5 pts	

	2. Tipe atmosfer	0-2 pts	
	3. Pelapisan/pemeriksaan	0-3 pts	
B.	Korosi Internal	0-20 pts	20%
	1. Korosifitas produk	0-10 pts	
	2. Perlindungan bagian dalam (internal protection)	0-10 pts	
C.	<i>Buried Metal Corrosion</i>	0-60 pts	60%
	1. Perlindungan katodik	0-8 pts	
	2. Kondisi coating	0-10 pts	
	3. <i>Soil corrosivity</i>	0-4 pts	
	4. Usia sistem	0-3 pts	
	5. Metal yang lain	0-4 pts	
	6. <i>AC induced current</i>	0-4 pts	
	7. Korosi mekanis	0-5 pts	
	8. <i>Test leads</i>	0-6 pts	
	9. <i>Close interval survey</i>	0-8 pts	
	10. <i>Internal inspection tool</i>	0-8 pts	
	Total (sum)	0-100 pts	100%

4.3.2.1 Korosi Atmosfer (*Atmospheric Corrosion*) skor maks = 20 pts

1. *Facilities* (skor maks = 5 pts)

Penilaian sbb:

<i>Air/water interface</i>	= 0 pt
<i>Casing</i>	= 1 pt
<i>Insulation</i>	= 2 pts

<i>Support/hanger</i>	= 2 pts
<i>Ground/air interface</i>	= 2 pts
<i>Other exposures</i>	= 4 pts
<i>None</i>	= 5 pts
<i>Multi occurrence detractor</i>	= -1 pts

2. *Atmospheric type* (skor maks = 10 pts)

<i>Chemical and marine</i>	= 0 pt
<i>Chemical and high humidity</i>	= 2 pts
<i>Marine, swamp, coastal</i>	= 4 pts
<i>High humidity, high temp</i>	= 6 pts
<i>Chemical and low humidity</i>	= 8 pts
<i>Low humidity</i>	= 10 pts

3. *Coating and Inspection* (skor maks = 5 pts)

Deskripsi	Good	Fair	Poor	Absent
Skor :	(3)	(2)	(1)	(0)
A. Coating				
B. Application				
C. Inspection				
D. Correction of Defects				

TOTAL SCORE =x 5/12 =

A. Coating

Ketepatan dan kualitas *coating* yang digunakan dengan pengaplikasiannya.

- Good = *coating* yang digunakan berkualitas tinggi dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang ada.
- Fair = *Coating* diterapkan, namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada.
- Poor = *Coating* diterapkan tetapi tidak sesuai dengan peruntukannya dalam jangka panjang untuk kondisi lingkungan yang ada.
- Absent = tidak digunakan *coating*.

B. Application

Dikaji mengenai proses aplikasi *coating* dan kualitasnya yang meliputi *pre-celaning*.

Ketebalan *coating* serta factor lingkungan (temperature, kelembaban, debu, dan lain lain) serta proses pembuatannya.

- Good = spesifikasi detail, terdapat *system quality control*, terdapat perhatian yang mendalam terhadap proses penerapannya.
- Fair = terdapat aplikasi, namun tanpa *supervise* dan *quality control*
- Poor = Aplikasi berkualitas rendah, dan ceroboh/tidak hati-hati
- Absent = aplikasi tidak tepat, lingkungan tidak terkontrol.

C. Inspection

Dikaji mengenai program inspeksi dalam hal ketepatan waktu dan ketelitian/kecermatan program inspeksi.

- Good = inspeksi bersifat formal, dan khusus dilakukan untuk kejadian korosi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer.
- Fair = Inspeksi berlangsung secara informal dan dilakukan oleh seorang yang berkualifikasi.
- Poor = Inspeksi yang dilakukan hanya sedikit dan bersifat sekilas.
- Absent = Tidak terdapat program inspeksi untuk korosi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer.

D. Correction of Defects

Dikaji program *defect correction* (koreksi adanya cacat coating/kekurangan) meliputi kecermatan/ketelitian dan ketepatan waktu.

- Good = terdapat pelaporan adanya *coating defect* (cacat coating) dan proses reparasi/perbaikan terhadap cacat coating terjadwal.
- Fair = Cacat coating dilaporkan secara informal, dan proses reparasi cacat coating dilakukan pada waktu-waktu yang kosong (tidak terjadwal)
- Poor = Cacat coating tidak dilaporkan secara konsisten dan tidak ada proses reparasi.
- Absent = Perhatian yang diberikan terhadap cacat coating sangat sedikit atau bahkan tidak dilakukan sama sekali.

4.3.2.2 Korosi Internal (*Internal Corrosion*) skor maks = 20

1. *Product Corrosivity* (skor maks = 10 pts)

- i) *Strongly corrosive* = 0 pt

Produk bersifat sangat *incompatible* dan sangat mengkorosi terhadap pipa, proses korosi berlangsung cepat. Contoh produk: Produk larutan garam, air, produk yang mengandung H₂s, dan produk asam.

ii) *Mindly corrosive* = 3 pts

- Kerusakan pipa berlangsung lambat
- Tidak diketahui

iii) *Corrosive only under special condition* = 7 pts

Produk secara umum tidak mempengaruhi pipa, namun ada kemungkinan masuknya komponen lain yang dapat mempengaruhi, seperti excursion / pemasukan gas CO₂ atau air garam kedalam pipa gas methan, dan lain lain.

iv) *Never corrosive* = 10 pts

2. *Internal Protection* (skor maks = 1- pts)

i) *None* = 0 pt

ii) *Internal monitoring* = 2 pts

- Dengan probe/sensor untuk mengukur transmisi listrik secara kontinyu
- Dengan *coupon* yang turut mengalir pada produk
- Mengkaji produk-produk korosi yang ada pada filter

iii) *Inhibitor injection* = 4 pts

Menginjeksikan antikorosi; *chemical inhibitor*, *oxygen scavenging* (penangkap oksigen), *biocides* (antimikroba), dan lain lain.

iv) *Internal coating* = 5 pts

Pelapisan pipa dengan plastik, karet, keramik dan lain lain.

v) *Operational measures* = 3 pts

Sistem/peralatan yang diterapkan untuk pencegahan korosi, seperti; filter, dehidrator, strips sour gas, temperature control. Harus dicek kondisi dan efektifitas peralatan/sistem yang dipakai

vi) *Pigging* = 3 pts

4.3.2.3 *Buried Metal Corrosion* (skor maks = 60 pts)

1. *Cathodic Protection* (skor maks = 8 pts)

Memenuhi kriteria umum = 8 pts

Tidak memenuhi kriteria = 0 pts

2. *Coating Condition* (skor maks = 10 pts)

Deskripsi	Good	Fair	Poor	Absent
	(3)	(2)	(1)	(0)
A. Coating				
B. Application				
C. Inspection				
D. Correction of Defects				

TOTAL SCORE = x 10/12 =

A. Coating

Dikaji ketepatan dan kualitas coating yang digunakan dengan pengaplikasiannya.

- Good = *coating* yang digunakan berkualitas tinggi dan sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada.
- Fair = *Coating* yang digunakan tepat, namun tidak didesain untuk kondisi yang tertentu.
- Poor = *Coating* diterapkan, namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada.
- Absent = tidak digunakan *coating*.

Selain itu, pertimbangan lain dapat digunakan untuk mengkaji kondisi coating, yaitu hasil pengukuran arus listrik pada *cathodic protection*:

Current Requirements	Coating Condition
0.0003 mA/ sq ft	Good
0.003 mA/ sq ft	Fair
0.1 mA/ sq ft	Poor
1.0 mA/ sq ft	Absent

B. Application

Dikaji mengenai proses aplikasi coating dan kualitasnya yang meliputi *pre-cleaning*, ketebalan coating serta faktor lingkungan (temperature, kelembaban, debu dll) serta proses pembuatannya.

- Good = Spesifikasi detail, terdapat sistem *quality control*, terdapat perhatian yang mendalam terhadap proses penerapannya.
- Fair = Inspeksi berlangsung secara informal dan dilakukan oleh seorang yang berkualifikasi
- Poor = Inspeksi yang dilakukan hanya sedikit, dan bersifat sekilas
- Absent = Tidak terdapat program inspeksi untuk korosi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer.

C. Correction of Defects

Mengkaji program *defect correction* (koreksi adanya cacat/kekurangan) meliputi kecermatan/ketelitian dan ketepatan waktu.

- Good = terdapat pelaporan adanya *coating defect* (cacat coating) dan proses reparasi/perbaikan terhadap cacat coating terjadwal.
- Fair = Cacat coating dilaporkan secara informal, dan proses reparasi cacat coating dilakukan pada waktu-waktu yang kosong (tidak terjadwal).
- Poor = Cacat coating tidak dilaporkan secara konsisten dan tidak ada proses reparasi.
- Absent = Perhatian yang diberikan terhadap cacat coating sangat sedikit, atau bahkan tidak dilakukan sama sekali.

3. *Soil Corrosivity* (skor maks = 4 pts)

< 500 ohm-cm	= 0 pts
500 – 10,000 ohm – cm	= 2 pts
> 10.000 ohm-cm	= 4 pts
Tidak diketahui	= 0 pts
Situasi khusus	= -1 s/d – 4 pts

4. *Age of System* (skor maks = 5 pts)

0 – 5 thn	= 3 pts
5 – 10 th	= 2 pts
10 – 20 th	= 1 pts
> 20 th	= 0 pts

5. *Current Flow to Other Buried Metal* (skor maks = 4)

No. of Occuences

None	= 4 pts
1 – 10	= 2 pts
11 – 25	= 1 pts
> 25	= 0 pts

- Adakah tindakan pencegahan yang diterapkan ?

Ya Tidak

Jika Ya, berikan skor dan kalikan nilai di atas dengan faktor
2 sampai dengan 3:

Skor = x (2 s/d 3) =

6. *AC Interference* (skor maks = 4 pts)

Tidak ada AC power pada jarak 500 ft dari pipa	= 4 pts
AC power dekat jalur pipa tetapi ada pelindung	= 2 pts
AC power dekat jalur pipa tidak ada pelindung	= 0 pts

7. *Mechanical Corrosion* (skor maks = 5 pts)

Ditentukan berdasarkan nilai % stress level atau % MAOP yang
ditabulasi silang dengan nilai *Environment*.

$$\% \text{ Stress level atau } \% \text{ MAOP} = \frac{\text{Operating pressure tertinggi yang pernah tercapai}}{\text{MAOP}} = \%$$

Environment = (Product corrosivity) + (soil corrosivity) → lihat bagian sebelumnya

Environment	% MAOP			
	0-20 %	21-50 %	51-75 %	>75 %
0	3	2	1	1
4	4	3	2	1
9	4	4	3	2
14	5	5	4	3

8. *Test Leads* (skor maks = 6 pts)

- Lokasi test leads dan interference yang ada

Test leads dengan jarak < 1 mil = 3 pts

Test lead berjarak 1 – 2 mil dan terdapat pertemuan dengan pipa lain yang juga dimonitor dengan test leads = 1 – 2 pt

Test lead berjarak > 2 mil, tidak ada pipa lain = 0 pt

- Interval waktu pelaksanaan testing dilakukan setiap:

< 6 bulan = 3 pts

6 bulan – 1 tahun = 2 pts

> 1 tahun = 1 pt

9. *Close Interval Survey* (skor maks = 8 pts)

Apabila survey dilakukan terakhir pada tahun ini maka skor adalah = 8 pts.

Apabila survey terakhir dilakukan tahun lalu maka skor = $8 - 1 = 7$ pts.

Apabila survey dilakukan terakhir pada 2 tahun yang lalu maka skor = 6 pts, dst.

10. *Internal Inspection Tool* (skor maks = 8 pts)

Intelligent pigs score dilakukan dengan formula sbb:

Skor = $8 - (\text{tahun terakhir inspeksi})$

Contoh: Apabila inspeksi terakhir dilakukan 2 tahun yang lalu, maka skor = $8 - 2 = 6$ pts.

4.3.3 Indek Disain (*design index*) skor maks = 100 pts

Yang termasuk ke dalam risiko disain adalah sebagai berikut:

Uraian	Skor	Persentase
Faktor keselamatan pipa	0-25 pts	25%
Sistem faktor keselamatan	0-20 pts	20%
Kelelahan (fatigue)	0-15 pts	15%
<i>Surge potential</i>	0-10 pts	10%
<i>System hydrostatic test</i>	0-25 pts	25%
<i>Soil movements</i>	0-5 pts	5%
Total (sum)	0-100 pts	100%

4.3.3.1 Faktor Keamanan Pipa (*Pipe Safety Factor*)

Pipe safety factor ditentukan berdasarkan ratio ketebalan aktual pipa dibagi dengan ketebalan disain pipa.

t	Points
< 1.0	-5 Warning
1.0 – 1.1	2
1.11 -1.20	5
1.21 – 1.40	9
1.41 – 1.60	12
1.61 – 1.80	16
> 1.81	20

$t = t \text{ aktual}/t \text{ desain}$

$t \text{ disain} = \{(P \times D)/(2 \times SMYS)\} + 10\%$

P = tekanan operasi maksimal

D = Diameter pipa

Untuk mendapatkan skor, gunakan rumus: $(t - 1) \times 20 = \text{Points}$

4.3.3.2 **System Safety Factor**

System safety factor adalah angka *factor safety* yang didapatkan dari suatu hasil pembagian dari angka tekanan operasional maksimum yang dibolehkan terhadap tekanan operasional disain (*Design – to – MAOP Ratio*).

Design – to – MAOP Ratio	Points
2.0	20
1.75 – 1.99	16
1.50 – 1.74	12
1.25 – 1.49	8
1.10 – 1.24	5
1.0 – 1.10	0
< 1.0	-10

Dapat juga dengan mempergunakan rumus:

$(\text{Desain – to – MAOP rasion}) - 1) \times 20 = \text{Points}$

4.3.3.3 Kelelahan (*Fatigue*)

Fatigue adalah kelemahan dari suatu material dikarenakan beban tekanan yang terjadi berulang-ulang. Beban tekanan yang tinggi dan berulang-ulang dapat menyebabkan kerusakan yang lebih parah dari pada yang diakibatkan faktor lainnya seperti: faktor kondisi permukaan pipa, geometri, proses pembuatan material, proses pengelasan, daya tahan terhadap keretakan dan lain-lain.

Dalam menentukan skor terhadap faktor kelelahan 2 Komponen yang sangat menentukan yaitu % MAOP (*Maximum Allowable Operating Pressure*) dan banyaknya *lifetime cycles*.

Tabel 4: Hubungan antara MAOP dan Lifetime Cycles

% MAOP	$< 10^3$	$10^3 - 10^4$	$10^4 - 10^5$	$10^5 - 10^6$	$> 10^6$
100	7	5	3	1	0
90	9	6	4	2	1
75	10	7	5	3	2
50	11	8	6	4	3
25	12	9	7	5	4
10	13	10	8	6	5
5	14	11	9	7	6

4.3.3.5 Surge Potential

Surge pressure adalah tekanan gas/fluida terhadap sistem perpipaan akibat aliran gas/fluida dalam pipa. Terjadinya perubahan aliran secara tiba-tiba mengakibatkan energi kinetik terkonversi menjadi energi tekanan potensial. Perubahan aliran gas/fluida dapat terjadi akibat kegiatan *operasional system* perpipaan seperti kegiatan buka/tutup *valve, turn on-off system*, dan lain-lain.

Dalam menentukan skor ditetapkan berdasarkan terjadinya tekanan yang meningkat 10 % dari MAOP dan dikategorikan dalam 3 kategori sbb:

<i>High probability</i>	0 pts
<i>Low probability</i>	5 pts
<i>Impossible</i>	10 pts

- *High Probability*

Kondisi ini dikategorikan sebagai *high probability* apabila dalam pengoperasian sistem (*devices, equipment, fluid velocity*) dapat menimbulkan *pressure surge*.

- *Low Probability*

Kondisi ini dikategorikan *low probability* apabila kecepatan fluida (*fluid velocity*) dapat mengakibatkan *pressure surge*, namun pengoperasian sistem (*surge tanks, relief valves, slow valve closures*) dapat meredam kemungkinan terjadinya *pressure surge*.

- *Impossible*

Kondisi dimana sistem tidak mempunyai potensi terjadinya *pressure surge*.

4.3.3.6 **System Hydrostatic Test**

Hydrostatic test merupakan metoda untuk menilai dampak risiko berbasiskan waktu sejak test terakhir dan *level test* (berhubungan dengan normal tekanan maksimum pada saat operasi).

Perhitungan skor. $H = (\text{Test Pressure}/\text{MAOP})$

$H < 1.10$ (1.10 = test pressure 10 % above MAOP)	0 pts
$1.11 < H < 1.25$	5 pts
$1.26 < 1.40$	10 pts
$H > 1.41$	15 pts

Dapat pula dengan mempergunakan rumus :

$$(H - 1) \times 30 = \text{Points}$$

$$\text{Min} = 0 \text{ pts}$$

4.3.3.7 **Pergerakan Tanah (Soil Movements)**

Pergerakan tanah dapat terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan bencana, atau perubahan formasi lapisan tanah dalam jangka waktu yang lama dan kondisi mengakibatkan adanya tekanan terhadap pipa dalam waktu yang bertahun-tahun.

Penilaian terhadap parameter *soil movement* berdasarkan potensi *soil movement*.

- *High*

High didefinisikan sebagai kondisi tanah yang selalu berubah/bergerak, longsor dan lain lain

- *Medium*

Medium didefinisikan sebagai kondisi tanah jarang bergerak/longsor dan dampak terhadap pipa tidak terlalu berbahaya.

- *Low*

Low didefinisikan jarang sekali bergerak.

- *None*

None didefinisikan tidak pernah terjadi pergerakan tanah pada jalur pipa

<i>High</i>	0 pts
<i>Medium</i>	2 pts
<i>Low</i>	6 pts
<i>None</i>	10 pts
<i>Unknown</i>	0 pts

Tindakan Koreksi

Apabila dilakukan tindakan koreksi terhadap kondisi tanah seperti: pembuatan sistem drainase dan lain lain. Kegiatan untuk meningkatkan kondisi tanah ini diberikan bonus skor sbb:

Monitoring setiap tahun/sekali	+ 1 pts
Monitoring setiap saat	+ 2 pts
<i>Stress relieving</i>	+ 3 pts
Keterangan : Maksimum skor	10 pts

4.3.4 **Indek Kesalahan Operasi (*incorrect operation index*)**

skor maks = 100 pts

Yang termasuk ke dalam indek kesalahan operasi adalah sebagai berikut:

Uraian	Skor	Persentase
A. Disain	0-30 pts	30%
1. Identifikasi bahaya	0-4 pts	
2. MAOP potential	0-12 pts	
3. Sistem keselamatan	0-10 pts	
4. Pemilihan material	0-2 pts	
5. Pemeriksaan	0-2 pts	
B. Konstruksi	0-20 pts	20%
1. Pemeriksaan (inspection)	0-10 pts	
2. Material	0-2 pts	
3. Penyambungan (joining)	0-2 pts	
4. Penimbunan (backfill)	0-2 pts	

5. Handling	0-2 pts	
6. Coating	0-2 pts	
C. Operasi	0-35 pts	35%
1. Prosedur	0-7 pts	
2. SCADA/komunikasi	0-5 pts	
3. Drug-testing	0-2 pts	
4. Program keselamatan	0-2 pts	
5. Survey	0-2 pts	
6. Training	0-10 pts	
7. Pencegah terhadap kesalahan mekanik (mechanical error preventers)	0-7 pts	
D. Perawatan	0-15 pts	15%
1. Dokumentasi	0-2 pts	
2. Schedule	0-3 pts	
3. Prosedur	0-10 pts	
Total (sum)	0-100 pts	100%

4.3.4.1 Disain (*design*) skor maks = 30 pts

i) *Hazard identification* (skor maks = 4 pts)

ii) MAOP Potential (skor maks = 12 pts)

Terdiri dari:

Rutin = 0 pt

Jarang terjadi	= 5 pts
Sangat jarang	= 10 pts
Tidak mungkin	= 12 pts

iii) *Safety System* (skor maks = 10 pts)

Terdiri dari:

Tidak ada safety devices	= 0 pt
Ada, hanya 1 level	= 3 pts
Ada > 1 level	= 6 pts
Hanya observasi, atau remot saja	= 1 pts
Observasi dan kontrol	= 3 pts
Tidak ada, tapi aktif menyaksikan	= -2 pts
Tidak ada, dan tidak terlibat	= -3 pts
Tidak diperlukan safety system	= 10 pts

iv) *Material selection* (skor maks = 2 pts)

v) *Checks* (skor maks = 2 pts)

4.3.4.2 Konstruksi (*construction*) skor maks = 20 pts

<i>Inspection</i>	= 10 pts
<i>Materials</i>	= 2 pts
<i>Joining</i>	= 2 pts
<i>Backfill</i>	= 2 pts
<i>Handling</i>	= 2 pts
<i>Coating</i>	= 2 pts

4.3.4.3 Operasi (skor maks = 35 pts)

i) Procedure (skor maks = 7 pts)

Skor maksimal diberikan apabila seluruh prosedur dilaksanakan antara lain:

- Pemeliharaan *valve*
- *Safety device* dikalibrasi dan dilakukan pemeliharaan
- Prosedur *shutdown* dan *star-up* dilakukan
- Pengoperasian pompa
- Perubahan pergerakan produk
- Pemeliharaan ROW
- Kalibrasi flow meter
- Pemeliharaan instrument

ii) SCADA/Communications (skor maks = 5 pts)

Skor maksimum diberikan apabila tersedia sistem SCADA dan prosedur protokol dilaksanakan seperti prosedur standar dalam hal komunikasi antara teknisi di lapangan dengan pusat pengendalian misalnya :

- a) Keadaan *valve* sedang terbuka atau tertutup
- b) Pompa dan kompresor sedang terbuka atau tertutup
- c) Aliran fluida sedang hidup atau berhenti
- d) Instrument sedang tidak berfungsi
- e) Kegiatan pemeliharaan lainnya yang mungkin berdampak terhadap kegiatan operasi.

iii) *Drug Testing* (skor = 2 pts)

iv) *Safety Program* (skor = 2 pts)

v) *Survey* (skor = 2 pts)

vi) *Training* (skor maks = 10 pts)

Terdiri dari:

- Dokumen tersedia = 2 pts
- Testing = 2 pts
- Topics covered = 2,5 pts
- Emergency drills = 0,5 pts
- Job procedure = 2 pts
- Jadwal training ulang = 1 pt

vi) *Mechanical Error Preventer* (skor maks = 7 pts)

Terdiri dari:

- *Three-way valves* = 4 pts
- *Lock-out devices* = 2 pts
- *Key-lock sequence program* = 2 pts
- *Computer permissives* = 2 pts
- *Highlighting instruments* = 1 pts

4.3.4.4 Perawatan (*maintenance*) skor maks = 15 pts

Terdiri dari:

1. Dokumentasi = 2 pts
2. Jadwal = 3 pts
3. Procedure = 10 pts

4.3.5 Faktor Dampak Kebocoran (*leak impact factor*)

Yang termasuk ke dalam faktor dampak kebocoran antara lain:

Uraian Faktor	Skor
A. Bahaya Produk	0-22 pts
1. Bahaya akut yang terdiri dari:	
a. Nf	0-4 pts
b. Nr	0-4 pts
c. Nh	0-4 pts
2. Bahaya kronik, RQ	0-10 pts
B. Faktor penyebaran (spill score) + (population score)	0-6 pts
1. Liquid spill atau Vapor spill	0-6 pts
2. Kepadatan populasi	0-4 pts

Berikut ini beberapa formula yang dapat dijadikan pedoman dalam melakukan perhitungan risiko dampak kebocoran :

$$\text{Leak Impact factor} = (\text{product} + \text{hazards}) / (\text{dispersion factors})$$

Product Hazard (acute + chronic hazards)

Skor = 0-22 pts

a. Acute hazards:

Flammability (Nf) 0 – 4 pts

Reactivity (Nr) 0 – 4 pts

Toxicity (Nh) 0 – 4 pts

Total 0-12 pts

b. Chronic Hazard, Reportable Quantity (RQ) = 0 – 10 pts

c. Dispersion Factor = (spill score) / population score

Liquid/vapor spill 0 - 6 pts

Population density 0 – 4 pts

d. Penilaian bahaya

Penilaian bahaya terhadap produk yang bocor ke udara, seperti yang tertera dalam table di bawah ini.

Tabel 5: Pipeline Product

Nama Produk	Titik Didih (Boiling Point) °F	Bahaya Kesehatan (Nh)	Bahaya Kebakaran (Nf)	Bahaya Reaktivitas (Nr)	Bahaya Kronik (Nilai RQ)
Benzene	176	2	3	0	8
Butadiene (1,3)	24	2	4	2	10
Butane	31	1	4	0	2 ²
Carbon Monoxide	- 314	2	4	0	2
Chlorine		3	0	0	8
Ethane	- 128	1	4	0	2
Ethyl alcohol	173	0	3	0	4
Ethylbenzene	277	2	3	0	4
Ethylene	- 155	1	4	2	2
Ethylene Glycol	387	1	1	0	6
Fuel oil (#1 - #6)	304 – 574	0	2	0	6
Gasoline	100 – 400	1	3	0	6
Hydrogen	- 422	0	4	0	0
Hydrogen Sulfide	- 76	3	4	0	6
Isobutane	11	1	4	0	2 ²
Isopentane	82	1	4	0	6
Jet Fuel B		1	3	0	6
Jet Fuel A & Ai		0	2	0	6
Kerosene	304 – 574	0	2	0	6
Methane	- 259	1	4	0	2
Mineral Oil	680	0	1	0	6
Naphtalene	424	2	2	0	6
Nitrogen		0	0	0	0
Petroleum-Crude		1	3	0	6
Propane	- 44	1	4	0	2
Propylene	- 53	1	4	1	2
Toluene	231	2	3	0	4
Vinyl Chloride	7	2	4	1	10
Water	212	0	0	0	0

Sumber: Pipeline Risk Management Manual, W Kent Muhlbauer (1992)

a) Penghitungan Skor Kecepatan Pelepasan Produk Menurut RQ

Tabel 6: Kecepatan Pelepasan Produk Berdasarkan Nilai RQ

RQ (lbs)	Nilai
None	0
5000	2
1000	4
100	6
10	8
1	10

b) Penghitungan Spill Score

Tabel 7: Penentuan Pelepasan Material Berdasarkan Berat Molekul (Molekular Weight/MW) setelah 10 menit (pounds)

MW/BM	0 – 5.000	5.000 – 50.000	50.000 – 500.000	> 500.000
=> 50	4	3	2	1
28 – 49	5	4	3	2
<=	6	5	4	3

c) Penghitungan Population Density

Tabel 8: Kategorisasi Kepadatan Penduduk

Kategori	Kriteria Jumlah bangunan dalam wilayah sepanjang 1,6 km, lebar 0,4 km	Nilai Risiko
Kelas 1	0 s/d 10	1
Kelas 2	> 10 s/d 46	2
Kelas 3	> 46	3
Kelas 4	> 46 dan bertingkat	4

Total Skor Indeks (index sum)

Index sum adalah penjumlahan skor dari ke- 4 komponen (indek) sebagai berikut:

$$(\text{Index Sum}) = \text{Skor Third Party} + \text{Skor Corrosion Index} + \text{Skor design Index} + \text{Skor Incorrect Operation Index}$$

Skor Index = berkisar 0 – 400 pts, dan nilai maksimumnya adalah 400 points (pts).

Relative Risk Score

$$\text{Relative Risk Score} = (\text{Index Sum}) / (\text{Leak Impact Factor})$$

4.3.6 Teknik analisa data

Analisa data akan dilakukan pada tabel yang dihasilkan dari perhitungan skoring dengan pemodelan tersebut.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

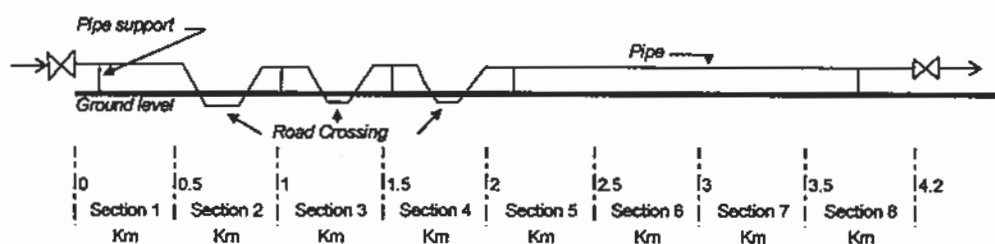
5.1 Gambaran Umum Sistem Perpipaan

Difinisi dari perpipaan yang digunakan mengalirkan gas adalah suatu perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan gas dari suatu fasilitas pengumpul (*gathering*), pengolahan (*processing*) atau penyimpanan (*storage*) ke fasilitas pengolahan atau penyimpanan (US DOT 2008).

5.1.1 Lokasi Jalur Pipa

Lokasi jalur pipa ini digunakan untuk mengalirkan gas dari *taping point* pada pipa yang mengalirkan gas dari sumur (*well head*) ke Pabrik pengolah gas (*gas plant*) kemudian dengan menggunakan pipa yang terbuat dari bahan dengan spesifikasi API 5L Gr.B, dengan diameter luar adalah 6.625 inch dan ketebalan dinding pipa adalah 0.28 inch (7.11 mm). *Internal design pressure (MAOP)* yang direncanakan adalah 740.00 psig dan akan dioperasikan pada tekanan kerja (*working pressure*) 350-400 psig. Pada lokasi di atas tanah pipa didudukan di atas dudukan pipa (*pipe support*), sedangkan pada daerah perlintasan jalan (*road crossing*) pipa ditanam di bawah tanah dan ditimbun dengan tanah dengan kedalaman 1200 cm.

Gambar 16: Sket sistem perpipaan dengan panjang 4.2 Km



5.1.2 Spesifikasi Produk

Tabel 9 : PT. XYZ Gas Composition (% mole)

Komposisi	Prosentase (%)
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	0.00
Carbon Dioxide (CO ₂)	5.65
Nitrogen (N ₂)	0.05
Methane (CH ₄)	80.44
Ethane (C ₂ H ₆)	7.93
Propane (C ₃ H ₈)	4.15
Iso-Butane (i-C ₄ H ₁₀)	0.63
n-Butane (n-C ₄ H ₁₀)	0.66
Iso-Pentane (i-C ₅ H ₁₂)	0.16
n-Pentane (n-C ₅ H ₁₂)	0.10
Hexane (C ₆ H ₁₄)	0.09
Heptanes Plus (C ₇ +))	0.14
Calculated gas gravity (air= 1.000)	0.7175
Calculated gross heating value (GHV) per cubic foot of dry gas at 14.73 psia and 60°F, BTU	1,122

Sumber: PT. XYZ Gas Composition

5.2 Gambaran Tingkat Risiko

5.2.1 Tingkat Risiko Pada Indeks Kerusakan Oleh Pihak Ketiga

Dari hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut:

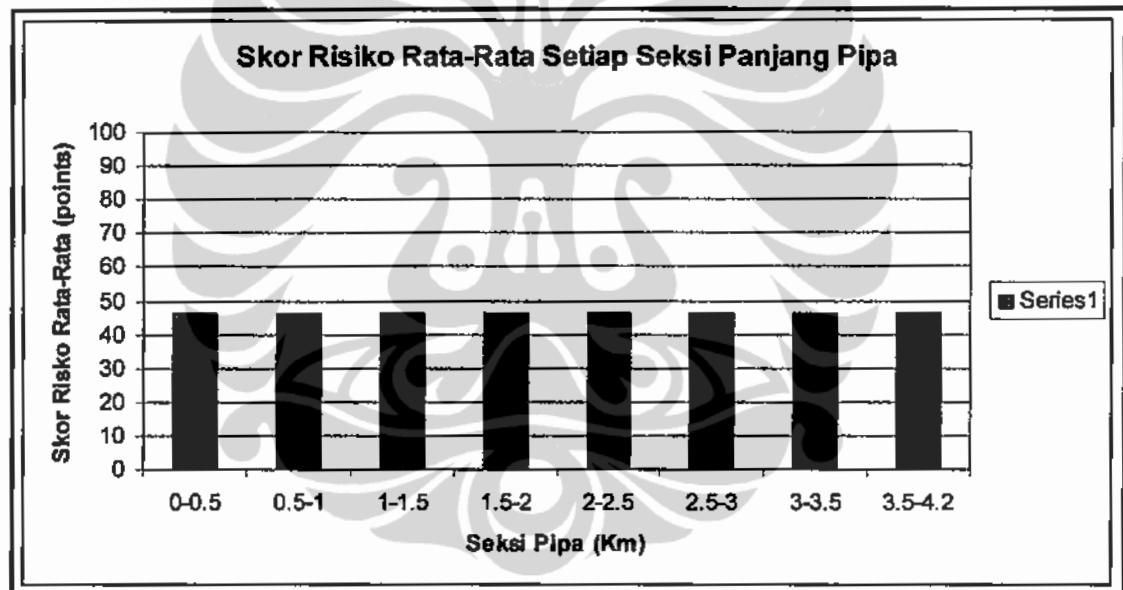
Tabel 10: Gambaran risiko pada indeks kerusakan oleh pihak ketiga

Variabel	Points (pts)	Bobot	Skor Rata-rata	Chance of Survival	Chance of Failure
A. <i>Minimum depth cover</i> (Amount of cover in inch / 3)	0-20	20%	0	0%	20%
B. <i>Activity level</i> (Low activity level)	0-20	20%	15	15%	5%
C. <i>Aboveground facilities</i> (No aboveground facilities)	0-10	10%	10	10%	0
D. <i>Line coating</i> (Effectiveness)	0-15	15%	6	6%	9%
E. <i>Public education program</i> (Regular education programs)	0-15	15%	2	2%	13%
F. <i>Right of way condition (ROW)</i> (Good condition)	0-5	5%	3	3%	2%
G. <i>Patrol frequency</i> (2 days per week)	0-15	15%	10	10%	5%
Skor	100	100%	46	46%	54%

Hasil analisis risiko setiap seksi panjang untuk risiko kerusakan pada pihak ketiga didapat.

Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km
0-0.5	0.5-1.0	1.0 -1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.2
46	46	46	46	46	46	46	46

Grafik 1: Skor risiko rata-rata pada indeks kerusakan oleh pihak ketiga



Sesuai dengan skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 pts, jadi semakin kecil skor yang didapat semakin tinggi tingkat risikonya. Tingginya risiko ini diakibatkan oleh pemasangan pipa yang secara garis besarnya adalah di atas tanah (*aboveground*) sehingga hal ini berpotensi untuk mengalami kerusakan yang disebabkan oleh adanya aktifitas penduduk yang bermukim di sekitar daerah perpipaan sekalipun telah dilakukan pendekatan secara regular mengenai konsekuensi bahaya apabila terjadi kerusakan yang disebabkan

oleh aktifitas mereka. Tumbuhnya ilalang atau tumbuhan liar di sekitar koridor (*right of way*) juga sangat berpengaruh pada nilai skor oleh karena dengan adanya tumbuhan liar maka dapat menghalangi proses pemeriksaan kerusakan pipa.

5.2.2 Tingkat Risiko Pada Indeks Korosi

Dari hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut:

Tabel 11: Gambaran risiko pada indeks korosi

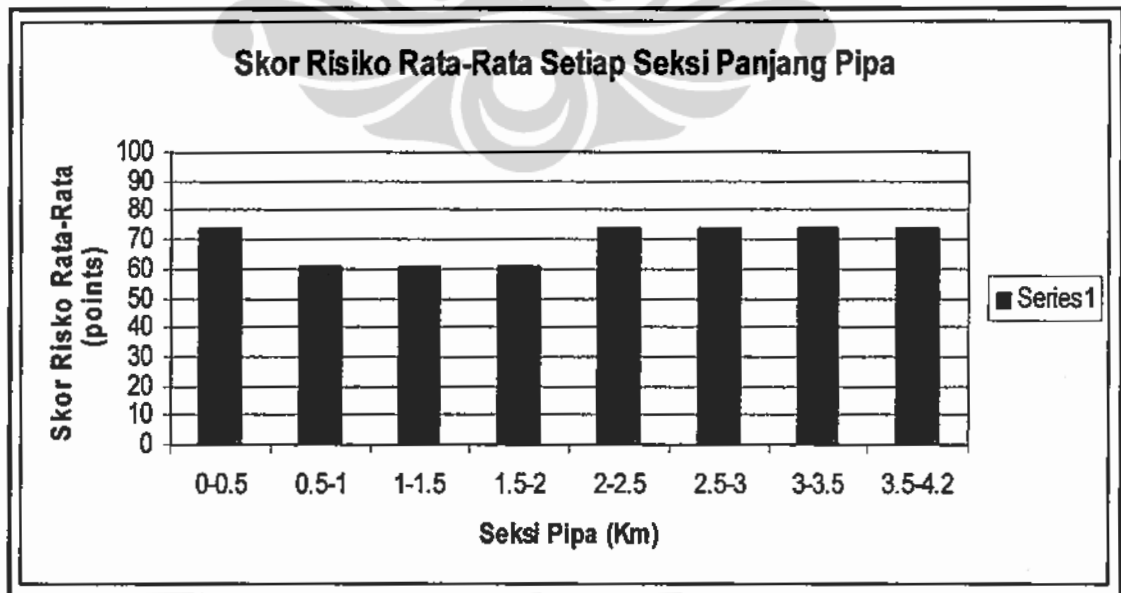
Variabel	Points (pts)	Bobot	Skor Rata-rata	Chance of Survival	Chance of Failure
A. Atmospheric corrosion	0-10	10%			
<i>Atmospheric exposure</i>	05	5%	2	2%	3%
<i>Atmospheric type</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Atmospheric coating</i>	0-3	3%	3	3%	0
B. Internal corrosion	0-20	20%			
<i>Product corrosivity</i>	0-10	10%	7	7%	3%
<i>Internal protection</i>	0-10	10%	9	9%	1%
C. Subsurface corrosion	0-70	70%			
<i>Subsurface environment</i>	0-20	20%			
- <i>soil corrosivity</i>	0-15	15%	10	10%	5%
- <i>mechanical corrosion</i>	0-5	5%	3	3%	2%
<i>Cathodic protection</i>	0-25	25%			
- <i>effectiveness</i>	0-15	15%	0	0%	15%

-interference potential	0-10	10%	10	10%	0
Coating	0-25	25%			
- fitness	0-10	10%	7.7	7.7%	2.3%
- condition	0-15	15%	15	15%	0
Skor	100	100%	68.6	68.6%	31.4%

Hasil analisis risiko setiap seksi panjang untuk risiko korosi adalah sebagai berikut:

Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km
0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.2
73.5	60.5	60.5	60.5	73.5	73.5	73.5	73.5

Grafik 2: Skor risiko rata-rata pada indek korosi



Sesuai dengan skoring yang dikeluarkan oleh W Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 pts, jadi semakin kecil skor yang didapat semakin tinggi tingkat

risikonya. Tingginya risiko ini diakibatkan oleh tidak adanya perlindungan katodik pada daerah yang ditanam (*underground*), perlindungan yang digunakan hanya menggunakan *coating* atau *wrapping*.

5.2.3 Tingkat Risiko Pada Indeks Disain

Dari hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut:

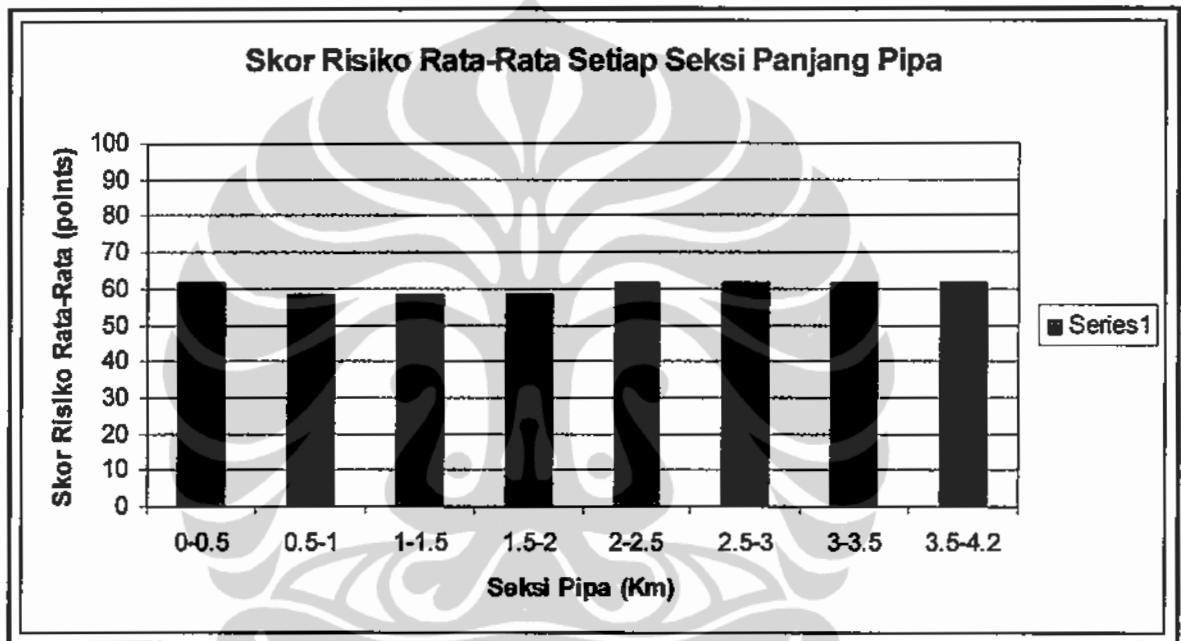
Tabel 12: Gambaran risiko pada indeks disain

Variabel	Points (pts)	Bobot	Skor rata-rata	Chance of Survival	Chance of failure
A. Pipe safety factor	0-35	35%	9.9	9.9%	25.1%
B. Fatigue	0-15	15%	10	10%	5%
C. Surge potential Impossible category	0-10	10%	10	10%	0%
D. Integrity verifications Test pressure/MAOP	0-25	25%	21	21%	4%
E. Soil movement Non movement of soil	0-15	15%	9.9	9.9%	5.1%
Skor	100	100%	60.3	60.3%	39.7%

Hasil analisis risiko setiap seksi panjang untuk risiko disain adalah sebagai berikut:

Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km
0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.2
61.4	58.4	58.4	58.4	61.4	61.4	61.4	61.4

Grafik 3: Skor risiko rata-rata pada indek disain



Sesuai dengan skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 pts, jadi semakin kecil skor yang didapat semakin tinggi tingkat risikonya. Tingginya risiko ini dipengaruhi oleh ketebalan pipa yang didapat dari perhitungan disain, semakin tebal pipa yang digunakan maka akan berdampak pada kenaikan skor yang didapat. Adapun *chance of failure* (kemungkinan gagal) adalah 39.7% dari semua kemungkinan yang ada pada faktor disain ini.

5.2.4 Tingkat Risiko Pada Indeks Kesalahan Operasional

Dari hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut:

Tabel 13: Gambaran risiko pada indeks kesalahan operasional

Variabel	Points (pts)	Bobot	Skor rata-rata	Chance of Survival	Chance of failure
<i>A.Design</i>	0-30	30%			
<i>Hazard identification</i>	0-4	4%	4	4%	0
<i>MOP potential</i>	0-12	12%	5	5%	7%
<i>Safety system</i>	0-10	10%	1	1%	9%
<i>Material selection</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Checks</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>B. Construction</i>	0-20	20%			
<i>Inspection</i>	0-10	10%	10	10%	0
<i>Material</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Joining</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Backfill</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Handling</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Coating</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>C. Operations</i>	0-35	35%			
<i>Procedure</i>	0-7	7%	7	7%	0
<i>SCADA/communications</i>	0-3	3%	0	0%	3%
<i>Drug testing</i>	0-2	2%	0	0%	2%

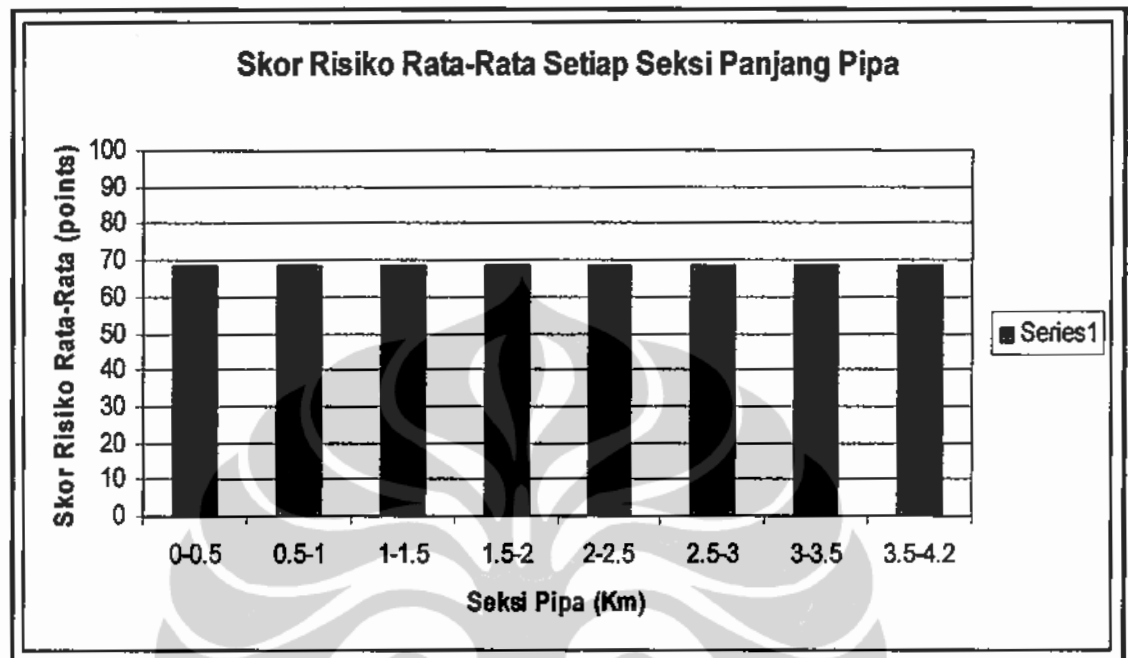
	0-2	2%	2	2%	0
<i>Survey/maps/records</i>	0-5	5%	5	5%	0
<i>Training</i>	0-10	10%	7.5	7.5%	2.5%
<i>Mechanical error preventer</i>	0-6	6%	2	2%	4%
<i>D. Maintenance</i>	0-15	15%			
<i>Documentation</i>	0-2	2%	2	2%	0
<i>Schedule</i>	0-3	3%	2	2%	1%
<i>Procedure</i>	0-10	10%	5	5%	5%
	100	100%	68.5	68.5%	31.5%

Chance of Survival = (skor rata-rata/points maksimum) x bobot (%).

Hasil analisis risiko setiap seksi panjang untuk risiko kesalahan operasional adalah sebagai berikut:

Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km	Km
0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.2
68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5

Grafik 4: Skor risiko rata-rata pada indeks kesalahan operasi



Sesuai dengan skoring yang dikeluarkan oleh W Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 pts, skor rata-rata risiko adalah 68.5% dari 100% skor maksimum itu artinya *chance of failure* adalah 31.5% berarti kondisi dari perpipaan ini masih dikategorikan aman untuk dioperasikan. Karena sebagian kriteria telah mendekati skor yang maksimal.

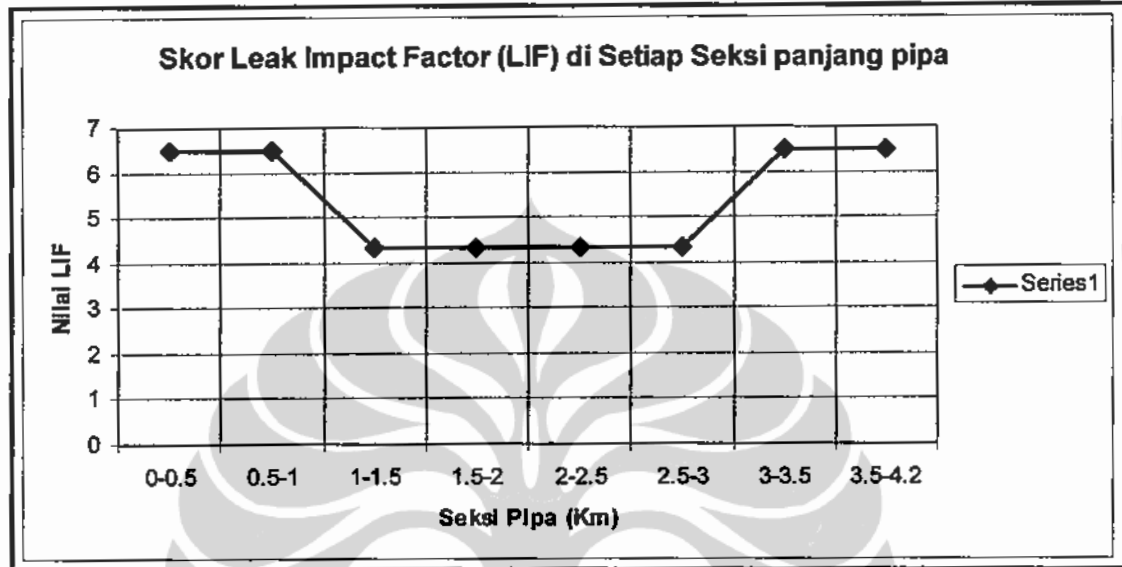
5.2.5 Tingkat Risiko Pada Faktor Dampak Kebocoran (Leak impact factor)

Dari hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut:

Tabel 14: Gambaran risiko pada faktor dampak kebocoran

Variabel	Points (pts)	Skor rata-rata
<i>A. Product hazard (PH)</i> <i>(Accute + Chronic hazard)</i>	0-22	
<i>Accute Hazards</i>		
a) Nf	0-4	4
b) Nr	0-4	2
c) Nh	0-4	1
Total (Nf + Nr + Nh)		7
<i>Chronic hazard (RQ)</i>	0-10	6
<i>Sum product hazard (PH)</i>		13
<i>B. Dispersion Factor</i> <i>= (Spill score / population score)</i>		
1. <i>Vapor spill</i>		6
2. <i>Population density</i>		2.5
<i>Dispersion factor</i>		2.5
<i>Leak Impact Factor rata-rata</i> <i>(LIF)= Produk Hazard / Faktor Dispersi</i>		5.20

Grafik 5: Skor *Leak Impact Faktor*



Menurut W. Kent Muhlbauer semakin tinggi skor dari *leak impact factor*, berdampak pada semakin tinggi risiko yang terjadi, dari grafik di atas menggambarkan bahwa ada perbedaan nilai risiko pada masing-masing seksi pipa dimana pada seksi pipa 0-0.5, 0.5-1 dan 3-3.5, 3.5-4 menunjukkan skor tertinggi yang diakibatkan oleh kepadatan penduduk. Semakin padat populasi penduduk di sekitar pipa maka semakin tinggi risiko dari perpipaan tersebut dari kebocoran yang diakibatkan oleh aktifitas mereka.

5.2.6 Gambaran Tingkat Risiko Secara Umum

Dari hasil analisis per indek dengan memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi perpipaan terhadap risiko kecelakaan ditinjau dari tingkat risikonya.

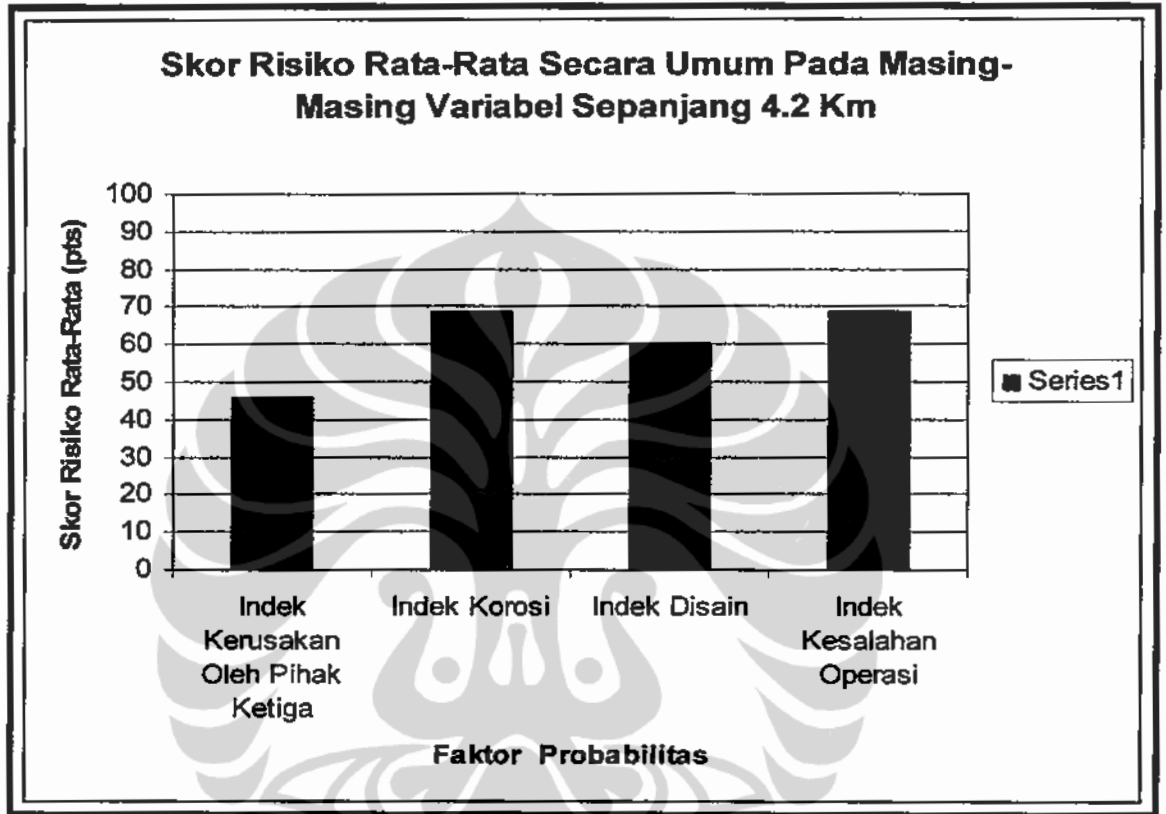
Tabel 15: Gambaran risiko secara umum

Variable	Skor	Bobot	Skor Maks.	Chance of Survival	Chance of Failure
Indek Kerusakan oleh Pihak Ketiga	46	100%	100 pts	46%	54%
Indek Korosi	68.63	100%	100 pts	68.6%	31.4%
Indek Disain	60.28	100%	100 pts	60.3%	39.7%
Indek Kesalahan Operasional	68.50	100%	100 pts	68.5%	31.5%
Total Indeks	243.4	400%	400 pts	243.4%	156.6%
Probability					

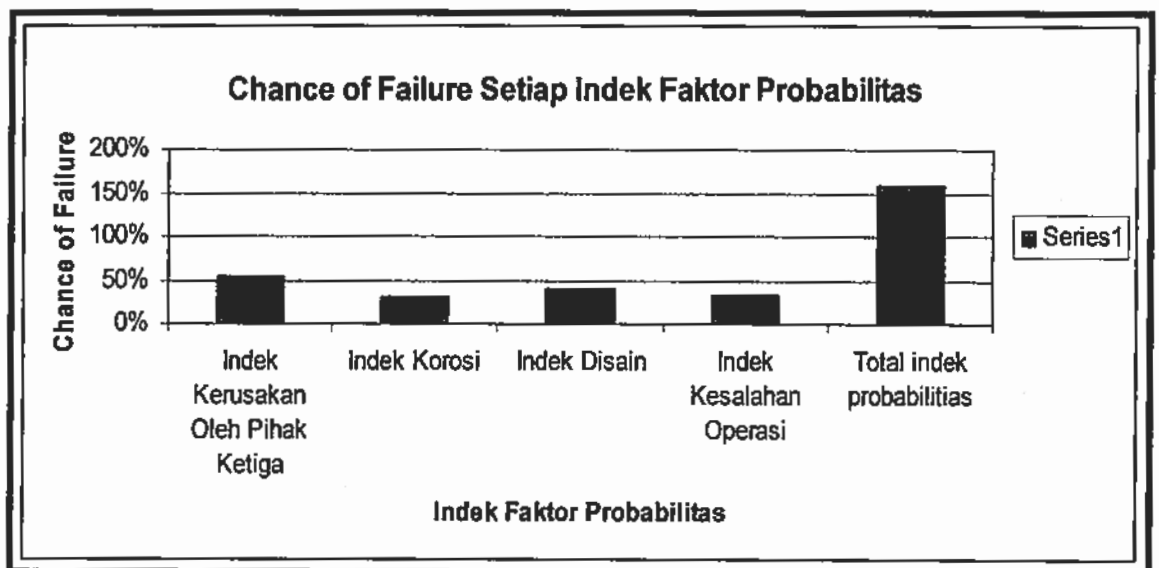
Skor yang didapat disetiap variable merupakan skor rata-rata yang didapat dari jumlah skor setiap variabel dibagi dengan jumlah segmen pipa yaitu 8 segmen.

Semakin kecil skor rata-rata yang didapat maka secara individu indek tersebut mempunyai risiko yang lebih tinggi karena setiap indek mempunyai points maksimum 100 pts atau posisi yang paling aman.

Grafik 6: Gambaran Skor Risiko Secara Umum



Grafik 7: Chance of Failure



Total Index Sum = 46 + 68.63 + 60.28 + 68.50 = 243.4 pts

Relative Risk Score = (Index Sum) / (Leak Impact Factor)

= 243.4/5.2

= 46.8

Mengacu pada gambar klasifikasi risiko (Gambar 14), didapat bahwa secara umum hasil analisis risiko sistem perpipaan ini adalah tidak dapat ditolerir (intolerable) atau mempunyai risiko yang tinggi, karena nilai *relative risk score* sama dengan 46.8 ada pada posisi diantara 1-100.

Tingginya *score relative risk* ini diakibatkan oleh tingginya kemungkinan untuk mengalami kegagalan (*chance of failure*) pada Indeks Kerusakan Oleh Pihak Ketiga sebesar 54% dan kemudian disusul oleh indeks disain dengan *chance of failure* sebesar 39.7% dan berikutnya adalah dengan score yang sama ada pada indeks korosi dan indeks kesalahan operasi yang memperoleh *score chance of failure* sebesar 31.4% dan 31.5%. (Lihat Grafik 7: Chance of Failure).

BAB VI

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

6.1 Kesimpulan

Secara keseluruhan nilai risiko relatif untuk sistem perpipaan yang dioperasikan oleh PT. XYZ dengan panjang pipa 4,2 Km dengan teknik pemasangan pada umumnya adalah di atas tanah (*aboveground*) adalah 46.8, ini artinya gambaran dan tingkat risiko ada pada posisi tidak dapat ditolerir (*intolerable*) atau mempunyai potensi risiko kecelakaan yang tinggi dengan persentase kemungkinan mengalami kegagalan (*chance of failure*) yang diakibatkan oleh ke-empat variabel tersebut adalah sebesar 156.6%.

Urutan potensi risiko dari ke-empat variabel tersebut dari yang paling berpotensi mengalami kegagalan adalah sebagai berikut:

- Posisi pertama ada pada indek kegagalan oleh pihak ketiga, dengan skor 46 pts dari skor maksimum 100 pts, atau persentase kemungkinan mengalami kegagalan adalah sebesar 54%. Secara umum potensi kegagalan ada pada semua seksi pipa, hal ini dikarenakan pipa dipasang di atas tanah (*aboveground*) tanpa perlindungan yang spesifik dari gangguan lingkungan sekelilingnya.
- Posisi kedua ada pada indek disain dengan skor sebesar 60.3 pts dari skor maksimum 100 pts. Persentase kemungkinan mengalami kegagalan adalah sebesar 39.7%. Seksi atau bagian pipa yang mempunyai risiko tertinggi ada pada Km 0.5-1.0, 1.0-1.5, 1.5-2.0. Pada seksi ini pipa terpasang ditanam di bawah tanah (*underground*) jadi ada potensi kegagalan oleh karena adanya pergerakan tanah (*soil movement*). Selain hal ini risiko juga dipengaruhi oleh adanya ketebalan dinding pipa

yang relatif kurang terhadap persyaratan ketebalan yang aman di sepanjang pipa. Di sini nilai chance of failure-nya adalah 39.7%.

- Posisi berikutnya ada pada indek korosi dan indek kesalahan operasi yang skornya adalah 68.63 dan 68.50 untuk indek kesalahan operasi. Secara umum kondisi ini potensi kegagalan masih relatif aman, yang nilainya masing-masing sebesar 31.4% dan 31.5% sehingga hanya diperlukan tindakan monitoring secara berkelanjutan.

- Faktor kebocoran.

Skor pada faktor kebocoran relatif tidak terlalu berisiko dengan skor 5.2, karena menurut Kent W Muhlbauer bahwa skor tinggi akan mewakili tingginya risiko terhadap potensi kebocoran yang berdampak secara langsung pada lingkungan sekitarnya.

6.2 Rekomendasi

Untuk menjaga keselamatan dari kebocoran yang berdampak pada lingkungan di sekitarnya, suatu sistem perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan gas dari suatu tempat ke tempat yang lain terdapat beberapa ketentuan yang harus diterapkan oleh si operator sistem tersebut. Mitigasi atau pencegahan harus dilakukan berdasarkan skala prioritas berdasarkan tingkat atau skor tertinggi dari masing-masing ke-empat variable tersebut diantaranya:

1. Kerusakan yang disebabkan oleh pihak ketiga.

Untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh adanya aktifitas penduduk di sekitar perpipaan disarankan agar sistem ini sedapat mungkin dipasang perlindungan yang memadai pada daerah-daerah di mana terdapat banyak penduduk yang bermukim di sekitar pipa dan pemasangan rambu-rambu bahaya agar dipasang pada lokasi yang strategis sehingga mudah dibaca, dan

agar dievaluasi kondisinya. Program pendidikan agar ditingkatkan untuk menambah wawasan penduduk sekitar akan tanggap darurat apabila terjadi kebocoran gas dan dampak lainnya.

2. Kerusakan yang disebabkan oleh disain

Perlu diperhatikan ketebalan disain pipa, karena ketebalan disini faktor dari penilaian terhadap *pipe safety factor*. Selain itu terdapat juga pengaruh faktor perbandingan MAOP *pipeline* dengan sambungannya ke sebuah *pressure vessel* (bejana bertekanan) dengan tekanan kerja yang lebih kecil dari pipa tersebut, perbandingan nilai sangat dipengaruhi oleh faktor yang dibagi, semakin tinggi tekanan yang dimiliki oleh peralatan tersebut maka skor pada *system safety factor* juga mejadi naik.

3. Kerusakan yang disebabkan oleh korosi.

Laju korosi sedapat mungkin supaya dicegah dengan memperhatikan metode pemasangan yang ditanam dengan menggunakan perlindungan katodik maupun coating dengan kualitas yang baik sesuai dengan standar pemasangan. Meningkatkan *close internal survey* dari km 0 ke km 4.2 secara periodik dan catatan hasil survey supaya di rawat untuk keperluan evaluasi dan tindakan.

4. Kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan operasional

Dengan menjaga naiknya tekanan kerja dari tekanan kerja yang diijinkan secara konsisten maka hal ini dapat menurunkan tingkat risiko yang dimiliki oleh pipa tersebut. Mengingat gas dialirkan mulai dari *wellhead* (sumur) secara langsung maka kemungkinan fluktuasi tekanan relatif kecil, sehingga tekanan kerja gas dapat di kontrol. Untuk lebih amannya gunakan pengaturan tekanan secara otomatis

untuk menghindari kenaikan tekanan yang dapat berpengaruh pada kondisi dari pipa itu sendiri. Pemasangan *two levels of safety* pada sistem dapat membantu menjaga kenaikan tekanan yang tidak diharapkan. Revitalisasi prosedur perawatan dan usahakan supaya personil yang terlibat mendapatkan *training* yang cukup mengenai persyaratan perawatan.

5. Dampak kebocoran (*Leak Impact*)

Untuk menghindari dampak yang ditimbulkan oleh adanya kebocoran gas dari pipa misalnya bahaya kebakaran, terhisap racun yang terkandung di dalam gas, maka sebaiknya:

- Lakukan pemeriksaan kebocoran pada perpipaan secara berkala dan pastikan pemeriksaan dilakukan sesuai dengan prosedur tetap dan dilakukan oleh personil yang terlatih.
- Lakukan pendekatan kepada penduduk sekitar, agar mereka tidak melakukan aktifitas yang dapat menyebabkan kerusakan sehingga terjadi kebocoran secara tiba-tiba. Berikan pengertian mengenai bahaya-bahaya yang timbul apabila terjadi kebocoran dan arahkan agar mereka dapat menyelamatkan diri sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.
- Siapkan team gawat darurat dengan segala persiapannya misalnya tempat yang aman atau tempat dan tujuan evakuasi, rumah sakit terdekat, sarana pengangkutan, armada pemadam kebakaran, pihak-pihak yang berwenang yang akan mengendalikan keadaan gawat darurat.
- Lakukan pemeliharaan secara berkala mengenai kesiapan alat-alat komunikasi apabila terjadi gawat darurat.

DAFTAR PUSTAKA

ASME B31.1 (2001). ASME Code for Pressure Piping Power Piping
The American Society of Mechanical Engineers (ASME)

ASME B31.8 (2003). ASME Code for Pressure Piping Gas Transmission and
Distribution Piping Systems, The American Society of Mechanical Engineers
(ASME)

Center For Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical
Engineers 345 East 47th Street, New York, NY 10017 (1992). Guidelines For
Hazard Evaluation Procedures second edition with worked examples.

Deshmukh L.M (2006). Industrial Safety Management (Hazard Identification and
Risks Control). Tata Mc.Graw-Hill Publishing Company Limited New Delhi.

Departemen Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia dari
[www.http//esdm.gov.id](http://esdm.gov.id)

Eiber Bob, (2003), Overview of Integrity Assessment Methods for Pipelines,
prepared for Washington City and County Pipeline Safety Consortium,
Washington, USA

Gas Composition, PT. XYZ

James Reason (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate
Publishing Company Suite 420, 101 Cherry Street, Burlington, VT 05401-4405
USA

Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Republik Indonesia Nomor:
300.K/38/M.PE/1997

Kuprewicz B Richard, 2003, Pipelines Prevention Releases, prepared for Washington City and Country Pipeline Safety Consortium, Acufacts, USA

L. Pilborough, 1989, Inspection Industrial Plan 2nd Edition, Gower Publishing Company Limited

Muhlbauer W. Kent (1992), Pipeline Risk Management Manual, Gulf Publishing Company

Muhlbauer W. Kent (2004), 3rd edition, Pipeline Risk Management Manual, Ideas, Techniques, and Resources, Gulf Publishing Company

Muhlbauer W. Kent PE (2006), Enhanced Pipeline Risk Assessment Part-1 Probability of Failure Assesment Revision 2.1, diakses November 2008 dari www.pipelinerisk.com

Muhlbauer W. Kent PE (2006), Enhanced Pipeline Risk Assessment Part-2 Assessment of Pipeline Failure Consequences Revision 1, diakses November 2008 dari www.pipelinerisk.com

Mr. J B Wintle and Mr BW Kenzie (2001). Best Practice for Risk Based Inspection as a Part of Plan Intergrity Management, (Contract Research Report 363/2001. Diakses April 2008; www.blackwell-synergy.com

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 15 Tahun 2008, tentang Pemberlakuan Standard Nasional Indoensia Mengenai Sistem Transporatsi Cairan Untuk Hidrokarbon dan Standar Nasional Indonesia Mengenai Sistem Perpipaan Transmisi dan Distribusi Gas Sebagai Standar Wajib

Taylor J.R (1994). Risk Analysis for Process Plant, Pipeline and Transport. London. Glasgow. New York. Melbourne. Madras.

United State Departement of Transportation Pipline and Hazardous Material Safety Administration, dari [www.http//phmsa.dot.gov](http://phmsa.dot.gov)

Undang-undang Nomor: I Tahun 1970 Republik Indonesia, tentang Keselamatan Kerja.

