



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA MINYAK MENTAH  
UKURAN 30 INCHI ANTARA LAWE-Lawe DAN TANJUNG  
JUMLAI MENGGUNAKAN METODE MUHLBAUER**

**TESIS**

**WAHYU SUKMANA  
0806442576**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
DEPARTEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA  
DEPOK  
Juli 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA MINYAK MENTAH  
UKURAN 30 INCHI ANTARA LAWE-Lawe DAN TANJUNG  
JUMLAI MENGGUNAKAN METODE MUHLBAUER**

**TESIS**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja*

**WAHYU SUKMANA**

**0806442576**

**FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
DEPARTEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA  
DEPOK  
Juli 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Wahyu Sukmana  
NPM : 0806442576  
Tanda Tangan :   
Tanggal : Juli 2012

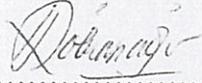
## HALAMAN PENGESAHAN

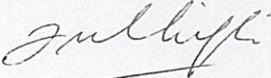
Tesis ini diajukan oleh :

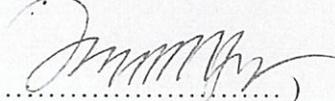
Nama : Wahyu Sukmana  
NPM : 0806442576  
Program Studi : Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Judul Tesis : Penilaian Risiko Jalur Pipa Minyak Mentah Ukuran 30 inchi antara Lawe-Lawe dan Tanjung Jumlai Menggunakan Metode Muhlbauer

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Program Studi Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan masyarakat, Universitas Indonesia.

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : DR. Robiana Modjo, SKM. Mkes (  )

Penguji : DR. Dr. Zulkifli Djunaidi, MAppSc (  )

Penguji : Ir. A. Yuliandi Bachtiar, MSc (  )

Penguji : Ir. I Made Sudarta, MKKK (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Wahyu Sukmana  
NPM : 0806442576  
Program : Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Tahun Akademik : 2008/2012

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan Tesis saya yang berjudul:

**PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA MINYAK MENTAH UKURAN  
30 INCHI ANTARA LAWE-LAWE DAN TANJUNG JUMLAI  
MENGUNAKAN METODE MUHLBAUER**

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 6 Juli 2012



(Wahyu Sukmana)

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, yang atas rahmat dan kehendak-Nya penelitian dan penulisan tesis ini dapat diselesaikan.

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada pihak-pihak yang telah turut membantu penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih ini peneliti sampaikan kepada :

1. Bapak Drs. Ridwan Z. Sjaaf, MPH. selaku Ketua Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat – Universitas Indonesia.
2. Bapak Doni Hikmat Ramdhan SKM, MKKK, PhD, selaku Ketua Program Magister Departemen K3, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.
3. Ibu DR. Robiana Modjo SKM, MKes. selaku Pembimbing Akademik dan Pembimbing Penulisan Tesis ini.
4. Bapak DR. Dr. Zulkifli Djunaidi, M.App.Sc. selaku penguji dalam untuk seminar Hasil Penelitian dan penguji dalam untuk Ujian Tesis ini.
5. Bapak Ir. I Made Sudarta MKKK dari *Sudarta Consulting* selaku penguji luar untuk ujian tesis ini.
6. Bapak Ir. A. Yuliandi Bachtiar MSc. dari PT. Glorima – HSSE Training & Consultant, selaku penguji luar untuk ujian tesis ini.
7. Keluarga tercinta, dalam hal ini isteri saya Kusyati Agustin dan anak-anak saya Ilham, Rafiqah dan Muthia, yang telah banyak berkorban dan berdoa untuk penyelesaian tesis ini.
8. Ibu Ir. Silvana da Costa MKKK selaku Vice President Engineering Center - PT. Pertamina (persero) Direktorat Pengolahan yang juga atasan peneliti, atas bantuannya yang luar biasa, baik secara moril ataupun materil kepada peneliti dalam menyelesaikan studi dan tesis ini.
9. Rekan-rekan dari Refinery Unit V Balikpapan, dalam hal ini Bapak Eddy Suryamadi selaku Ka. Terminal Lawe-lawe, Bapak Ir. Ajat Sudrajat selaku

*Section Head of Facility Engineering* dan Bapak Ilham dari Bagian *Process Engineering* yang telah banyak membantu ketersediaan data untuk tesis ini.

10. Rekan-rekan *Specialist Engineer* dari *Engineering Center* – PT. Pertamina (persero) Direktorat Pengolahan, khususnya Sdr. Ir. Eiman (*Mechanical Specialist*), Ir. Andoyo S. Busono (*Instrument Specialist*), Ir. Mahmud Ahmad (*Piping Specialist*) dan Ir. Rosad Nurdin (*Mechanical Specialist*) yang telah banyak membantu dan memberikan masukan berharga dalam penyelesaian tesis ini.
11. Bapak Ir. Suwandi Raharjo MKKK beserta keluarga yang banyak memberikan dorongan semangat.
12. Rekan-rekan Program Studi Magister Keselamatan dan Kesehatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia angkatan 2008, atas dukungan dan kebersamaannya.
13. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Tesis ini saya yakin masih belum sempurna, oleh karenanya setiap koreksi, saran ataupun kritik akan diterima dengan sangat senang hati untuk kesempurnaan penulisan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi perusahaan ataupun pihak-pihak yang membutuhkan, dan bagi perkembangan ilmu Keselamatan dan Kesehatan Kerja khususnya dalam lingkup kegiatan *Pipeline Risk Assessment*.

Depok, Juli 2012

Wahyu Sukmana

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

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Wahyu Sukmana  
NPM : 0806442576  
Program Studi : Magister  
Departemen : Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Fakultas : Kesehatan Masyarakat  
Jenis Karya : Tesis

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

**Penilaian Risiko Jalur Pipa Minyak Mentah Ukuran 30 inchi Antara Lawe-Lawe dan Tanjung Jumlai Menggunakan Metode Muhlbauer**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Wahyu Sukmana)

## ABSTRAK

Nama : Wahyu Sukmana  
Program Studi : Keselamatan dan Kesehatan Kerja  
Judul : Penilaian Risiko Jalur Pipa Minyak Mentah Ukuran 30  
Inchi Antara Lawe-Lawe dan Tanjung Jumlai Menggunakan  
metode Muhlbauer.

Sistem perpipaan telah lama dikenal sebagai metode transportasi minyak dan gas bumi yang paling aman. Namun, seperti juga peralatan industri lainnya sistem perpipaan dapat mengalami risiko kegagalan. Kegagalan atau ketidakmampuan jalur pipa menjalankan fungsinya akan menyebabkan kerugian tidak hanya bagi perusahaan tetapi juga bagi masyarakat dan lingkungan sekitar. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran risiko relatif keberadaan jalur pipa ukuran 30 inchi antara Lawe-Lawe dan Tg. Jumlai sepanjang  $\pm 6.3$  km yang akan digunakan dan diintegrasikan dalam system perpipaan Proyek *Centralized Crude Terminal* yang akan segera dibangun di lokasi Terminal *existing*. Penilaian risiko dilakukan secara semi-kuantitatif dengan menggunakan metode indeks yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer pada masing-masing section jalur pipa.. Dari hasil penelitian diperoleh hasil : Nilai indeks rata-rata untuk komponen indeks kerusakan oleh pihak ketiga sebesar 50,86, indeks korosi sebesar 61,14, indeks desain sebesar 57,14 dan indeks kesalahan operasional sebesar 60,00. Komponen indeks kerusakan oleh pihak ketiga merupakan faktor paling tinggi yang menjadi penyebab kemungkinan kegagalan pada jalur pipa 30 inchi tersebut. Sedangkan section jalur pipa yang mempunyai kemampuan menahan konsekuensi kegagalan paling rendah adalah pada *section-6* (yaitu dengan nilai risiko relatif sebesar 18,45 dibandingkan nilai risiko relatif rata-rata sebesar 48,61), sehingga *section* pipa tersebut memiliki risiko kegagalan paling tinggi. Kegiatan inspeksi dan pengawasan harus lebih cermat dan intensif dilakukan pada *section* jalur pipa tersebut.

Kata kunci: *Penilaian Risiko, Jalur Pipa Darat, Metode Indeks.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	.iii
SURAT PERNYATAAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vii
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR SINGKATAN .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Pertanyaan Penelitian .....	7
1.4 Tujuan Penelitian .....	8
1.4.1 Tujuan Umum Penelitian .....	8
1.4.2 Tujuan Khusus Penelitian .....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
1.6 Ruang Lingkup Penelitian .....	9
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
2.1 Bahaya ( <i>Hazard</i> ) .....	10
2.2 Risiko ( <i>Risk</i> ) .....	10

2.3	Konsep Manajemen Risiko .....	11
2.4	Analisis Risiko .....	13
2.4.1	Analisis Kualitatif .....	13
2.4.2	Analisis Semi-Kuantitatif .....	14
2.4.3	Analisis Kuantitatif .....	14
2.4.4	Sensitifitas Penilaian Risiko .....	14
2.5	Berbagai Metode Penilaian Risiko .....	15
2.5.1	Failure Mode & Effects Analysis .....	15
2.5.2	Quantitative Risk Assessment (QRA) .....	19
2.5.3	Hazards and Operability Study (Studi HAZOP) .....	20
2.5.4	Risk Based Inspection .....	23
2.5.5	Index Scoring Method .....	24
2.6	Penilaian Risiko Jalur Pipa Menurut Metode Muhlbauer .....	25
2.6.1	Probability of Failure (PoF) .....	26
2.6.2	Leak Impact Factor (LIF) .....	28
2.6.3	Relative Risk Score .....	30
<b>3.</b>	<b>KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL .....</b>	<b>31</b>
3.1	Kerangka Konsep .....	31
3.2	Definisi Operasional .....	32
<b>4.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>70</b>
4.1	Desain Penelitian .....	70
4.2	Obyek & Waktu Penelitian .....	70
4.3	Metode Pengumpulan Data .....	70
4.4	Metode Pengolahan dan Analisis Data .....	74
4.5	Sistem Pembobotan dan Skor .....	74
<b>5.</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>77</b>
5.1	Gambaran Lokasi Penelitian .....	77
5.2	Spesifikasi Jalur Pipa Darat .....	79

5.3	Spesifikasi Teknis Fluida .....	80
5.4	Keterbatasan Penelitian .....	80
5.5	Penilaian Risiko Keselamatan Jalur Pipa .....	81
5.5.1	Tingkat Risiko pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga..	81
5.5.2	Tingkat Risiko pada Indeks Korosi .....	83
5.5.3	Tingkat Risiko pada Indeks Desain .....	86
5.5.4	Tingkat Risiko pada Indeks Kesalahan Operasional....	87
5.5.5	Jumlah Skor Indeks Keseluruhan (Index of Sum) pada Setiap Section .....	90
5.5.6	Faktor Dampak Kebocoran .....	90
5.5.7	Nilai Risiko Relatif .....	92
5.6	Manajemen Risiko Jalur Pipa .....	94
<b>6.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>95</b>
6.1	Kesimpulan Penelitian .....	95
6.2	Saran-Saran .....	96
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
	<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>100</b>

## DAFTAR TABEL

<b>No. Tabel</b>	<b>Judul Tabel</b>	<b>Hal.</b>
Tabel 2.1	Contoh Form Desain FMEA	18
Tabel 2.2	Contoh Tabel Hasil Hazop pada Suatu Heat Exchanger System	22
Tabel 3.1	Definisi Operasional Penelitian.	33
Tabel 4.1	Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Kerusakan Pihak Ketiga	72
Tabel 4.2	Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Korosi	72
Tabel 4.3	Bobot Masing-masing Komponen Indeks Desain	73
Tabel 4.4	Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Kesalahan Operasional	73
Tabel 4.5	Bobot Komponen Bahaya Produk dan Faktor Penyebaran	74
Tabel 5.1	Data Umum Pipa	79
Tabel 5.2	Contoh Spesifikasi Sebagian Crude yang Masuk ke Terminal Lawe-Lawe	80
Tabel 5.3	Gambaran Risiko pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga	82
Tabel 5.4	Gambaran Risiko Akibat Indeks Korosi	84
Tabel 5.5	Gambaran Risiko pada Komponen Indeks Disain	86
Tabel 5.6	Gambaran Risiko pada Indek Kesalahan Operasional	88
Tabel 5.7	Gambaran Risiko pada Faktor Dampak Kebocoran	91
Tabel 5.8	Gambaran Risiko Secara Umum	92
Tabel 5.9	Gambaran Risiko pada Setiap Section Pipa	93

## DAFTAR GAMBAR

<b>No. Gambar</b>	<b>Judul Gambar</b>	<b>Hal.</b>
Gambar 1.1	Grafik Mengenai Kerugian Asset Akibat Insiden Jalur Pipa yang Terjadi di Amerika	2
Gambar 1.2.	Grafik Tentang Data Faktor Penyebab Kebocoran Pipa di Amerika Serikat Pada Tahun 2008-2009	3
Gambar 1.3	Peta Rencana Lokasi Proyek Centralized Crude Terminal	5
Gambar 1.2	.Lokasi Land-Fall Jalur Pipa Crude 30-inchi di Tg. Jumlai	6
Gambar 1.3	Foto lokasi Land-Fall Jalur Pipa 30-inchi di Tg. Jumlai.	6
Gambar 2.1	Diagram Alir Proses Manajemen Risiko (AS/NZS 4360:2004)	12
Gambar 2.2	Tingkatan Sensitifitas Penilaian Risiko	15
Gambar 2.3	Metode Index Risk Assessment menurut Muhlbauer	26
Gambar 3.1	Diagram Konsep Penelitian	31
Gambar 5.1	Tank Storage Area di Terminal Lawe-Lawe.	77
Gambar 5.2	Kondisi Kedua Jalur Pipa di Ssekitar Lokasi Tie-in Terminal Lawe-Lawe	78
Gambar 5.3	Lokasi Landfall Point di Tg. Jumlai	79
Gambar 5.4	Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga	83
Gambar 5.5.	Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Risiko Korosi	85
Gambar 5.6	Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Komponen Indeks Disain	87
Gambar 5.7	Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Kesalahan Operasi	89
Gambar 5.8	Grafik Skor Leak Impact Faktor pada Setiap Section	92
Gambar 5.9	Grafik Mengenai Gambaran Skor Risiko Secara Umum	93

## DAFTAR SINGKATAN

API	<i>American Petroleum Institute</i>
AS/NZ	<i>Australian/New Zealand Standard</i>
CCT	<i>Centralized Crude Terminal</i>
DWT	<i>Dead Weight Tonnage</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GAO	<i>United States General Accounting Office</i>
HAZOPS	<i>Hazard Operability Study</i>
K3	Kesehatan dan Keselamatan Kerja
LIF	<i>Leak Impact Factor</i>
CoF	<i>Consequence of Failure</i>
MAOP	<i>Maximum Allowable Operation Pressure</i>
MAWP	<i>Maximum Allowable Working Pressure</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Agency</i>
PoF	<i>Probability of Failure</i>
PoS	<i>Probability of Survival</i>
PSIG	<i>Pound per Square Inch Gauge</i>
QRA	<i>Quantitative Risk Assessment</i>
RBI	<i>Risk Based Inspection Method</i>
ROW	<i>Right of Way</i>
RRS	<i>Relative Risk Score</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SOP	<i>Standard Operating Procedure</i>
SPM	<i>Single Point Mooring</i>

## DAFTAR LAMPIRAN

No. Lampiran	Judul Lampiran
Lampiran 1	Daftar Data dan Dokumen Pendukung Penelitian
Lampiran 2	Data Lapangan Setiap Section Jalur Pipa ukuran 30-inchi antara Lawe-Lawe dan Tg. Jumlai.
Lampiran 3	Peta Rencana Lokasi Proyek Centralized Crude Terminal
Lampiran 4	Formulir Pengumpulan Data Sekunder Penelitian
Lampiran 5	Sistem Proteksi Korosi Jalur Pipa 30 “ Lawe-lawe

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

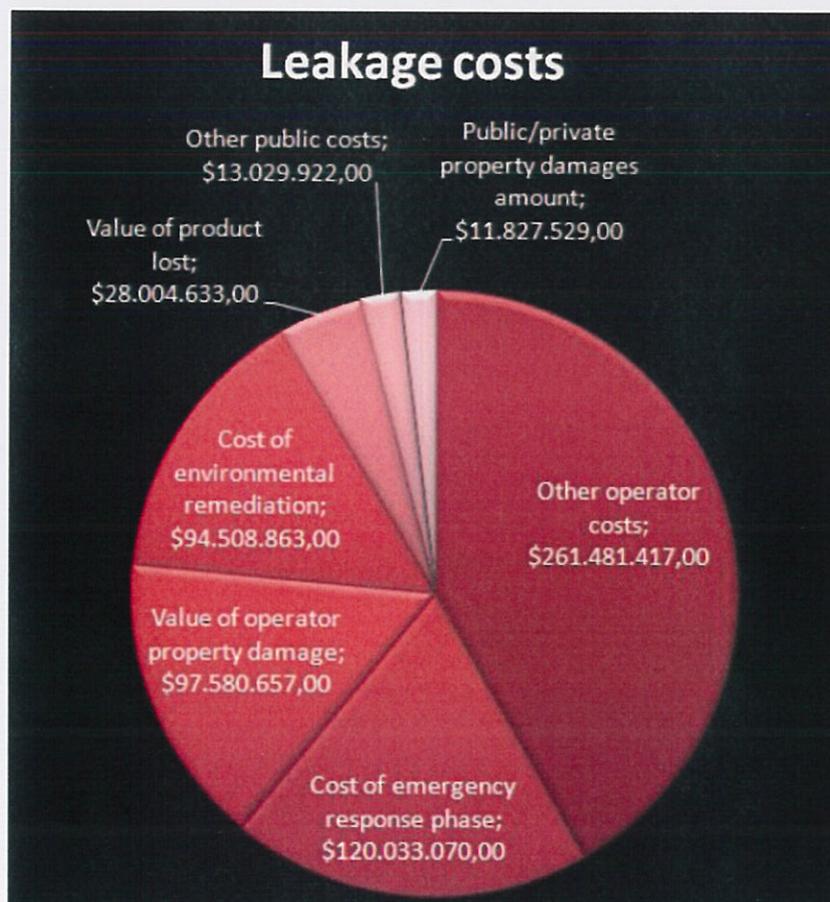
Salah satu kegiatan dalam industri pengolahan minyak dan gas bumi adalah pemindahan minyak bumi, gas bumi, dan/atau hasil olahannya melalui jalur pipa. Kegiatan ini memerlukan program pengelolaan ( seperti perencanaan, pengawasan & inspeksi serta perawatan peralatan) yang ketat karena jalur pipa (pipeline) memiliki potensi hazard terhadap lingkungan seperti kebakaran, ledakan, ataupun pencemaran lingkungan. Faktor penyebab terjadinya risiko tersebut dapat diakibatkan oleh faktor internal seperti korosi maupun faktor eksternal seperti lingkungan ataupun masyarakat sekitar (Kent W. Muhlbauer, 2004).

Beberapa contoh kasus kerusakan/ kebocoran jalur pipa minyak dan gas yang pernah terjadi di Indonesia dapat memberikan gambaran mengenai besarnya risiko keselamatan terhadap masyarakat atau pun lingkungan.

- Pipa minyak PT. Pertamina (persero) Unit Pengolahan IV Cilacap mengalami kebocoran pada Rabu (3/6/2009) pagi. Kejadian itu tak menimbulkan korban jiwa, tetapi mengakibatkan 257.000 barrel minyak tak dapat diproduksi selama sepekan.
- Produksi minyak mentah hingga awal November 2011 diperkirakan turun hingga 7000 barrel/hari akibat kebocoran pipa gas milik Chevron di Provinsi Riau. Akibat gas tidak terpasok, Chevron tidak dapat melakukan pengeboran minyak dengan sistem steam flood selama 15 hari (Kompas, 3/11/2010).
- Pada tanggal 23 April 2012, Pipa minyak milik PT. Pertamina EP berukuran 6-inci yang berada di pinggir jalan lintas Gunung Megang-Prabumulih, di Desa Tanjung, Kecamatan Gunung Megang, Kabupaten Muaraenim tiba-tiba meledak hingga menimbulkan kebocoran. Akibatnya minyak mentah

yang menyembur dari pipa bocor itu menggenangi kebun karet milik warga yang berada di dekat jalur pipa tersebut.

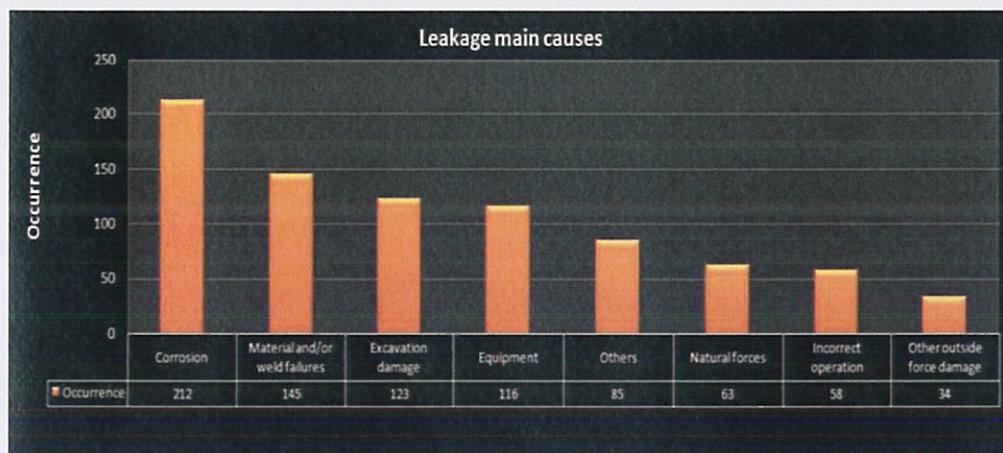
Kerugian finansial yang diakibatkan oleh kerusakan atau kebocoran jalur pipa adalah sangat besar, tabel berikut ini dapat memberikan gambaran mengenai besarnya dampak kerugian akibat insiden signifikan yang terjadi di Amerika Serikat pada kurun waktu tahun 2002 sampai dengan 2009 (PHMSA, 2010).



**Gambar 1.1. Grafik Mengenai Kerugian Asset Akibat Insiden Jalur Pipa di Amerika Serikat Tahun 2002-2009**

Sumber: *Significant Pipeline Accident In US PHMSA 2002-2009*

Faktor penyebab kegagalan atau kerusakan pada jalur pipa juga ada beberapa macam, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 1.2. dibawah yang merupakan data penyebab utama kebocoran pipa berdasarkan kasus yang terjadi antara 2008 – 2009 di Amerika Serikat.



**Gambar 1.2. Grafik Data Faktor Penyebab Kebocoran Pipa di Amerika Serikat Pada Tahun 2008-2009**

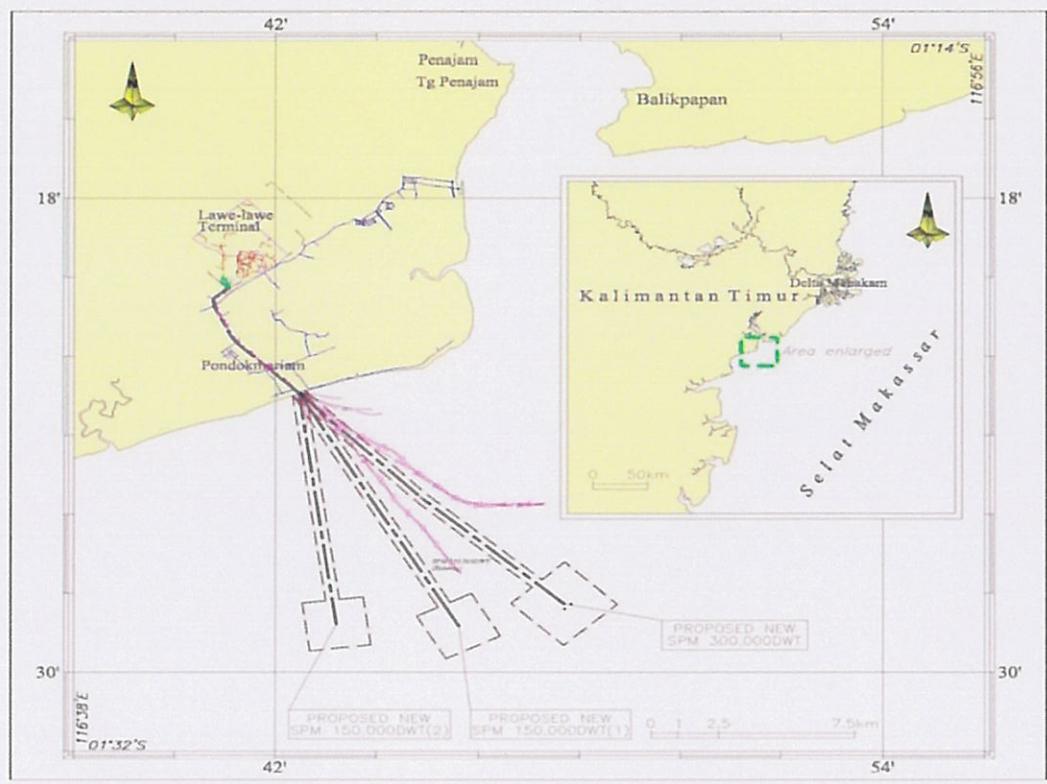
Sumber: *Significant Pipeline Accident In US PHMSA 2008-2009*

Faktor keamanan pada saat jalur pipa beroperasi memegang peranan penting dalam menjaga keselamatan manusia serta kelestarian lingkungan sekitarnya. Para ahli menetapkan berbagai kegiatan yang dapat mengatasi berbagai ancaman dan masalah yang dapat mengganggu fungsi jalur pipa. Semakin menyeluruh ancaman yang dimiliki oleh suatu jalur pipa maka akan semakin meningkat risiko kegagalan dari jalur pipa tersebut (Wiratmaja, et. al, 2010).

Mempertimbangkan hal-hal tersebut di atas, peneliti melakukan penelitian risiko relatif pada jalur pipa crude darat 30 inci mulai dari lokasi *tie-in* di area Terminal Lawe-lawe hingga *landfall point* di sekitar pantai Tanjung Jumlai dengan menggunakan metode semi-kuantitatif. Metode semi-kuantitatif yang digunakan sebagai model adalah metode indeks yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer.

Dipilihnya jalur pipa crude darat Lawe-Lawe – Kalimantan Timur sebagai obyek penelitian ini adalah dikarenakan beberapa pertimbangan sebagai berikut :

- Jalur pipa crude darat tersebut merupakan bagian dari fasilitas transportasi pipa (jalur pipa bawah laut dan jalur pipa darat) yang menghubungkan SPM (*Single Point Mooring*) 150,000 DWT yang berada di tengah laut dengan Storage Tank di Terminal Lawe-Lawe, Kabupaten Penajam Paser Utara – Kalimantan Timur. Terminal SPM 150,000 DWT tersebut selama ini digunakan untuk fasilitas bongkar (*unloading Terminal*) crude impor milik Pertamina yang akan diolah di Kilang Balikpapan. Selain itu kadang-kadang juga digunakan sebagai fasilitas ekspor (*loading Terminal*) crude milik PT. Chevron Indonesia Company.
- Jalur pipa crude tersebut telah berusia cukup lama (lebih dari 25 tahun). Dimana jalur pipa crude darat 30-inch yang pertama (Jalur A) sepanjang  $\pm$  6.3 km dibangun oleh PT. UNOCAL Indonesia pada tahun 1973 bersamaan dengan pembangunan jalur pipa bawah laut 30-inch (sepanjang  $\pm$  10,25 km) juga serta terminal SPM 150,000 DWT yang digunakan untuk ekspor Minyak Mentah bagian KKS (Kontrak Kerja Sama) KPS Migas. Kemudian pada tahun 1982, sejalan dengan proyek perluasan Kilang Balikpapan, Pertamina juga membangun jalur pipa darat dan laut (Jalur B) dengan spesifikasi yang sama dengan pipa milik UNOCAL untuk menghubungkan Terminal Lawe-Lawe dengan SPM yang sama (SPM 15,000 DWT milik UNOCAL).
- Dalam waktu dekat (sekitar tahun 2013), PT. Pertamina (persero) akan membangun fasilitas Terminal Minyak Mentah Terpadu (*Central Crude Terminal*) di area Terminal Lawe-Lawe *existing*. Melalui fasilitas *Central Crude Terminal* ini, direncanakan nantinya pasokan berbagai minyak mentah ke kilang lain akan dipasok dari Terminal ini, sehingga kebutuhan *feed stock* masing-masing kilang lain sesuai dengan jenisnya diharapkan dapat lebih terjamin. Fasilitas *Central Crude Terminal* baru (*Crude Tank, Blending Tank, New Crude Pipeline, New SPM 300,000 DWT Terminal dan Utilities*) nantinya akan menggunakan fasilitas *existing* seperti SPM, Tanki dan Jalur pipa Crude dan fasilitas pendukung lainnya kecuali *Office Building & Control Room* (Dwina, 2009).



**Gambar 1.3 Peta Rencana Lokasi Proyek Centralized Crude Terminal**

Sumber: *Engineering Center PT. Pertamina (persero), 2010*

Mengingat kegagalan (gangguan) operasional pada jalur pipa, baik yang disebabkan oleh kebocoran apalagi diikuti dengan kejadian ledakan ataupun kebakaran, akan membawa dampak yang sangat merugikan bagi perusahaan. Oleh sebab itu untuk menjaga agar jalur pipa tersebut tetap dapat dioperasikan dengan tingkat risiko serendah mungkin perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengevaluasi tingkat risiko yang ada pada jalur pipa tersebut setelah dioperasikan sekian lama.



**Gambar 1.2.** Lokasi *Land-Fall* Jalur Pipa Crude 30-inch di Tg. Jumlai

Sumber : *Google Earth Image, 2009 Data*



**Gambar 1.3.** Foto Lokasi *Land-Fall* Jalur Pipa 30-inchi di Tg. Jumlai

Sumber : *Dokumentasi LEMTEK UI, 2011*

## 1.2 Rumusan Masalah

Sebagian besar fasilitas *existing* Terminal Lawe-Lawe seperti *Tank Storages, On-shore & Off-shore pipeline* dan *Single Point Mooring* direncanakan menjadi satu kesatuan (terintegrasi) dengan seluruh fasilitas *Central Crude Terminal (CCT)* yang akan dibangun. Fasilitas perpipaan di Terminal Lawe-Lawe dalam hal ini jalur pipa minyak mentah ukuran 30- inchi (*30-inch crude pipeline*) mulai dari lokasi *tie-in* di Terminal Lawe-Lawe hingga lokasi *landfall* di tepi pantai Tg. Jumalai termasuk ke dalam fasilitas lama yang akan tetap dipakai dalam system pengoperasian *Central Crude Terminal* yang baru.

Untuk mengetahui kondisi dan kemampuan fasilitas Terminal lawe-Lawe eksisting maka diperlukan penilaian risiko pada fasilitas eksisting (khususnya pada fasilitas jalur pipa darat 30 inchi) yang akan terintegrasi dengan fasilitas baru dalam system pengoperasian Central Crude Terminal dengan menilai tingkat risiko dari masing-masing komponen yang dapat mempengaruhi kehandalan kinerja dari fasilitas dimaksud.

## 1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka perlu ditetapkan pertanyaan penelitian untuk mengarahkan dan mendukung kelengkapan penelitian ini. Pertanyaan penelitian dalam penulisan tesis ini adalah :

- Komponen risiko manakah yang paling besar kontribusinya terhadap kemungkinan kegagalan jalur pipa crude darat tersebut ?
- Pada segmen pipa (*pipe section*) manakah dari jalur pipa tersebut yang paling tinggi tingkat risikonya ?
- Seberapa besar konsekuensi dampak kebocoran yang akan terjadi ?
- Tindakan pengendalian dan pencegahan apa saja yang dapat disarankan untuk mengurangi tingkat risiko yang ada ?

## 1.4 Tujuan Penelitian

### 1.4.1. Tujuan Umum Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah melakukan penilaian risiko keselamatan terhadap keberadaan fasilitas jalur pipa darat ukuran 30-inch mulai dari lokasi *tie-in* di area Terminal (*tank storages*) hingga lokasi *landfall point* di tepi pantai Tg. Jumlai.

### 1.4.2. Tujuan Khusus Penelitian

Tujuan khusus dari penelitian ini dimaksudkan untuk :

- Mengetahui besaran nilai risiko kemungkinan kegagalan (*probability of failure*) yang disebabkan oleh masing-masing komponen indeks penyebab kerusakan jalur pipa (indeks kerusakan oleh pihak ketiga, indeks korosi, indeks desain dan indeks kesalahan operasi)
- Mengetahui segmen pipa (*pipe section*) yang paling tinggi peluang kerusakannya atau kegagalannya ?
- Mengetahui besaran konsekuensi dampak kebocoran yang dapat terjadi pada jalur pipa tersebut.
- Memberikan saran kepada perusahaan untuk melakukan tindakan pengendalian dan pencegahan untuk mengurangi (mitigasi) tingkat risiko yang ada.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat aplikatif penelitian ini bagi perusahaan adalah memberikan masukan kepada perusahaan mengenai gambaran risiko keselamatan operasional jalur pipa minyak mentah ukuran 30-inchi antara Lawe-Lawe hingga Tg. Jumlai saat ini, yang nantinya akan digunakan dan diintegrasikan ke dalam sistem perpipaan proyek *Central Crude Terminal* (CCT), serta metode mitigasi risiko yang akan diterapkan.

Manfaat khusus dari penelitian ini bagi peneliti adalah diperolehnya kesempatan untuk mengaplikasikan kemampuan dan pengetahuan tentang pengelolaan risiko keselamatan dan kesehatan kerja yang diperoleh selama

mengikuti perkuliahan di program magister K3 khususnya dalam melakukan analisis risiko fasilitas perpipaan.

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai hasil penelitian yang diperoleh terkait dengan analisis risiko keberadaan jalur pipa crude darat 30 inchi Lawe-Lawe yang dapat digunakan untuk penelitian ataupun keperluan lainnya.

### **1.6 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup dari penelitian adalah melakukan penilaian risiko pada jalur pipa minyak mentah ukuran 30 inchi mulai dari lokasi *tie-in* di area Terminal Lawe-lawe hingga lokasi *land-fall point* di tepi pantai Tg. Jumlai dengan menggunakan metode indeks yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahaya (*Hazard*)

Bahaya (*hazard*) adalah “*a source of potential harm*”, sumber potensi yang dapat menimbulkan bahaya, termasuk gangguan kesehatan dan cedera, kerusakan properti, produk ataupun lingkungan serta penurunan produksi (AS/NZS 4360:2004). Dalam pengertian lain disebutkan, bahaya (*hazard*) adalah suatu kondisi, peristiwa, obyek atau lingkungan yang dapat menyebabkan atau berkontribusi terhadap kejadian yang tidak direncanakan atau tidak diinginkan (FAA, 2009). Atau dengan perkataan lain bahaya (*hazard*) adalah keadaan / kondisi yang dapat mengakibatkan (berpotensi) menimbulkan kerugian bagi pekerja, masyarakat, lingkungan atau perusahaan.

*Hazard* adalah *intrinsic factor* (faktor internal) yang melekat pada sesuatu (barang atau kondisi, ataupun lainnya) dan mempunyai potensi yang dapat menimbulkan terjadinya kecelakaan dengan dampak yang buruk (GAO, 2000).

Berdasarkan jenisnya bahaya (*hazards*) dapat digolongkan menjadi bahaya fisik, bahaya kimia, bahaya biologi dan bahaya psikososial, di mana :

Bahaya fisik, misalnya yang berkaitan dengan peralatan seperti bahaya panas atau listrik. Bahaya kimia, misalnya yang berkaitan dengan material/bahan seperti antiseptik, solvent, insektisida, dan lain-lain. Bahaya biologi, misalnya yang berkaitan dengan makhluk hidup yang berada di lingkungan kerja seperti virus dan bakteri. Bahaya psikososial, misalnya yang berkaitan dengan perilaku pekerja dan kehidupan masyarakat dimana pekerjaan berlangsung seperti sikap ceroboh, stress atau salah persepsi karena nilai budaya yang berbeda.

### 2.2 Risiko (*Risk*)

*The Australia/New Zealand Standard for Risk Management* (AS/NZS 4360:2004) mendefinisikan risiko sebagai “...kemungkinan terjadinya sesuatu yang akan berdampak kepada tujuan.” Menurut *International Labour Organization* (ILO)

*Organization* (ILO) risiko adalah kemungkinan adanya peristiwa atau kecelakaan yang tidak diharapkan dan dapat terjadi dalam waktu dan keadaan tertentu.

Dalam literatur lainnya, risiko didefinisikan sebagai peluang suatu kejadian yang dapat mengakibatkan kerugian dan besarnya potensi kerugian tersebut (Kent W. Muhlbauer, 2004). Menurut definisi ini risiko akan meningkat bila peluang suatu kejadian meningkat dan besarnya potensi kerugian akibat konsekuensi kejadian tersebut juga meningkat. Sehingga secara umum risiko umumnya digambarkan sebagai kemungkinan (*probability*) dari suatu peristiwa yang dapat mengakibatkan kerugian dan potensi besaran kerugian tersebut.

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

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

Dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut maka risiko dapat diketahui. Sehingga secara matematis risiko dapat digambarkan sebagai berikut :

$$Risk = (likelihood) \times (consequences)$$

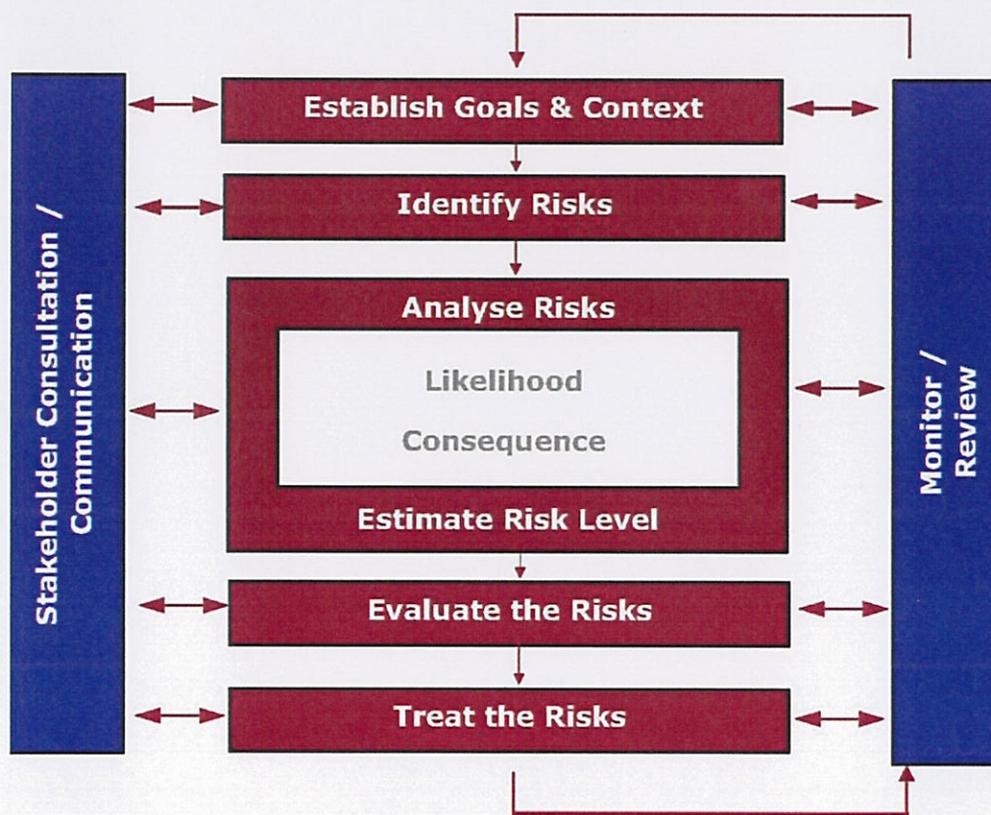
### 2.3 Konsep Manajemen Risiko

Manajemen risiko adalah suatu proses komprehensif untuk mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengendalikan risiko yang ada dalam suatu kegiatan. Tujuan umum dari manajemen risiko adalah menghilangkan atau setidaknya mengurangi dampak negatif (kerugian) dan meningkatkan kesempatan ataupun peluang positif.

Di dalam pengertian manajemen risiko terdapat berbagai 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 dapat menimbulkan kerugian. Salah satu pendekatan manajemen risiko yang banyak digunakan secara global adalah model manajemen

risiko menurut *Standar AS/NZS 4360 : 2004* seperti tergambar dalam diagram pada gambar 2.1. di bawah.

Penerapan analisis risiko dimulai dari langkah awal yaitu 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 perlu dikaji secara terus menerus untuk perbaikan sistem secara keseluruhan.



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Manajemen Risiko (*AS/NZS 4360:2004*)

Pada dasarnya urutan kegiatan dalam proses manajemen risiko ini menggambarkan beberapa konsep dasar sebagai berikut:

Urutan tahapan manajemen risiko menggambarkan siklus 'problem solving'. Manajemen risiko bersifat preventif. Manajemen risiko sejalan dengan konsep 'continuous improvement'. Manajemen risiko fokus pada ruang lingkup masalah yang akan dikelola.

## 2.4 Analisis Risiko

Tujuan dari analisis risiko adalah untuk menentukan apakah risiko yang ada berada pada tingkat yang dapat diterima atau tidak mengganggu proses operasi. Risiko dianalisis dengan melakukan estimasi derajat konsekuensi dan mempertimbangkan program kontrol yang selama ini sudah dijalankan. Analisis pendahuluan dapat dibuat untuk mendapatkan gambaran seluruh risiko yang ada. Kemudian disusun urutan risiko yang ada. Risiko-risiko yang kecil untuk sementara diabaikan. Prioritas diberikan kepada risiko-risiko yang cukup signifikan dapat menimbulkan kerugian.

Analisis risiko akan tergantung pada informasi dan data yang tersedia. Metode analisis yang digunakan dapat bersifat *kualitatif, semi kuantitatif, atau kuantitatif* bahkan kombinasi dari ketiganya. Analisis kualitatif digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang tingkat risiko yang ada. Setelah itu dapat dilakukan analisis semi kuantitatif ataupun kuantitatif untuk mendapatkan informasi lebih detail tentang tingkat risiko yang ada. Penjelasan tentang karakteristik dari jenis-jenis analisis tersebut dapat dilihat berikut ini :

### 2.4.1 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif menggunakan bentuk kata atau skala deskriptif untuk menjelaskan besarnya potensi risiko yang ada. Hasilnya, risiko dapat dikelompokkan ke dalam risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi

Analisis kualitatif digunakan untuk memberikan gambaran umum terhadap risiko suatu proses atau kegiatan.

#### **2.4.2 Analisis Semi-Kuantitatif**

Pada analisis semi kuantitatif, skala kualitatif yang telah disebutkan di atas diberi nilai. Setiap nilai yang diberikan haruslah menggambarkan derajat konsekuensi maupun probabilitas dari risiko yang ada.

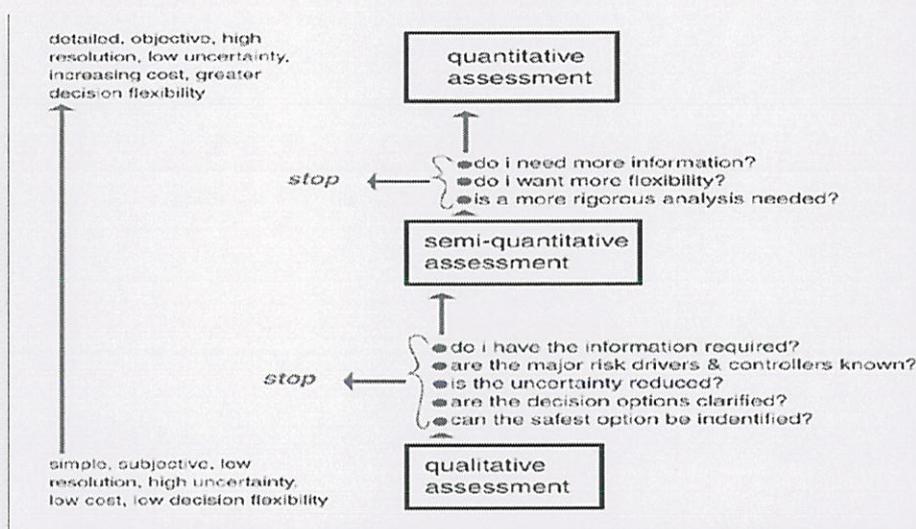
Prinsip kehati-hatian harus dilakukan dalam menggunakan analisis semi-kuantitatif, karena nilai yang dibuat belum tentu mencerminkan kondisi obyektif dari risiko yang ada. Ketepatan perhitungan dan analisis akan sangat bergantung dari pengalaman dan tingkat pengetahuan orang/tim ahli yang terlibat dalam proses analisis tersebut.

#### **2.4.3 Analisis Kuantitatif**

Analisis dengan metode ini menggunakan nilai numerik. Kualitas dari analisis tergantung pada akurasi dan kelengkapan data yang ada. Konsekuensi dapat dihitung dengan menggunakan metode modelling. Probabilitas biasanya dihitung bersama-sama dengan konsekuensi. Kedua variabel ini (probabilitas dan konsekuensi) kemudian digabungkan untuk menetapkan tingkat risiko yang ada. Tingkat risiko ini akan berbeda-beda menurut jenis risiko yang ada.

#### **2.4.4 Sensitifitas Penilaian Risiko**

Tingkatan sensitifitas analisis dalam suatu kegiatan penilaian risiko (dimulai dari yang paling sensitif sampai dengan yang kurang sensitif) adalah analisis Kuantitatif, analisis Semi kuantitatif, analisis Kualitatif



**Gambar 2.2** Tingkatan Sensitifitas Penilaian Risiko

([www.comcare.gov.au](http://www.comcare.gov.au))

## 2.5 Berbagai Metode Penilaian Risiko

Berikut ini beberapa metode penilaian risiko yang banyak digunakan dalam kegiatan industri minyak dan gas bumi.

### 2.5.1 Failure Mode & Effects Analysis

FMEA adalah suatu metodologi penilaian risiko yang dikembangkan pada tahun 1960-an oleh Aerospace Industry di Amerika Serikat, merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dengan cara menelusuri urutan kejadian dari kegagalan serta akibatnya (proses akhir) ke penyebab terjadinya kegagalan (awal).

FMEA (*failure mode and effect analysis*) adalah suatu prosedur terstruktur dan sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas. Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi

diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk itu.

Terdapat dua penggunaan FMEA yaitu dalam bidang desain (FMEA Desain) dan dalam proses (FMEA Proses). FMEA Desain akan membantu menghilangkan kegagalan-kegagalan yang terkait dengan desain, misalnya kegagalan karena kekuatan yang tidak tepat, material yang tidak sesuai, dan lain-lain. FMEA Proses akan menghilangkan kegagalan yang disebabkan oleh perubahan-perubahan dalam variabel proses, misal kondisi diluar batas-batas spesifikasi yang ditetapkan seperti ukuran yang tidak tepat, tekstur dan warna yang tidak sesuai, ketebalan yang tidak tepat, dan lain-lain.

Terdapat beberapa variasi didalam rincian prosedur *failure modes and effect analysis* (FMEA), tetapi semuanya memiliki tujuan yang sama, yaitu untuk mengenal dan memprediksi potensial kegagalan dari produk atau proses yang dapat terjadi, memprediksi dan mengevaluasi pengaruh dari kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada, menunjukkan prioritas terhadap perbaikan suatu proses atau sub sistem melalui daftar peningkatan proses atau sub sistem yang harus diperbaiki, mengidentifikasi dan membangun tindakan perbaikan yang bisa diambil untuk mencegah atau mengurangi kesempatan terjadinya potensikegagalan atau pengaruh pada sistem, dan mendokumentasikan proses secara keseluruhan.

Proses atau prosedur untuk melakukan suatu kajian FMEA secara umum dilakukan melalui langkah-langkah sebagaimana berikut ini : Menjelaskan definisi dari produk/ proses dan fungsi system yang akan dianalisis. Pemahaman tentang produk atau proses adalah penting untuk diartikulasikan dan dipahami secara jelas. Pemahaman ini menyederhanakan proses analisis dengan membantu para perancang mengidentifikasi produk / proses dalam fungsi dimaksud dan mana yang berada di luar. Sangat penting untuk mempertimbangkan baik disengaja dan tidak disengaja karena kegagalan produk seringkali berakhir dalam litigasi, yang berakibat biaya mahal dan memakan waktu.

Selanjutnya membuat Blok Diagram dari produk atau proses. Sebuah diagram blok dari produk /proses harus dapat dikembangkan. Diagram ini

menunjukkan komponen utama atau langkah-langkah proses sebagai blok dihubungkan oleh garis-garis yang menunjukkan bagaimana komponen atau langkah-langkah terkait. Diagram menunjukkan hubungan logis dari komponen dan membentuk struktur. FMEA dapat dikembangkan dengan membuat sistem coding untuk mengidentifikasi elemen sistem.

Kemudian melengkapi header di lembar kerja Form FMEA : Produk / System, Subsystem, Komponen, Lead Desain, Disiapkan Oleh, Tanggal, Revisi (huruf atau angka), dan Tanggal Revisi serta memodifikasi judul yang diperlukan.

Gunakan diagram yang disiapkan di atas untuk memulai item daftar atau fungsi. Jika item daftar komponen sudah secara logis dibawah subsistem hubungkan berdasarkan pada diagram blok. Melakukan identifikasi '*Failure Mode*'. Sebuah '*Failure Mode*' didefinisikan sebagai cara di mana komponen, subsistem, sistem, proses, dan sebagainya berpotensi gagal untuk memenuhi tujuan dari desain. Contoh "*failure mode*" potensial adalah *corrosion, electrical short or open, torque fatigue, deformation, and cracking*.

Sebuah "*failure mode*" dalam satu komponen dapat berfungsi sebagai penyebab kegagalan dalam modus komponen lain. Setiap kegagalan harus tercantum dalam istilah teknis. "*failure mode*" harus terdaftar untuk fungsi dari setiap komponen atau langkah proses. Pada titik ini "*failure mode*" harus mengidentifikasi apakah atau tidak kegagalan mungkin terjadi. Melihat produk sejenis atau proses dan kegagalan yang telah didokumentasikan adalah titik awal yang sangat baik.

Mendeskripsikan dampak yang timbul dari suatu "*failure mode*". Untuk setiap "*failure mode*" diidentifikasi untuk menentukan apa efek akhirnya. Efek kegagalan didefinisikan sebagai hasil dari "*failure mode*" pada fungsi dari produk/proses seperti yang dirasakan oleh pelanggan. Contoh efek kegagalan adalah *Injury to the user, Inoperability of the product or process, Improper appearance of the product or process, Degraded performance, and Noise*.

Membuat peringkat numerik untuk tingkat *Severity effect*. Sebuah skala industri umum menggunakan standar penilaian 1 untuk mewakili tidak ada efek dan 10 untuk menunjukkan sangat berat dengan kegagalan mempengaruhi operasi

sistem dan keamanan tanpa peringatan. Maksud dari peringkat ini adalah untuk membantu analis menentukan apakah kegagalan akan menjadi gangguan kecil atau kejadian bencana kepada pelanggan. Hal ini memungkinkan engineering untuk memprioritaskan yang utama pada *failure* yang menjadi isu-isu besar dan nyata.

Menetapkan Tanggung Jawab dan Penyelesaian Tanggal Sasaran tindakan. Hal ini membuat tanggung jawab yang jelas dan membantu memfasilitasi kemudahan untuk pelacakan.

Menyusun daftar tindakan yang harus diambil. Setelah tindakan-tindakan diambil, kembali melakukan penilaian *Severity*, probabilitas dan deteksi dan meninjau *Risk Priority Number (RPN)* revisi untuk melihat apakah masih ada tindakan lebih lanjut yang diperlukan.

Melakukan *Update FMEA* sebagai perubahan terhadap desain atau proses, perubahan penilaian atau informasi baru untuk penilaian selanjutnya.

**Tabel 2.1 Contoh Form Design FMEA**

System		Potential Failure Mode and Effects Analysis (Design FMEA)										Revision B				
Subsystem												Prepared By Robert Crow				
Part Number												FMEA Date 8/5/1992				
Design Lead												Revision Date				
Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Priority	Current Design Controls	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results					
											Actions Taken	New Sev	New Det	New RPN	New RPN	
Circuit Block 4.1.1	Output loss from pre-amp	Receiver & output data loss, track loss, GPS shut-down	5	C1 short	1	PR-20 & HW-5	2	10	QA Proc 20-6	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			5	C8S short	2		2	20	QA Proc 20-6	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			5	L1 open/short	3		2	30	QA Proc 20-3	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	2	1	4	
			5	U21 function	4		2	40	Test 147	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	3	1	6	
Circuit Block 4.1.2	Undetected & insignificant component failure mode	No noticeable system effect	1	C1open/cng val	2	None	8	16	None						0	
			1	C8Sopen/cng val	2		8	16	None							0
Circuit Block 4.2.1	Loss of signal from 2nd RF amplifier & 1st down converter	Loss of position, velocity & time output data, track loss; GPS shut-down	4	C2 short	1	PR-20 & HW-5	2	8	QA Proc 20-6	D. Howell 10/15/92	Added to control plan					0
			4	C3 short	1	PR-20 & HW-5	2	8	QA Proc 20-6	D. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			4	C4 open/short	2	PR-20 & HW-5	2	16	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			4	C5 short	2	PR-20 & HW-5	2	16	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			4	C6S open/short	2	PR-20 & HW-5	2	16	QA Proc 20-6	D. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2	
			4	C9 short	3	PR-20 & HW-5	2	24	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	1	4	
			4	FL1 short/open	5	None	2	40	100% Insp.	D. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	2	8	
			4	FL2 short/open	5	None	2	40	100% Insp.	D. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	2	8	
			4	R2open/cng val	2		2	16	None						0	
			4	R18 open/cng val	2		2	16	None						0	

### 2.5.2 Quantitative Risk Assessment (QRA)

*Quantitative Risk Assessment* (QRA) adalah metodologi yang sistematis dan komprehensif untuk mengevaluasi risiko yang terkait dengan produk teknologi atau rekayasa yang cukup kompleks. Risiko dalam QRA didefinisikan sebagai hasil yang merugikan layak dari suatu kegiatan atau tindakan.

Risiko ini ditandai dengan dua kuantitas, yaitu besarnya severity (keparahan) dari konsekuensi buruk, dan kemungkinan (probabilitas) terjadinya konsekuensi masing-masing. Konsekuensi disajikan secara numerik (misalnya, jumlah orang yang berpotensi terluka atau meninggal) dan kemungkinan kejadian yang dinyatakan sebagai probabilitas atau frekuensi (yaitu, jumlah atau kemungkinan terjadinya kejadian per satuan waktu). Risiko total adalah kerugian yang telah diperkirakan, yaitu jumlah dari konsekuensi yang dihasilkan dikalikan dengan probabilitasnya. Metode ini sangat detail dan memakan waktu lama untuk dilakukan.

QRA dapat digunakan untuk menyelidiki berbagai jenis risiko yang terkait dengan fasilitas proses kimia, seperti risiko kerugian ekonomi atau risiko dampak lingkungan. Namun, dalam aplikasi kesehatan dan keselamatan, penggunaan QRA dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu memperkirakan risiko jangka panjang untuk pekerja atau masyarakat dari paparan kronis zat-zat atau kegiatan yang berpotensi membahayakan dan memperkirakan risiko untuk pekerja atau masyarakat dari peristiwa episodik yang melibatkan satu kali paparan terhadap zat atau kegiatan yang berpotensi membahayakan.

Fungsi utama dari QRA adalah memberikan informasi untuk pengambilan keputusan. Hasil QRA tidak dapat membuktikan apa-apa. Namun, pembuat keputusan dapat membandingkan estimasi risiko QRA dengan kriteria toleransi untuk memutuskan apakah proses operasi cukup aman. Hasil QRA yang sama dapat menghasilkan kesimpulan yang berbeda, misalnya manajemen perusahaan bisa saja menyatakan bahwa proses tersebut aman berdasarkan hasil QRA, namun aktivis masyarakat menyatakan tidak aman. Perbedaannya terletak pada toleransi risiko individu, bukan pada hasil QRA. Meskipun semua orang sudah sepakat dengan toleransi risiko, namun masih banyak hal-hal yang bersifat subyektif yang

juga berpengaruh terhadap pemahaman risiko yang ada. Subyektifitas-subyektifitas tersebut tidak hitung dalam QRA.

Hasil QRA dapat membimbing pengambil keputusan dalam mengembangkan program perbaikan terus-menerus untuk menurunkan tingkat risiko, tetapi risiko nol (zero risk) adalah tujuan yang sangat sulit untuk dicapai. Setiap kegiatan pasti akan melibatkan beberapa risiko. QRA sebaiknya dilakukan dengan mengidentifikasi kontributor dominan terhadap risiko dari sistem berdasarkan hasil analisis. Setelah risiko-risiko tersebut dieliminasi, risiko kecil yang masih berpengaruh (termasuk risiko yang tersisa dari yang asli QRA karena “diabaikan”, serta risiko baru yang diketahui dari hasil perubahan untuk menghilangkan risiko asli) tetap sebagai kontributor risiko dominan baru.

Metode kuantitatif dipilih karena jika dibandingkan dengan metode kualitatif, secara umum metode analisis kuantitatif akan menghasilkan data yang lebih akurat dan terukur sehingga diperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap risiko yang ada. Dalam beberapa aspek, metode ini dipilih karena memang dipersyaratkan oleh undang-undang atau sistem manajemen K3 yang digunakan.

Terdapat empat tahapan / langkah dalam melakukan QRA, yaitu melakukan Identifikasi bahaya, melakukan analisis konsekuensi, melakukan analisis frekuensi, dan melakukan evaluasi risiko.

### **2.5.3 Hazard & Operability Study (Studi HAZOP)**

Metode studi HAZOP adalah istilah yang diterapkan pada metode rinci untuk pemeriksaan sistematis dari system proses dan operasi yang sudah terdefiniskan secara jelas dan lengkap, baik pada fasilitas yang direncanakan atau yang sudah ada. HAZOPS adalah singkatan dari *Hazard* (bahaya) dan *Operability Study* (David Mc Donald, 2004)

Hazops adalah salah satu metodologi analisis yang didasarkan pemikiran bahwa suatu problem timbul bila terjadi suatu penyimpangan dari ketentuan rancangan atau operasi, misal tidak ada aliran bahan, timbulnya aliran balik (*back-flow*), atau tekanan berlebih dan sebagainya. Penyimpangan ini dapat terjadi

pada aliran fluida, tekanan, temperatur atau komposisi bahan baku. Untuk mengungkapkan dan menelaah sebab dan akibat penyimpangan unit proses, maka diajukan pertanyaan berdasarkan suatu kata bantu (guide words) terhadap masing-masing sistem (node) secara sistematis. Hazops dapat dilaksanakan pada plant/unit proses saat design, proses berjalan dan juga pada saat modifikasi alat/unit.

Proses Hazops didasarkan pada prinsip bahwa pendekatan kelompok dalam analisis bahaya akan mengidentifikasi masalah-masalah yang lebih banyak dibandingkan ketika individu-individu bekerja secara terpisah kemudian menggabungkan hasilnya. Tim Hazops dibentuk dari individu-individu dengan latar belakang dan keahlian yang berbeda. Keahlian yang berbeda tersebut sangat bermanfaat ketika terjadi *brainstorming* pada saat menganalisis dan mengidentifikasi potensi penyimpangan yang teridentifikasi, mencari akar penyebabnya dan memperkirakan konsekuensinya serta merekomendasikan program mitigasi (*safeguard*) yang harus dilakukan.

Proses HAZOPS menyajikan penyimpangan tujuan dari suatu desain proses dinyatakan dengan menggabungkan panduan kata (No, More, less, dan sebagainya) dengan parameter proses (flow, temperature, pressure) sehingga kemungkinan deviasi dari desain niat. Sebagai contoh, ketika kata panduan "No" dikombinasikan dengan "flow" akan menghasilkan parameter penyimpangan "no flow". Tim kemudian harus menuliskan semua penyebab kredibel yang akan mengakibatkan tidak ada seorang kondisi aliran untuk node. Daftar contoh "guide words" diberikan di bawah ini. Perlu dijelaskan bahwa tidak semua guideword / parameter kombinasi akan sangat berarti, karena kadang-kadang tidak akan menyebabkan penyimpangan yang signifikan. "Guide words" tersebut antara lain *No, More, Less, As well as, Other than, dan Reverse than*.

Penerapan parameter penelitian akan tergantung pada jenis rancangan proses, peralatan dalam proses dan tujuan proses. Perangkat lunak HAZOP-PC biasanya menampilkan dua pop-up menu yang berisi daftar parameter spesifik dan parameter umum. Parameter tertentu yang paling umum yang harus dipertimbangkan adalah aliran (flow), suhu (temperature), dan tekanan (pressure).

Dalam hampir semua kasus, parameter ini harus dievaluasi untuk setiap node. Juru tulis (scriber) harus mendokumentasikan, tanpa kecuali, komentar tim tentang parameter ini.

Selain itu, node harus diskriming untuk penerapan parameter tertentu yang tersisa (lihat daftar di bawah) dan untuk daftar parameter umum yang berlaku (PHA-Pro x.x software <sup>TM</sup>). Contoh set parameter meliputi *Flow, Temperature, Pressure, Phase, Level, Instrumentation, Corrosion/Erosion, Services/Utilities, Maintenance, Addition, Safety, Reaction, Inserting /Purging, Contamination*, dan lain-lain.

**Tabel 2.2. Contoh Tabel Hasil Hazop pada suatu *Heat Exchanger System***

Guide Word	Deviation	Causes	Consequences	Action
<b>Less</b>	Less flow of cooling water	Pipe blockage	Temperature of process fluid remains constant	High Temperature Alarm
<b>More</b>	More cooling flow	Failure of cooling water valve	Temperature of process fluid decrease	Low Temperature Alarm
<b>More of</b>	More pressure on tube side	Failure of process fluid valve	Bursting of tube	Install high pressure alarm
<b>Contamination</b>	Contamination of process fluid line	Leakage of tube and cooling water goes in	Contamination of process fluid	Proper maintainance and operator alert
<b>Corrosion</b>	Corrosion of tube	Hardness of cooling water	Less cooling and crack of tube	Proper maintainance

Sumber : *Marvin Rausand, 2004.*

Dalam pelaksanaan Hazops, pimpinan tim *Process Hazop Analysis* (PHA) harus bekerja sama dengan koordinator PHA dalam mendefinisikan lingkup analisis dan pemilihan anggota tim, termasuk mengarahkan anggota tim dalam pengumpulan informasi keselamatan proses sebelum dimulainya penelitian. Rencana penelitian dengan koordinator PHA dan jadwal pertemuan tim. Selain itu

tugas pimpinan tim juga antara lain meliputi memimpin tim dalam analisis proses yang dipilih serta menjaga agar anggota tim tetap fokus pada menemukan potensi bahaya yang terkait dengan rancangan proses (process design) dan mengarahkan juru catat (scriber) tim dalam mencatat hasil temuan tim, memastikan bahwa analisis dilakukan secara menyeluruh, sesuai dengan waktu dan tahapan yang telah dijadwalkan pada saat perencanaan, dan menulis laporan yang merinci temuan analisis dan rekomendasi kelompok, membuat dan melaporkan hasil temuan dan rekomendasi kepada manajemen.

Keterbatasan dari metode Hazops ialah metode ini sangat membutuhkan sumberdaya manusia yang berpengalaman, waktu yang cukup dan ketelitian yang tinggi agar semua pihak yang terlibat dapat yakin bahwa tidak ada lagi potensi bahaya tersisa. Metode Hazops dapat membosankan bagi peserta dan ketika kehilangan konsentrasi dalam menetapkan keputusan dengan keyakinan bahwa sebuah desain telah diperiksa seluruhnya. Metode ini mempunyai keterbatasan apabila desain yang ada telah mengalami perubahan-perubahan kecil yang tidak terdeteksi sehingga tidak cukup terlihat dalam dokumen *P&ID*. Dengan perkataan lain, dalam metode Hazop penelitian dilakukan hanya mempertimbangkan bagian-bagian atau kegiatan yang muncul pada representasi desain (*P&ID drawing*). Jika penyimpangan-penyimpangan kecil tidak terlihat pada gambar, maka mereka tidak dipertimbangkan dalam proses analisis. Hal tersebut menempatkan tanggung jawab yang besar pada aspek perencanaan (*design planning*) dan presentasi rancang bangun (*design engineering*).

#### **2.5.4 Risk Based Inspection**

*Risk Based Inspection* (RBI) adalah metodologi analisis yang digunakan untuk menentukan tingkat risiko suatu peralatan berdasarkan kombinasi dari kategori kemungkinan kegagalan dan kategori konsekuensi kegagalan. Risiko dalam metodologi ini digunakan sebagai basis untuk memprioritaskan dan mengelola program inspeksi secara optimal. RBI merupakan gabungan antara konsep analisis risiko dan *mechanical integrity*.

Metode *Risk Based Inspection* (RBI) dikembangkan untuk optimasi perencanaan inspeksi berdasarkan risiko untuk peralatan bertekanan seperti sistem

perpipaan, bejana tekan, tangki, ketel uap. Dengan penerapan metoda ini diharapkan usaha mitigasi risiko dilakukan atas dasar pengertian yang benar dari masing-masing ancaman bahaya sehingga tindakan pencegahan dan perbaikan yang tepat dapat dilakukan. Penerapan metode RBI akan memberikan hasil pengurangan risiko atas peralatan dan fasilitas yang dilakukan penialaian dan penerimaan/pengertian atas risiko yang ada saat ini (API 580, 2002).

Dengan menggunakan model ini hasil prediksi tingkat resiko perpipaan yang diharapkan berupa suatu nilai dari sebaran nilai resiko yang menunjukkan tingkat kepastian dalam rentang 80 – 90% dan prediksi parameter yang mempengaruhi nilai tingkat resiko tersebut. Sebagai catatan nilai resiko yang diperoleh merupakan kuantifikasi nilai probabilitas dan konsekuensi suatu kecelakaan yang mungkin terjadi.

#### **2.5.5 Index-Scoring Method**

Metode ini menggunakan teknik penilaian (*scoring*) di mana pengelompokan dan pembobotan relatif dilakukan terhadap semua komponen indeks yang kemungkinan dapat menyebabkan kegagalan. Sistem nilai (Score) digunakan untuk mengukur kondisi system yang memiliki kontribusi terhadap gambaran risiko (Ahmad Taufik, 2002).

Dalam metode ini risiko bukan merupakan kuantitas yang bersifat tetap atau statis, tetapi selalu berubah-ubah atau dinamis. Jadi risiko merupakan fungsi dari waktu, ketika waktu berubah maka risiko dapat berubah pula.

Pada evaluasi risiko berdasarkan system penilaian indeks, peluang sebuah event terjadi diwakili oleh skor relatif dari item-item di dalam setiap indeks masing-masing. Skor atau nilai dari sebuah item mencerminkan nilai/bobot dari item tersebut relatif terhadap item lainnya dalam indeks yang bersangkutan. Keunggulan dari metode ini antara lain meliputi spektrum informasi yang bisa diambil sangat lebar (misalnya : kegagalan yang hamper terlewatkan atau yang sesungguhnya terjadi dapat diperhitungkan), hasil analisis relatif dapat diperoleh lebih cepat bila dibandingkan dengan metode lain dan memerlukan sumber daya yang lebih sedikit, dan kajian cukup komprehensif meliputi semua aspek detail yang

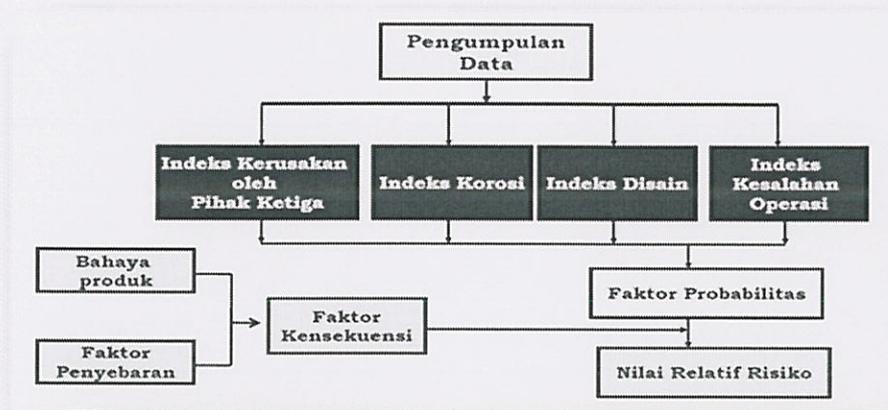
mempengaruhi integritas pipa, dan modifikasi mudah dilakukan bila ada tambahan data yang lebih rinci datang kemudian).

Sedangkan kelemahan dari penggunaan metode ini antara lain adalah metode ini cenderung subyektif terutama apabila data-data teknis dan operasional yang diperlukan tidak cukup lengkap, sehingga diperlukan usaha keras dan pengalaman ahli (pertimbangan *judgement* berdasarkan pengalaman lapangan) untuk menjamin konsistensi penilaian.

## 2.6 Penilaian Risiko Jalur Pipa Menurut Metode Muhlbauer

Metode Penilaian risiko yang dikembangkan oleh Kent W. Muhlbauer adalah termasuk metode indeks yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap suatu jalur atau system perpipaan (terutama on-shore), dimana penilaian besarnya risiko terhadap suatu sistem perpipaan dihitung dengan menilai besarnya *Probabilty of Failure* (PoF) dan *Consequences of Failure* (CoF). Besarnya pengaruh parameter-parameter terhadap nilai risiko dilihat dari perubahan nilai PoF dan LIF.

Bentuk penilaian terhadap PoF dikategorikan menjadi empat indeks, yaitu masing-masing adalah Indeks Kerusakan oleh Pihak Ketiga (*Third-Party Damage Index*), Indeks akibat Korosi (*Corrosion Index*), selanjutnya Indeks Desain (*Design Index*), dan Indeks akibat Kesalahan Operasional (*Incorrect Operation Index*). Setiap indeks melingkupi porsi yang sesuai untuk setiap komponen kemungkinan ancaman yang terjadi di dalam system jalur pipa. Kemudian penilaian terhadap CoF dilakukan dengan menghitung besarnya nilai Leak Impact Factor (LIF). Untuk kategori konsekuensi di dalam LIF diwakili oleh empat faktor, yaitu *Product Hazard*, *Leak Volume*, *Dispersion*, dan *Receptor*. Setelah skor kedua komponen tersebut didapatkan maka dapat dihitung besarnya risiko total yang dihadapi. Kemudian risiko total tersebut akan dilihat apakah masih berada dalam batas yang ditoleransi.



Gambar 2.3 Metode Index Risk Assessment menurut Muhlbauer

### 2.6.1 Probability of Failure (PoF)

Nilai *Probability of Failure* menandakan besarnya kemungkinan suatu peralatan untuk mengalami kegagalan. Dalam metode ini semakin besar nilai PoF yang didapat maka semakin kecil kemungkinan terjadinya kegagalan pada jalur pipa yang dinilai. Nilai yang diberikan mengacu kepada pengumpulan data terbaru dan didukung oleh data historis suatu jalur pipa. Penilaian yang dilakukan meliputi berbagai aspek di dalam empat indeks utama.

#### a. Indeks Kerusakan

Oleh Pihak ketiga, ada beberapa faktor yang dikelompokkan ke dalam penyebab kerusakan jalur pipa oleh pihak ke-tiga adalah sebagai berikut: Kedalaman minimum pelindung (*minimum depth of cover*), tingkat aktifitas sekitar jalur/koridor pipa (*activity level*), fasilitas di atas tanah sekitar jalur pipa (*aboveground facilities*), program pendidikan pada masyarakat setempat (*public education programs*), kondisi koridor perpipaian (*right-of-away*), dan frekuensi pengawasan (*patrol frequency*).

#### b. Indeks Korosi

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 kerawannya 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.

Beberapa komponen yang harus diperhatikan dalam melakukan penilaian indeks akibat korosi, yaitu antara lain, korosi akibat pengaruh udara (*atmospheric corrossion*), korosi yang timbul dari dalam pipa (*internal corrossion*), korosi akibat ditanam di bawah permukaan tanah (*subsurface corrossion*), dan indeks Desain.

#### **c. Indeks Desain**

Faktor disain memegang peranan penting dalam menjamin keamanan operasi pipa. Faktor ini menyangkut perencanaan yang baik sejak awal proyek pipa dimulai. Porsi terbesar dalam kegagalan suatu fasilitas konstruksi adalah akibat kurang sempurnanan desain. Banyak terjadi kecelakaan atau kegagalan dalam operasi perpipaan karena kurang baiknya atau kesalahan desain.

Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam melakukan penilaian indeks desain yaitu faktor Keamanan Desain, faktor *Fatigue* (kelelahan material), potensi Sentakan (*Surge Potential*), Verifikasi Terpadu, Sistem Test Hidrostatik, dan Faktor Pergerakan tanah

#### **d. Indeks Kesalahan Operasi**

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 kelalaian (*lapses*).

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 sistem penilaian 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.

### 2.6.2 Leak Impact Factor (LIF)

Nilai dari *Leak Impact Factor* (LIF) dipakai untuk melengkapi *score index* dengan mewakili nilai *consequences of failure*(CoF). Semakin tingginya nilai LIF maka semakin tinggi pula konsekuensi dalam suatu sistem, dan semakin tinggi konsekuensi maka risikonya juga tentu akan semakin tinggi pula.

Besar LIF dipengaruhi oleh empat faktor utama, yaitu tingkat bahaya dari produk, banyaknya volume yang terlepas jika ada kebocoran, jangkauan relatif dari kebocoran, dan lingkungan disekitarnya yang menerima produk yang terlepas. Bila salah satunya tidak memiliki konsekuensi sama sekali atau berharga 0 maka besar LIF juga akan 0.

#### a. Bahaya Produk

Faktor utama yang menentukan bentuk bahaya (*hazard*) dari suatu produk yang melalui sistem perpipaan adalah karakteristik dari produk yang ada di dalam perpipaan itu sendiri.

Pada saat terjadi suatu kebocoran pipa, maka selalu dilakukan penilaian terhadap karakteristik bahaya dari produk yang bocor tersebut. Karakteristik bahaya produk dibedakan berdasarkan jenis bahayanya. Bahaya akut (*acute*) 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. Bahaya kronis (*chronic*) adalah karakteristik bahaya dari suatu produk yang bocor dan dikhawatirkan dapat menjadi ancaman yang sangat serius pada keselamatan jiwa manusia ataupun lingkungan.

### **b. Volume Kebocoran**

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 dua komponen yang digunakan untuk skoring disini yang antara lain ukuran lubang dan model kebocoroan. Sebagai komponen yang kritikal pada saat pemeriksaan adalah besarnya volume pada saat terjadi kebocoran. Ukuran lubang sangat berpengaruh terhadap besarnya volume kebocoran sehingga harus diestimasi. Ukuran lubang ditentukan oleh model kegagalan yang dipengaruhi oleh fungsi dari material pipa, kondisi ketegangan, dan penyebab kegagalan.

Untuk dapat memperkirakan besarnya volume kebocoran, evaluator harus dapat menyusun model kebocoran berdasarkan jenis fluida yang keluar dari lubang pipa yang bocor apakah berbentuk *liquid release*, *vapour release* ataupun *volatile release*.

### **c. Jangkauan Relatif Kebocoran (Dispersi)**

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.

### **d. Lingkungan Penerima Kebocoran (*Receptors*)**

Pengertian dari receptor disini adalah sesuatu yang dapat menderita oleh karena kebocoran pada perpipaan (Kent W. Muhlbauer, 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), serta jarak dan perlindungan dari *receptor*.

Pembagian kelas lokasi menurut *US Department of Transportation DOT CFR Part 192* adalah 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.

### 2.6.3 Relative Risk Score

Langkah terakhir adalah menghitung besarnya nilai risiko relatif berdasarkan rumus di bawah ini :

$$\text{Relative Risk Score} = \left( \frac{\text{Index Summary}}{\text{Leak Impact Factor}} \right)$$

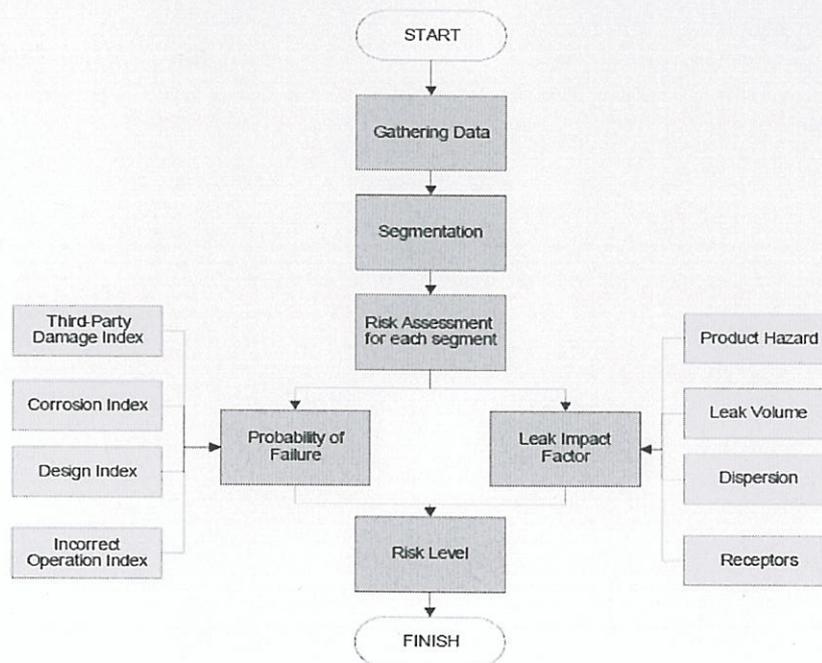
## BAB 3

### KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

#### 3.1 Kerangka Konsep

Penilaian Risiko Kebakaran atau dalam terminology lain digunakan istilah analisis risiko kebakaran adalah proses untuk mengestimasi dan mengevaluasi risiko kebakaran yang membahas skenario kebakaran sesuai dan probabilitas dan konsekuensinya, dengan menggunakan satu atau lebih kriteria penerimaan.

Metode analisis yang digunakan menggunakan metode *Scoring-Index* yang dikembangkan oleh Kent W. Muhlbauer (19992/2004). Metode tersebut telah banyak digunakan oleh berbagai kalangan untuk melakukan kajian risiko keselamatan jalur pipa terutama jalur pipa darat di lingkungan industri migas dan kimia.



**Gambar 3.1 Diagram Konsep Penelitian.**

Metode ini menggunakan model penilaian yang memperhitungkan risiko secara keseluruhan dengan menghitung factor-faktor yang mempengaruhi tingkat

risiko keselamatan sistem jalur pipa. Perhitungan risiko dilakukan dengan memberikan bobot penilaian pada kondisi pipa berdasarkan criteria-kriteria tertentu terhadap variable yang akan diteliti/diukur.

Berdasarkan urutan langkah seperti dalam diagram pengumpulan data dan proses penetapan segmen penelitian (*sectioning*), kemudian menghitung dan menganalisis besarnya peluang munculnya kejadian yang mengandung risiko dalam satuan frekuensi persatuan waktu (*Probability of Failure*) pada setiap segmen (*section*) yaitu berupa indeks dengan item-item terdiri dari Indeks Kerusakan Pihak Ketiga (*third-party damage index*), Indeks Korosi (*corrosion index*), Indeks Desain (*desain index*), dan Indeks Kesalahan Pengoperasian (*incorrect operations index*).

Langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya konsekuensi yang ditimbulkan (*Consequences of Failure*) oleh kejadian yang mengandung risiko yang diukur dalam satuan efek yang ditimbulkannya per satuan waktu, dalam hal ini adalah *Leak Impact Factor* (LIF). Setelah itu dapat dihitung besarnya *relative risk score* yang merupakan hasil dari pembagian antara jumlah indeks dengan *leak impact factor* dan pada akhirnya diketahui risk profile yang berisikan *leak impact factor*, *relative risk score*, dan *index sum* tiap-tiap segmen (*section*) jalur pipa, apakah jalur pipa tersebut memiliki tingkat keamanan yang tinggi atau bahkan sebaliknya, karena semakin tinggi indeks skor (pembobotan), maka tingkat keamanannya juga semakin tinggi (Muhlbauer, 2004).

### 3.2 Definisi Operasional

Penjelasan mengenai variable-variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian tesis dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Definisi Operasional Penelitian.

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
<b>PROBABILITAS</b>				
1.	<i>Third Party Index:</i>	Bahaya (hazard) yang teridentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang dise-babkan oleh pihak ketiga. Skor maksimum 100 pts	Melakukan penilaian berdasarkan panduan penilaian (scoring) terhadap factor-faktor yang berpengaruh, seperti : a. Kedalaman penimbunan pipa dan metode prlindungannya. b. Activity level c. Fasilitas di atas ROW pipa d. One Call System e. Community Education f. Kondisi Jalur Pipa g. Frekuensi Inspeksi.	Rasio
A.	Kedalamam letak pipa dan metode pelindungnya (Minimum depth of cover)	Nilai yang diberikan berdasarkan kondisi terkini terhadap faktor kedalaman letak pipa dan metode pelindungnya (Minimum Depth Cover)	Pentuan skor berdasarkan formula sebagai berikut: Skor = ketebalan cover dalam satuan inci/3	Apabila ada perlindungan tambahan maka diberikan skor tambahan sebagai berikut:  Perlindungan terdiri dari:

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			2 inch concrete coating = 8 inch lapisan tanah 4 inch concrete coating = 12 inch lapisan tanah Pipa casing = 24 inch lapisan tanah Concrete slab = 24 inch lapisan tanah Warning tab = 6 inch lapisan tanah	
		<b>Total skor maksimum untuk Depth of Cover = 20 pts</b>		
		Nilai yang diberikan berdasarkan kondisi terkini terhadap faktor tingkat aktivitas (Activity Level), dengan kriteria:	Dinilai dengan memperhatikan hasil observasi, interviu, foto dan dokumentasi.	Ordinal
	<i>B. Activity Level</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kepadatan populasi</li> <li>2. Frekuensi aktifitas konstruksi</li> <li>3. Laporan Peninjauan</li> <li>4. Kondisi daerah sekitar</li> <li>5. Fasilitas lain yang ada</li> <li>6. Area berlabuh</li> </ol>	1. Area Aktifitas Tingkat Tinggi (Skor 0) Dengan kriteria: Kepadatan populasi kelas 3 (yang ditetapkan oleh DOT CFR bagian 192) <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Kepadatan populasi tinggi</li> <li>b. Frekuensi aktifitas-aktifitas konstruksi</li> <li>c. Laporan peninjauan (&gt;2 per minggu)</li> <li>d. Lalu lintas jalan kereta atau jalan raya yang menimbulkan ancaman</li> <li>e. Banyaknya fasilitas terdekat lain yang dipendam</li> <li>f. Area berlabuh yang normal ketika jauh</li> </ol>	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
g.	Pengerukan dekat garis lepas pantai adalah hal biasa	dari pantai		
2.	Aktifitas Tingkat Menengah (Skor 8 Pts)	Dengan kriteria: Kepadatan populasi Kelas 2 (yang ditetapkan oleh DOT)		
a.	Kepadatan populasi terdekat yang rendah			
b.	Tidak ada aktifitas-aktivitas konstruksi rutin yang menimbulkan ancaman			
c.	Sedikit pengurangan tunggal atau laporan peninjauan (<5 per bulan)			
d.	Sedikit fasilitas terdekat yang dipendam			
3.	Aktifitas Tingkat Rendah (Skor 15 Pts)	Dengan kriteria: Kepadatan populasi Kelas 1 (yang ditetapkan oleh DOT)		
e.	Kepadatan populasi yang sangat rendah,			



No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			h. Pemასangan tanda peringatan (skor 1 pts)	
D.	Sistem Pengarahan Satu Arah ( <i>One call System</i> )	Nilai yang diberikan berdasarkan kondisi terkini terhadap faktor-faktor <i>One Call System</i> dengan melihat ada tidaknya kriteria:	Dimilai dengan memperhatikan hasil Observasi, Intervi dan dokumentasi (data regulasi terkait, SOP) Bila	Ratio
		1. Aspek Hukum 2. Data efisiensi yang handal 3. Tersebar secara luas 4. Memenuhi standar pemerintah daerah 5. Reaksi yang tepat terhadap panggilan	a. Diengkapi dengan aspek hukum (skor 4 pts) b. Data bukti efisiensi dan handal (skor 2 pts) c. Diumumkan secara luas ke masyarakat (skor 2 pts) d. Memenuhi standar pemerintah daerah (skor 2 pts) e. Reaksi yang tepat terhadap panggilan (skor 5 pts)	
E.	Program Pendidikan Masyarakat	Nilai yang diberikan berdasarkan kondisi terkini terhadap faktor program pendidikan masyarakat. Dengan memperhatikan ada tidaknya kriteria:	Dimilai dengan memperhatikan hasil Observasi, Intervi dan dokumentasi. Bila dilakukan :	Ordinal
		1. Pemberitahuan melalui surat 2. Pertemuan instansi terkait 1 kali / tahun	1. Pemberitahuan melalui surat (skor 2 pts) 2. Pertemuan instansi terkait 1 kali / tahun (skor 2 pts) 3. Pertemuan dengan kontraktor local 1	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Pertemuan dengan kontraktor lokal 1 kali / tahun</li> <li>4. Penyuluhan masyarakat secara regular</li> <li>5. Kontrak <i>door to door</i> dengan penduduk terdekat</li> <li>6. Pemberitahuan dengan surat terhadap kontraktor</li> <li>7. Publikasi sarana 1 kali / tahun</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Penyuluhan masyarakat secara regular (skor 2 pts)</li> <li>5. Kontrak <i>door to door</i> dengan penduduk terdekat (skor 4 pts)</li> <li>6. Pemberitahuan dengan surat terhadap kontraktor (skor 2 pts)</li> <li>7. Publikasi sarana 1 kali / tahun (skor 1 pts)</li> </ol>	
F.	Kondisi Jalur Pipa	<p>Nilai yang diberikan berdasarkan kondisi terkini terhadap factor kondisi jalur pipa dengan memperhatikan kriteria sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kondisi jalur ROW</li> <li>2. Letak tanda rambu</li> <li>3. Patroli udara</li> </ol>	<p>Dinilai dengan memperhatikan hasil observasi dan dokumentasi.</p> <p>Kategori:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Excellent ( skor = 5 pts )</i></li> </ol> <p>Jika kondisi jalur ROW jelas, tanda rambu terlihat dari setiap sudut arah; patroli lewat udara dilakukan.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. <i>Good ( skor = 3 pts )</i></li> </ol> <p>Jika kondisi jalur ROW jelas, rambu-rambu ada tetapi tidak dapat terlihat dari segala arah.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. <i>Average ( skor = 2 pts )</i></li> </ol>	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			<p>Jika kondisi jalur ROW tidak seluruhnya jelas, diperlukan rambu tambahan terutama pada pertigas jalan KA; jalan Raya; perlintasan sungai dll.</p> <p>4. <i>Below Average ( skor = 1 pt )</i></p> <p>Jika kondisi jalur ditumbuhi banyak tumbuh-tumbuhan, tidak seluruh jalur terlihat dari udara dan dari darat, rambu kurang.</p> <p>5. <i>Poor ( skor = 0 pt )</i></p> <p>Jika kondisi jalur pipa tidak ada ROW dan tidak ada rambu.</p>	
	G. Frekuensi Pemeriksaan Jalur Pipa	<p>Nilai diberikan dengan memperhatikan frekuensi kegiatan pemeriksaan jalur pipa yang dilakukan</p>	<p>Dinilai dengan memperhatikan hasil observasi, interviu, dan dokumentasi data patrol pipa yang ada. Bila patroli dilakukan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Setiap hari (skor 15 pts)</li> <li>2. 4 hari/minggu (skor 12 pts)</li> </ol>	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			3. 3 hari/minggu (skor 10 pts)	
			4. 2 hari/minggu (skor 8 pts)	
			5. 1 hari/minggu (skor 6 ps)	
			6. < dari 4 kali/bulan; lebih dari 1 kali/bulan (skor 4 pts)	
			7. < dari 1 kali/minggu (skor 2 pts)	
			8. Tidak pernah (skor 0 pts)	

## 2. Indeks Korosi

Bahaya (hazard) yang teridentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang di-akibatkan oleh factor korosi  
Skor maksimum 100 pts

Melakukan penilaian berdasarkan panduan penilaian (scoring) terhadap factor-faktor yang berpengaruh, seperti :

- Atmospheric Corrosion
- Internal Corrosion
- Burried Metal Corrosion

### A. Atmospheric corrosion:

#### 1. Fasilitas

Nilai diberikan berdasarkan kriteria

Dinilai dengan memperhatikan hasil

Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
		sebagai berikut:	observasi dan dokumentasi data selubung, penyekatan dan penyangga.	
	<i>Air/water interface</i>		Bila:	
	<i>Casing</i>		<i>Air/water interface (skor 0 pt)</i>	
	<i>Insulation</i>		<i>Casing (skor 1 pt)</i>	
	<i>Support/hanger</i>		<i>Insulation (skor 2 pts)</i>	
	<i>Ground/air interface</i>		<i>Support/hanger (skor 2 pts)</i>	
	<i>Other exposures</i>		<i>Ground/air interface (skor 2 pts)</i>	
	<i>None</i>		<i>Other exposures (skor 4 pts)</i>	
	<i>Multi occurrence detractor</i>		<i>None (skor 5 pts)</i>	
			<i>Multi occurrence detractor (skor -1 pts)</i>	
2.	<i>Atmospheric Type</i>	Nilai diberikan berdasarkan kondisi atmosfer yang dapat meningkatkan atau mempercepat proses korosi yang terjadi melalui mekanisme oksidasi. Dengan melihat kriteria:	Dinilai dengan memperhatikan dokumentasi (Data meteorologi; kelembaban, temperatur, dan curah hujan)	Ratio
		1. Kandungan kimia	Bila:	
			1. Kimia dan laut (skor 0 pts)	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
		2. Daerah	2. Kimia dan kelembaban tinggi (skor 2 pts)	
		3. Kelembaban	3. Laut, rawa, pantai (skor 4 pts)	
		4. Temperatur	4. Kelembaban tinggi, temperatur tinggi (skor 6 pts)	
			5. Kimia dan kelembaban rendah (skor 8 pts)	
			6. Kelembaban rendah (skor 10 pts)	
3.	<i>Coating dan Inspection</i>		(Skor total = skor total variabel <i>coating</i> + <i>application</i> + <i>inspection</i> + <i>correction of defects</i> ) x 5/12, skor maksimal 5 pts	Ordinal
	a. <i>Coating</i>	Nilai diberikan berdasarkan ketepatan dan kualitas coating yang digunakan dengan pengaplikasiannya	Penilaian dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data <i>coating</i> dan <i>inspection</i> , data jenis <i>coating</i> dan data spesifikasi <i>coating</i> )  Dengan kategori:  1. <i>Good</i> bila <i>coating</i> yang digunakan berkualitas tinggi dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang ada. (skor 3 pts)	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
	b. <i>Application</i>	Pengkajian mengenai proses aplikasi <i>coating</i> dan kualitasnya yang meliputi <i>pre cleaning</i> . Ketebalan <i>coating</i> serta faktor lingkungan (temperatur, kelembaban, debu, dll) termasuk proses pembuatannya	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. <i>Fair</i> bila <i>coating</i> diterapkan namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada. (skor 2 pts)</li> <li>3. <i>Poor</i> bila <i>Coating</i> diterapkan, namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada</li> <li>4. <i>Absent</i> bila tidak digunakan <i>coating</i> (skor 0 pts)</li> </ol>	Ordinal
			<p>Penilaian dilakukan dengan melakukan observasi, foto, interviu, dan dokumentasi.</p> <p>Dikategorikan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Good</i> bila spesifikasi detail, terdapat <i>system quality control</i>, terdapat perhatian yang mendalam terhadap proses penerapannya (skor 3 pts)</li> <li>2. <i>Fair</i> bila terdapat aplikasi, namun tanpa supervisi dan kontrol kualitas (skor 2 pts)</li> <li>3. <i>Poor</i> bila aplikasi berkualitas rendah, dan ceroboh/tidak hati-hati (skor 1 pt)</li> </ol>	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
c.	<i>Inspection</i>	Pengkajian mengenai program inspeksi dalam hal ketepatan waktu dan ketelitian/kecermatan program inspeksi	<p>Penilaian dilakukan dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data <i>inspection</i>)</p> <p>Dikategorikan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Good</i> bila inspeksi bersifat formal, dan khusus dilakukan untuk kejadian korsir yang disebabkan oleh kondisi atmosfer (skor 3 pts)</li> <li>2. <i>Fair</i> bila inspeksi berlangsung secara informal dan dilakukan oleh seorang yang berkualifikasi. (skor 2 pts)</li> <li>3. <i>Poor</i> bila inspeksi yang dilakukan hanya sedikit dan bersifat sekilas (skor 1 pt)</li> <li>4. <i>Absent</i> bila tidak terdapat program inspeksi untuk korosi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer. (skor 0 pts)</li> </ol>	Ordinal
d.	<i>Correction</i>	Pengkajian dilakukan terhadap	Penilaian dilakukan dengan memperhatikan	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
	<i>of defects</i>	program koreksi adanya cacat <i>coating</i> /kekurangan meliputi kecermatan/ketelitian dan ketepatan waktu	hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data pencatatan kondisi, perawatan, perbaikan <i>coating</i> ).	
			Dikategorikan:	
				<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Good</i> bila terdapat pelaporan adanya <i>coating defect</i> (cacat <i>coating</i>) dan proses reparasi/perbaikan terhadap cacat <i>coating</i> terjadwal (skor 3 pts)</li> <li>2. <i>Fair</i> bila cacat <i>coating</i> dilaporkan secara informal, dan proses reparasi cacat <i>coating</i> dilakukan pada waktu-waktu yang kosong (tidak terjadwal) (skor 2 pts)</li> <li>3. <i>Poor</i> bila cacat <i>coating</i> tidak dilaporkan secara konsisten dan tidak ada proses reparasi (skor 1 pt)</li> <li>4. <i>Absent</i> bila perhatian yang diberikan terhadap cacat <i>coating</i> sangat sedikit atau bahkan tidak dilakukan sama sekali (skor 0 pts)</li> </ol>
	<i>B. Internal corrosion</i>	Penilaian potensi korosi berdasarkan	Penilaian dilakukan dengan memperhatikan	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
1.	<i>Product corrosivity</i>	bahan pipa	hasil interviu, dan dokumentasi (data material/ <i>product corrosivity</i> /MSDS)	
			Dengan kategori:	
			<i>Strongly corrosive</i> (skor 0 pt)	Bila produk bersifat sangat incompatible dan sangat mengkorosi terhadap pipa, proses korosi berlangsung cepat. Contoh produk: Produk larutan garam, air, produk yang mengandung H <sub>2</sub> S, dan produk asam.
			<i>Mildly corrosive</i> (skor 3 pts)	Bila Kerusakan pipa berlangsung lambat, tidak diketahui
			<i>Corrosive only under special condition</i> (skor 7 pts)	Bila produk secara umum tidak mempengaruhi pipa, namun ada kemungkinan masuknya komponen lain yang dapat mempengaruhi, seperti excursion / pemasukan gas CO <sub>2</sub> atau air garam ke dalam pipa gas metan, dll.

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
2.	<i>Internal Protection</i>	Pemberian nilai dengan memperhatikan faktor sebagai berikut:	<i>Never corrosive</i> (skor 10 pts)	Ordinal
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Internal monitoring</i></li> <li>2. <i>Inhibitor injection</i></li> <li>3. <i>Internal coating</i></li> <li>4. <i>Operational measures</i></li> <li>5. <i>Pigging</i></li> </ol>	<p>Penilaian dilakukan dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data proteksi pipa, <i>Internal monitoring</i>, <i>Inhibitor</i>, <i>Internal coating</i>.</p> <p>Jika,</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tidak ada proteksi internal (skor 0 pts)</li> <li>2. <i>Internal monitoring</i> (skor 2 pts)</li> </ol> <p>Bila digunakan <i>probe/sensor</i> untuk mengukur transmisi listrik secara kontinyu. Dengan <i>coupon</i> yang turut mengalir pada produk. Dan dilakukan pengkajian produk-produk korosi yang ada pada filter</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. <i>inhibitor injection</i> (skor 4 pts)</li> </ol> <p>Bila dilakukan injeksi antikorosi; <i>chemical inhibitor</i>, <i>oxygen scavenging</i> (penangkap oksigen), <i>biocides</i> (antimikroba), dll.</p> <p><i>Internal coating</i> (skor 5 pts)</p> <p>Bila dilakukan pelapisan pipa dengan plastic, karet, keramik dll.</p>	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
C.	<i>Burried Metal Corrosion</i>	Pengkajian terhadap perlindungan pada pipa melalui mekanisme sel galvani	<p><i>Operational measures</i> (skor 3 pts)                      Bila pada sistem/peralatan diterapkan pencegahan korosi, seperti; filter, dehidrator, strips sour gas, kontrol suhu. Harus dicek kondisi dan efektifitas peralatan/system yang dipakai</p> <p><i>Pigging</i> (skor 3 pts)</p>	Nominal
	1. <i>Cathodic Protection</i>		<p>Skor maksimum 60 pts</p> <p>Penilaian dilakukan dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data <i>cathodic protection</i>, data <i>coating &amp; inspection</i> dan data pengukuran arus listrik pada <i>cathodic protection</i>, dengan kategori sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memenuhi kriteria umum (skor 8 pts)</li> <li>2. Tidak memenuhi kriteria umum (skor 0 pts)</li> </ol>	
	2. <i>Coating Condition</i>		Skor = skor total x 10/12	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
-	<i>Coating</i>	Nilai diberikan berdasarkan ketepatan dan kualitas coating yang digunakan dengan pengaplikasiannya	Skor maksimum = 10 Penilaian dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi	Dengan kategori: 1. <i>Good</i> bila <i>coating</i> yang digunakan berkualitas tinggi dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang ada. (skor 3 pts)
				2. <i>Fair</i> bila <i>coating</i> diterapkan namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada. (skor 2 pts)
				3. <i>Poor</i> bila <i>Coating</i> diterapkan, namun tidak layak untuk kondisi lingkungan yang ada
				4. <i>Absent</i> bila tidak digunakan <i>coating</i> (skor 0 pts).
			Penilaian lain dapat digunakan untuk mengkaji kondisi <i>coating</i> , yaitu hasil	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
-	<i>Application</i>	Pengkajian mengenai proses aplikasi <i>coating</i> dan kualitasnya yang meliputi <i>pre cleaning</i> . Ketebalan <i>coating</i> serta faktor lingkungan (temperatur, kelembaban, debu, dll) termasuk proses pembuatannya	pengukuran arus listrik pada <i>cathodic protection</i> . Pengukuran arus listrik dikategorikan: 1. <i>Good</i> bila 0.0003 mA/ sq ft 1. <i>Fair</i> bila 0.003 mA/ sq ft 2. <i>Poor</i> bila 0.1 mA/ sq ft 3. <i>Absent</i> bila 0 mA/ sq ft	Penilaian dilakukan dengan melakukan observasi, foto, interview, dan dokumentasi. Dikategorikan: 1. <i>Good</i> bila spesifikasi detail, terdapat <i>system quality control</i> , terdapat perhatian yang mendalam terhadap proses penerapannya (skor 3 pts) 2. <i>Fair</i> bila terdapat aplikasi, namun tanpa supervisi dan

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
-	<i>Inspection</i>	Pengkajian mengenai program inspeksi dalam hal ketepatan waktu dan ketelitian/kecermatan program inspeksi	kontrol kualitas (skor 2 pts)	<p>3. <i>Poor</i> bila aplikasi berkualitas rendah, dan ceroboh/tidak hati-hati (skor 1 pt)</p> <p>4. <i>Absent</i> bila aplikasi tidak tepat, lingkungan tidak terkontrol (skor 0 pts)</p> <p>Penilaian dilakukan dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data <i>inspection</i>) Dikategorikan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Good</i> bila inspeksi bersifat formal, dan khusus dilakukan untuk kejadian korsir yang disebabkan oleh kondisi atmosfer (skor 3 pts)</li> <li>2. <i>Fair</i> bila inspeksi berlangsung secara informal dan dilakukan oleh seorang yang berkualifikasi. (skor 2 pts)</li> <li>3. <i>Poor</i> bila inspeksi yang dilakukan</li> </ol>

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
-	<i>Correction of Defects</i>	Pengkajian dilakukan terhadap program koreksi adanya cacat <i>coating</i> /kekurangan meliputi kecermatan/ketelitian dan ketepatan waktu	hanya sedikit dan bersifat sekilas (skor 1 pt)	4. <i>Absent</i> bila tidak terdapat program inspeksi untuk korosi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer. (skor 0 pts)
<p>Penilaian dilakukan dengan memperhatikan hasil observasi, foto, interviu, dan dokumentasi (data pencatatan kondisi, perawatan, perbaikan <i>coating</i>).</p> <p>Dikategorikan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Good</i> bila terdapat pelaporan adanya <i>coating defect</i> (cacat <i>coating</i>) dan proses reparasi/perbaikan terhadap cacat <i>coating</i> terjadwal (skor 3 pts)</li> <li>2. <i>Fair</i> bila cacat <i>coating</i> dilaporkan secara informal, dan proses reparasi cacat <i>coating</i> dilakukan pada waktu-</li> </ol>				

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			waktu yang kosong (tidak terjadwal) (skor 2 pts)	
			3. <i>Poor</i> bila cacat coating tidak dilaporkan secara konsisten dan tidak ada proses reparasi (skor 1 pt)	
			4. <i>Absent</i> bila perhatian yang diberikan terhadap cacat coating sangat sedikit atau bahkan tidak dilakukan sama sekali (skor 0 pts)	
3.	<i>Soil Corrosivity</i>	Merupakan derajat korosifitas tanah, diukur berdasarkan resistensi tanah dan kandungan resistensi tanah dan kandungan unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Resistensi tanah merupakan ukuran bagaimana aliran listrik mengalir sehingga proses korosi dapat berlangsung.	Dinilai dengan memperhatikan hasil interviu dan dokumentasi (data soil corrosivity). Skor maksimum 4 pts.  Kategori: 1. < 500 ohm-cm 2. 500 – 10,000 ohm – cm 3. > 10.000 ohm-cm 4. Tidak diketahui 5. Situasi khusus	Ordinal
4.	Umur Pipa	Dimulai dari pemasangan sampai	Dinilai dengan memperhatikan interviu dan	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
		waktu studi dilakukan. Umumnya pipa didesain untuk jangka waktu 30 – 50 tahun.	dokumentasi.	
			Dikategorikan:	
			1. – 5 thn	
			2. – 10 th	
			3. 0 – 20 th	
			4. 20 th	
5.	<i>Current flow to other buried metal</i>	Pengaruh arus listrik akibat keberadaan benda logam yang tertanam di dekat pipa.	Dimilai dengan memperhatikan hasil interview dan dokumentasi. Skor maksimum 4 pts	Ordinal
			Kategori:	
			1. None (skor 4 pts)	
			2. 1 – 10 (skor 2 pts)	
			3. 11 – 25 (skor 1 pts)	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
6.	<i>AC Interference</i>	Pengaruh transmisi listrik di dekat jalur pipa sehingga menimbulkan medan magnet dan medan listrik sehingga menyebabkan pipa bermuatan.	4. Dinilai dengan memperhatikan hasil interviu dan dokumentasi (data AC power di dekat pipa) Kategori: 1. Tidak ada AC power pada jarak 500 ft dari pipa (skor 4 pts) 2. AC power dekat jalur pipa tetapi ada pelindung (skor 2 pts) 3. AC power dekat jalur pipa tidak ada pelindung (skor 0 pts)	Ordinal
7.	<i>Mechanical Corrosion</i>	Nilai korosi mekanis yang diberikan dengan memperhatikan faktor yang berperan dalam jenis korosi, berupa tekanan (stress), kondisi lingkungan dan jenis logam. Tingkat tekanan ( <i>stress level</i> ) dikaji berdasarkan persentase tekanan operasi dibandingkan dengan MAOP	Dinilai dengan memperhatikan hasil interviu dan dokumentasi. Satuan: % stress level % MAOP	Ordinal
8.	<i>Test Leads</i>	- Lokasi <i>Test</i> Merupakan metode untuk monitoring	Dinilai dengan memperhatikan hasil	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
	<i>Leads</i>	keefektifan system cathodic protection. Melalui test leads (test box), dapat dilakukan pengukuran menggunakan voltmeter dan elektroda pembanding sehingga diketahui potensial pipa terhadap tanah.	interview dan dokumentasi (dokumen <i>test leads</i> ) Kategori: 1. Test leads dengan jarak < 1 mil (skor 3 pts) 2. Test lead berjarak 1 – 2 mil dan terdapat pertemuan dengan pipa lain yang juga dimonitor dengan test leads (skor 1 – 2 pts) 3. Test lead berjarak > 2 mil, tidak ada pipa lain (skor 0 pt)	
	- <i>Interval testing</i>	Nilai yang diberikan dengan melihat interval waktu pelaksanaan testing	Dinilai dengan memperhatikan hasil interview dan dokumentasi (dokumen <i>test leads</i> ) Kategori: 1. < 6 bulan (skor 3 pts) 2. 6 bulan – 1 tahun (skor 2 pts)	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
9.	<i>Close Internal Survey</i>	Kegiatan survey yang dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara keseluruhan di sepanjang jalur pipa. Menunjukkan lokasi-lokasi dimana terdapat interferensi yang berasal dari logam lain.	Dengan memperhatikan dokumen survey yang ada. Nilai diberikan berdasarkan kriteria : 3. > 1 tahun (skor 1 pt)	Rasio
			1. Survey terakhir pada tahun ini (skor 8 pts) 2. Survey terakhir dilakukan pada tahun lalu (skor 8 – 1 = 7 pts) 3. Survey terakhir dilakukan pada 2 tahun yang lalu (skor 8 – 2 = 6 pts), dst.	
10.	<i>Internal Inspection</i>	Kegiatan inspeksi yang merupakan indikator yang berpengaruh langsung terhadap aktifitas korosi.	Dengan memperhatikan hasil interviu dan dokumentasi data inspeksi. <i>Intelligent pigs score</i> dilakukan dengan formula sebagai berikut : Skor = 8 – (tahun terakhir inspeksi)	Rasio
3.	<b>Indeks Desain</b>	Bahaya (hazard) yang teridentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya yang disebabkan oleh kesalahan atau ketidak-empurnaan desain.  (Skor Maksimum = 100 pts)	Melakukan penilaian berdasarkan panduan penilaian (scoring) terhadap factor-faktor yang berpengaruh, seperti : a. Pipe Safety b. System Safety	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			c. Fatigue d. Surge Potential e. Hydrostatic Test f. Soil Movements	
a.	<i>Pipe Safety Factor</i>	<i>Pipe Safety Factor</i> merupakan rasio ketebalan aktual pipa dibagi dengan ketebalan desain pipa.	Memperhatikan hasil interviu dokumentasi data ketebalan pipa (aktual dan desain). Rumus Skor : $(t - 1) \times 20$ pts $t = t \text{ aktual} / t \text{ desain}$	Ordinal
			Bila: Nilai t skor	
			1. < 1.0 -10 Warning	
			2. 1.0 – 1.1 3.5	
			3. 1.11 – 1.20 7	
			4. 1.21 – 1.40 14	
			5. 1.41 – 1.60 21	
			6. 1.61 – 1.80 28	
			7. > 1.81 35	
b.	<i>System Safety Factor</i>	Angka faktor <i>safety</i> didapatkan dari hasil pembagian dari angka Tekanan Operasional maksimum yang dibolehkan terhadap tekanan operasional desain (Design to MAOP ratio)	Memperhatikan hasil interviu dan dokumentasi data MAOP <b>Design to MAOP Ratio Points</b> 2.0 35 1.75 – 1.99 28	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			1.50 – 1.74 1.25 – 1.49 1.10 – 1.24 1.0 – 1.10 < 1.0	21 14 7 3.5 -10
	c. <i>Fatigue</i>	Merupakan 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 dll.	Memperhatikan hasil interview dan dokumentasi data MAOP, <i>lifetime cycles</i> .  Penentuan skor adalah dengan memperhatikan % MAOP (Maximum Allowable Operating Pressure) dan banyaknya <i>lifetime cycles</i> .	Ordinal
	d. <i>Surge Potential</i>	Merupakan tekanan gas/Fluida terhadap sistem perpipaan, akibat aliran gas/Fluida dalam pipa. Terjadinya perubahan aliran secara tiba-tiba mengakibatkan energi kinetik terkonsversi menjadi energi tekanan potensial. Perubahan aliran gas/Fluida dapat terjadi akibat kegiatan operasional system perpipaan seperti kegiatan buka/tutup	Skor ditetapkan berdasarkan terjadinya tekanan yang meningkat 10 % dari MAOP dan dikategorikan sebagai berikut:  <b>High Probability</b> (skor 0) Kondisi dikategorikan sebagai <i>high probability</i> adalah apabila dalam pengoperasian system (devices, equipment, fluid velocity) dapat menimbulkan pressure surge.	Ordinal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur										
		valve, turn on-off system, dll.	<b>Low Probability</b> (skor 5) Kondisi dikategorikan <i>low probability</i> adalah apabila fluid velocity dapat mengakibatkan pressure surge, namun pengoperasian system (surge tanks, relief valves, slow valve closures) dapat meredakan kemungkinan terjadinya pressure surge.	<b>Impossible</b> (skor 10) Kondisi dimana system tidak mempunyai potensi terjadinya pressure surge.										
e.	<i>System Hydrostatic Test</i>	Merupakan metode untuk menilai dampak risiko berbasis waktu sejak tes terakhir dan level tes (berhubungan dengan normal tekanan maksimum pada saat operasi).	Dengan memperhatikan data tekanan hidrostatik. Perhitungan skor H, dimana H = (tekanan tes/MAOP Kategori :	<table data-bbox="405 1234 584 1760"> <tr> <td>H &lt; 1.10</td> <td>0 pts</td> </tr> <tr> <td>(1.10 = test pressure 10 % above MAOP)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.11 &lt; H &lt; 1.25</td> <td>5 pts</td> </tr> <tr> <td>1.26 &lt; H &lt; 1.40</td> <td>10 pts</td> </tr> <tr> <td>H &gt; 1.41</td> <td>15 pts</td> </tr> </table>	H < 1.10	0 pts	(1.10 = test pressure 10 % above MAOP)		1.11 < H < 1.25	5 pts	1.26 < H < 1.40	10 pts	H > 1.41	15 pts
H < 1.10	0 pts													
(1.10 = test pressure 10 % above MAOP)														
1.11 < H < 1.25	5 pts													
1.26 < H < 1.40	10 pts													
H > 1.41	15 pts													
f.	<i>Soil Movements</i>	Merupakan kejadian yang bias terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan bencana, atau perubahan formasi lapisan tanah dalam jangka waktu	Dengan melihat hasil observasi, foto, interviu dan dokumentasi data monitoring.	Penilaian terhadap parameter <i>soil movement</i>										

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
4.	<i>Incorrect Operation</i>	Bahaya (hazard) yang teridentifikasi dan dikategorikan sebagai bahaya	Melakukan penilaian berdasarkan panduan penilaian (scoring) terhadap factor-faktor	

g. Tindakan Perbaikan ( <i>Corrective Action</i> )	Penilaian berdasarkan kriteria ada atau tidaknya tindakan perbaikan terhadap kondisi tanah, seperti pembuatan system drainase, dll	Apabila dilakukan tindakan koreksi terhadap kondisi tanah seperti diberikan bonus skor.		
		None (skor 10) None didefinisikan tidak pernah terjadi pergerakan tanah pada jalur pipa		
		Low (skor 6) Low didefinisikan jarang sekali bergerak.		
		Medium (skor 2) Medium didefinisikan sebagai kondisi tanah jarang bergerak/longsor dan dampak terhadap pipa tidak terlalu berbahaya.		
		High (skor 0 pts) High didefinisikan sebagai kondisi tanah yang selalu berubah/bergerak, longsor dll.		

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
	<i>Index</i>	yang disebabkan oleh kesalahan ataupun kelalaian operasional. (Skor maksimum 100 points)	yang berpengaruh, seperti : a. Desain b. Construction c. Operations d. Maintenance	
a.	Desain			
	1. <i>Hazard Identification</i>	Kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui bahaya-bahaya yang terjadi di jalur pipa.	Kegiatan observasi, foto, interviu dan dokumentasi ( planning, desain, operational, HAZOPS, what if, dll)	Ordinal
			Nilai skor 4 pts apabila dilakukan.	
	2. <i>Potential for reaching MAOP</i>	Merupakan kemungkinan kejadian terlampauinya MAOP	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi MAOP	Ordinal
			Kategori: Rutin = 0 pt Jarang terjadi = 5 pts Sangat jarang = 10 pts Tidak mungkin = 12 pts	
	3. <i>Safety Systems</i>	Menilai dengan memperhatikan pelaksanaan sistem keselamatan di jalur pipa.	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi MAOP	Ordinal
			Tidak ada safety devices = 0 pt Ada, hanya 1 level = 3 pts	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			<p>Ada &gt; 1 level = 6 pts            Hanya observasi, / remote 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</p>	
4.	<i>Material Selection</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan pertimbangan pemanfaatan dokumen untuk memilih material	<p>Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi MSDS dan <i>material selection</i>.</p> <p>Kategori:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dokumen kontrol digunakan (skor 2 pts)</li> <li>2. Dokumen kontrol tidak digunakan (skor 0 pts)</li> </ol>	Nominal
5.	<i>Checks</i>	Pemberian nilai dengan memperhatikan monitoring proses desain	<p>Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi.</p> <p>Dikategorikan menjadi:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoring dilakukan (skor 2 pts)</li> <li>2. Monitoring tidak dilakukan (skor 0 pts)</li> </ol>	
	<i>b. Construction</i>			
	<i>1. Inspection</i>	Penilaian terhadap inspeksi yang dilakukan berdasarkan dokumentasi yang ada.	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi inspeksi.	Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			Dikategorikan menjadi: 1. Inspeksi terdokumentasi (skor 2 pts) 2. Inspeksi tidak terdokumentasi (skor 0 pts)	
2.	<i>Materials</i>	Penilaian terhadap material berdasarkan dokumen yang ada.	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi.  Dikategorikan menjadi: 1. Ada dokumen (skor 2 pts) 2. Tidak ada dokumen (skor 0 pts)	
3.	<i>Joining</i>	Penilaian konstruksi berdasarkan surat izin kerja sama	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi.  Dikategorikan menjadi: 1. Ada surat izin (skor 2 pts) 2. Tidak ada surat izin (skor 0 pts)	Nominal
4.	<i>Backfill</i>	Menilai berdasarkan pengetahuan dan praktek <i>backfill</i> yang baik selama konstruksi	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi.  Dikategorikan menjadi: 1. Ya (skor 2 pts) 2. Tidak (skor 0 pts)	
5.	<i>Handling</i>	Bukti penanganan material dan teknik penyimpanan yang baik sebelum dan	Diketahui dengan kegiatan observasi dan dokumentasi <i>handling and storage</i> .	Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
		selama konstruksi.	Dikategorikan menjadi: 1. Terdokumentasi dengan baik (skor 2 pts) 2. Tidak terdokumentasi dgn baik (skor 0 pts)	
<b>6. Coating</b>				
<b>c. Operations</b>				
<b>1. Procedures</b>				
		1. Prosedur yang aktif digunakan	Penne	Skor maksimum 35 pts.
		1. liharan valve	Penne	Ratio
		2. y device dikalibrasi dan dilakukan pemeliharaan	Safet	Melalui kegiatan interviu dan dokumentasi SOP pipa, <i>maintenance safety device, valve</i> , dokumen pemeliharaan ROW, dokumen kalibrasi pipa, dokumen pemeliharaan instrumen.
		3. dur shutdown dan star up dilakukan	Prose	Kategori: Skor maksimum 7, diberikan bila seluruh prosedur (8 point prosedur) dilaksanakan.
		4. operasian pompa	Peng	
		5. ahan pergerakan produk	Perub	
		6. liharan ROW	Penne	
		7. rasi flow meter	Kalib	
		8. liharan instrument	Penne	

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
2.	SCADA / <i>Communication</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan prosedur standar dalam hal komunikasi antara teknisi di lapangan dengan pusat pengendalian	Melalui kegiatan observasi, interview, foto, dan dokumentasi. Dengan kategori: Skor maksimum 5, diberikan apabila tersedia system SCADA dan prosedur protocol dilaksanakan seperti prosedur standar dalam hal komunikasi antara teknisi di lapangan dengan pusat pengendalian, Seperti: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Keadaan valve sedang terbuka atau tertutup</li> <li>2. Pompa dan kompresor sedang terbuka atau tertutup</li> <li>3. <i>Vendor flow</i> sedang hidup atau berhenti</li> <li>4. Instrumen sedang tidak pakai</li> <li>5. Kegiatan pemeliharaan lainnya yang mungkin berdampak terhadap kegiatan operasi.</li> </ol>	Ratio
3.	<i>Drug Testing</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan program tes obat-obatan bagi pegawai yang berperan penting dalam operasi jalur pipa	Melalui kegiatan interview dan dokumentasi. Akan diketahui: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ya, jika ada tes obat-obatan (skor 2 pts)</li> <li>2. Tidak, jika tidak ada tes obat-obatan (skor 0 pts)</li> </ol>	Nominal
4.	<i>Safety Program</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan program keselamatan yang kuat.	Melalui kegiatan interview dan dokumentasi. Akan diketahui: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ya, jika ada program keselamatan</li> </ol>	Nominal

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
5.	<i>Surveys</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan keuntungan survey yang dioptimalkan	<p>Melalui kegiatan interviu dan dokumentasi survey akan diketahui, bila:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ya, jika dilakukan survey yang optimal (skor 2 pts)</li> <li>2. Tidak, jika tidak dilakukan survey yang optimal (skor 0 pts)</li> </ol>	Nominal
6.	<i>Training</i>	Menilai berdasarkan syarat minimum, yaitu: ketersediaan dokumen, <i>testing</i> , <i>topic covered</i> , <i>emergency drills</i> , prosedur kerja dan jadwal ulang pelatihan.	<p>Melalui kegiatan interviu dan dokumentasi training akan diketahui, jika:</p> <p>Dokumen tersedia = 2 pts</p> <p><i>Testing</i> = 2 pts</p> <p><i>Topics covered</i> = 2,5 pts</p> <p><i>Emergency drills</i> = 0,5 pts</p> <p><i>Job procedure</i> = 2 pts</p> <p>Jadwal training ulang = 1 pt</p>	Ratio
7.	<i>Mechanical error Preventers</i>	Menilai <i>three way valves</i> dengan instrument : alat pengunci, program urutan penguncian, perizinan computer, penyorotan instrument kritis	<p>Melalui kegiatan observasi, foto, interviu dan dokumentasi <i>three way valves</i>, bila :</p> <p><i>Three-way valves</i> = 4 pts</p> <p><i>Lock-out devices</i> = 2 pts</p> <p><i>Key-lock sequence program</i> = 2 pts</p> <p><i>Computer permission</i> = 2 pts</p> <p><i>Highlighting instruments</i> = 1 pts</p>	Ratio

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
	<i>d. Maintenance</i>	Menilai pemeliharaan berdasarkan kriteria dokumentasi, jadwal, dan prosedur.	Melalui kegiatan interviu dan dokumentasi pemeliharaan, jadwal dan prosedur pemeriksaan  Kategori: Bila tidak ada skor = 0 pts, bila ada maka: Dokumentasi (skor 2 pts) Jadwal (skor 3 pts) Prosedur (skor 10 pts)	Nominal
5.	<b>Consequences/Leak Impact Factor</b>	(Product Hazard)/(Dispersion Factor)		
	<i>A. Product Hazard</i>			Nominal
	<i>1. Acute Hazard</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan kejadian bahaya yang tiba-tiba. Sehingga perlu perhatian yang cepat dan tepat untuk mengatasi bahaya tersebut.	Diketahui melalui kegiatan interviu dan dokumentasi MSDS.  Pemberian skor sebagai berikut: Flammability (NF) 0 – 4 pts Reactivity (Nr) 0 – 4 pts Toxicity (Nh) 0 – 4 pts	
	<i>2. Chronic Hazard, RQ</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan penyebaran dan besar kejadian penyebaran jika terjadi kebocoran.	<i>Reportable Quantiti 0 – 10 pts</i>	Nominal
	<i>B. Dispersion Factor</i>	Nilai yang diberikan berdasarkan jenis produk dan kepadatan penduduk di sekitar jalur pipa.	Diketahui melalui kegiatan interviu dan dokumentasi MSDS. Pemberian skor untuk:  Jenis produk (cair/gas) 0 – 6 pts	Ratio

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Skala Ukur
			Kepadatan Penduduk	0 – 4 pts

## BAB 4

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1 Desain Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian deskriptif analitik yang dilakukan menggunakan metode analisis semi kuantitatif. Model yang digunakan adalah model *Scoring-Index* yang dikembangkan oleh Kent W. Muhlbauer. Perhitungan secara kuantitatif diberikan terhadap kondisi jalur pipa yang ditentukan berdasarkan kombinasi dari beberapa factor atau komponen yang dapat mempengaruhi integritas jalur pipa berdasarkan data/statistik operasional dan permasalahan yang dihadapi operator dalam mengoperasikan jalur pipa tersebut.

#### 4.2 Obyek & Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan terhadap jalur pipa crude darat 30-inch yang dibangun pada tahun 1982 sepanjang kurang lebih 6.3 km, mulai dari lokasi *tie-in* di area Tanki Terminal Lawe-Lawe hingga ke lokasi *land-fall* di sekitar pantai Tg. Jumlai. Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Oktober 2011 hingga bulan Maret 2012.

#### 4.3 Metode Pengumpulan Data

- Evaluasi dokumen *engineering* termasuk *As-built-drawing documents*
- Evaluasi dokumen Laporan Operasional, Inspeksi & Pemeliharaan
- Wawancara/interview dan diskusi dilakukan terhadap :
  - a. Kepala Terminal Lawe-lawe
  - b. Petugas Operator Control Room
  - c. Petugas Inspeksi
- Observasi/Peninjauan lapangan
- Studi literatur.

#### 4.4 Metode Penegolahan dan Analisis Data

Analisis Risiko didahului dengan kegiatan Identifikasi Risiko. Dalam penelitian ini proses identifikasi risiko dilakukan menggunakan cara/metode check-list, yaitu identifikasi dilakukan secara deskriptif terkait dengan kondisi-kondisi yang ada di lapangan dan faktor-faktor penentu yang terkait dengan prosedur pengoperasian jalur pipa. Sistem perpipaan (jalur pipa) dibagi menjadi seksi-seksi ruas jalur pipa (sectioning) untuk memudahkan proses identifikasi risiko sesuai karakteristik masing-masing seksi jalur pipa tersebut. Untuk memudahkan analisis, sectioning dilakukan dengan memperhatikan factor-faktor berikut :

- Kepadatan populasi
- Kondisi tanah
- Kondisi Coating
- Kondisi persilangan (crossing)

Bentuk penilaian terhadap Probability of Failure (PoF) dikategorikan menjadi empat indeks, yaitu indeks kerusakan oleh pihak ketiga (*Third-Party Damage Index*), kemudian indeks akibat korosi (*Corrosion Index*), Indeks desain (*Design Index*), dan indeks kesalahan pengoperasian (*Incorrect Operation Index*). Setiap indeks melingkupi porsi yang sesuai untuk setiap komponen kemungkinan ancaman yang terjadi di dalam system jalur pipa. Kemudian penilaian terhadap CoF dilakukan dengan menghitung besarnya skor *Leak Impact Factor* (LIF).

Untuk kategori konsekuensi diwakili oleh empat faktor di dalam LIF, yaitu *Product Hazard, Leak Volume, Dispersion, dan Receptor (yang terkena dampak)*. Nilai *Probability of Failure* (PoF) menandakan besarnya kemungkinan suatu peralatan untuk mengalami kegagalan. Dalam metode ini semakin besar nilai PoF yang didapat maka semakin kecil pula kemungkinan terjadinya kegagalan pada jalur pipa yang dinilai. Nilai yang diberikan mengacu kepada pengumpulan data terbaru dan didukung oleh data historis dari jalur pipa tersebut. Penilaian yang dilakukan meliputi berbagai aspek di dalam empat indeks utama, yaitu indeks kerusakan oleh pihak ketiga, indeks korosi, indeks desain dan indeks kesalahan pengoperasian.

- a. Indeks Kerusakan oleh Pihak ketiga
- Secara langsung mengganggu kualitas (kemampuan) dari jalur pipa
  - Kegiatan dari pihak ketiga (bukan dari pemilik pipa)
  - Sistem Penilaian sebagai berikut :

**Tabel 4.1 Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Kerusakan Pihak Ketiga**

<b>Komponen</b>	<b>Bobot</b>
Kedalaman pipa dari permukaan tanah	20
Tingkat aktivitas di sekitar jalur pipa	20
Sarana yang ada di atas jalur pipa	10
Sistem panggilan darurat	15
Pengetahuan masyarakat terhadap jalur pipa	15
Kondisi jalur pipa	5
Frekuensi Patroli	5
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>

- b. Indeks Korosi
- Penilaian korosi dibedakan berdasarkan lingkungan kemungkinan terjadinya korosi
  - Sistem Penilaian sebagai berikut :

**Tabel 4.2 Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Korosi**

<b>Komponen</b>	<b>Bobot</b>
Korosi Atmosfir	20
Korosi Internal	20
Korosi Akibat Material Tertanam	60
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>

## c. Indeks Desain

- Permasalahan desain dan yang mengganggu operasi termasuk kondisi tanah
- Sistem Penilaian sebagai berikut :

Tabel 4.3 Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Desain

Komponen	Bobot
Faktor Keamanan Desain	35
Fatigue	15
Potensi Sentakan (Surge)	10
Sistem Hidrostatik	25
Pergerakan tanah	15
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>

## d. Indeks Kesalahan Pengoperasian

- Kesalahan manusia (human error) dalam melaksanakan pengoperasian peralatan termasuk cara untuk melakukan pencegahannya.
- Sistem Penilaian sebagai berikut :

Tabel 4.4 Bobot Masing-Masing Komponen Indeks Kesalahan Operasional

Komponen	Bobot
Desain	30
Konstruksi	20
Operasi	35
Peralatan	15
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>

e. Faktor Dampak Kebocoran (*Leak Impact Factor*)

Nilai dari Faktor Dampak Kebocoran (LIF) dipakai untuk melengkapi *score index* dengan mewakili nilai *Consequences of Failure*. Semakin tingginya nilai LIF maka semakin tinggi pula konsekuensi dalam suatu sistem, dimana semakin tinggi konsekuensi maka risikonya juga semakin tinggi. Besar LIF dipengaruhi oleh empat factor utama, yaitu tingkat ancaman dari produk, banyaknya volume yang terlepas jika ada kebocoran, jangkauan relatif dari kebocoran, dan lingkungan disekitarnya yang menerima produk yang terlepas, sebagaimana digambarkan dalam persamaan di bawah ini :

- Dinilai berdasarkan jenis fluida yang dialirkan dan kondisi lingkungan sekitar ROW.
- Penilaian dengan cara sebagai berikut :

**Tabel 4.5 Bobot Komponen Bahaya Produk dan Faktor Penyebaran**

Komponen	Bobot
<b>Bahaya Produk :</b>	
- Akut	12
- Kronis	10
<b>Faktor Penyebaran :</b>	
- Liquid Spill	06
- Populasi Penduduk	04

$$\text{Leak Impact Factor} = \left\{ \frac{\text{acute} + \text{chronic}}{\text{spill volume} / \text{population}} \right\}$$

#### 4.5 Sistem Pembobotan dan Skor

Besaran skor dan bobot adalah cerminan terhadap kondisi yang ada pada sistem perpipaan yang memberikan kontribusi terhadap gambaran risiko.

Penentuan skor dan bobot dengan metoda "*semi kuantitatif*". Skor dan bobot adalah kombinasi dari data statistik kegagalan dan tingkat keahlian operator pipa. Semakin tinggi bobot berarti semakin penting komponen atau parameter tersebut terhadap keselamatan operasi pipa. Semakin tinggi bobot berarti semakin efektif tindakan pencegahan/preventif risiko, sehingga skor yang diberikan semakin tinggi. Teknik pemberian skor dan bobot dapat dilakukan dengan mempertimbangkan 2 (dua) kategori utama, yaitu :

1. **Kategori pertama** adalah komponen dan parameter yang dapat menyebabkan kegagalan sistem perpipaan. Semakin besar kemungkinan kegagalan sistem perpipaan yang disebabkan oleh suatu komponen atau parameter semakin besar bobotnya.
2. **Kategori kedua** adalah konsekuensi dari akibat apabila kegagalan sistem terjadi. Kategori kedua adalah potensi hazards yang timbul akibat kegagalan sistem. yang dapat bersifat akut atau kronis.

Kategori pertama merupakan cerminan dari risiko kegiatan operasi dan disain. Kategori kedua mencerminkan risiko yang berasal dari jenis produk, kondisi pelaksanaan kegiatan operasi sistem perpipaan dan kondisi keamanan sepanjang jalur pipa.

Kategori Pertama terdiri atas :

1. *Third Party Index (TPI)*
2. *Corrosion Index (CI)*
3. *Design Index (DI)*
4. *Incorrect Operation Index (IOI)*

Kategori kedua *Leak Impact Factors* terdiri atas :

1. *Product Hazards*
2. *Dispersion Factor*

Secara empiris, hubungan antara faktor-faktor tersebut di atas adalah seperti berikut :

$$\text{Nilai Risiko Relatif} = \text{Jumlah Indeks} / \text{Faktor Dampak Kebocoran}$$

Atau

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

**Keterangan :**

1. *Relative Risk Score/RRS* adalah nilai relative dari efektifitas manajemen risiko terhadap suatu sistem perpipaan.
2. Index Sum adalah jumlah dari keempat index (Indek pihak ketiga, Indek Korosi, Indek Disain dan Indek Kesalahan Operasi). Total nilai maksimum untuk keempat elemen ini adalah 100 point. Semakin efektif pelaksanaan manajemen risiko maka semakin besar nilai yang dicapai (maksimal = 400 point).
3. Leak Impact Factor adalah besaran risiko atau bahaya yang ada dalam operasi pipa baik dari produk yang mengalir atau dampak bocoran terhadap lingkungan sekitarnya.

## BAB 5

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Gambaran Lokasi Penelitian

Terminal Lawe-Lawe adalah salah satu area operasi Pertamina RU V yang terletak di desa Lawe-Lawe, Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Propinsi Kalimantan Timur pada titik 01.18.42" S Lintang dan 116.42.10" E bujur sekitar 20 Km barat daya Balikpapan. Didalam Terminal Lawe-Lawe juga terdapat *Crude Process Plant* milik PT. Chevron Indonesia (d/h UNOCAL Indonesia).

Fungsi utama Pertamina Terminal Lawe-Lawe saat ini adalah menampung *crude oil* dari tanker / kapal yang dibongkar via SPM dan menerima transfer intertank Sepinggan *crude oil* dari *crude process unit* milik Chevron. *Crude Oil* yang diterima tersebut dilakukan settling, pemisahan secara phisic antara minyak dan air, selanjutnya airnya di drain hingga diperoleh *Water Content* max. 0.5 %. Kemudian *Crude Oil* tersebut di transfer ke Kilang Balikpapan sesuai program yang dibuat oleh *Supply Chain & Optimization / Refinery Directorate*.

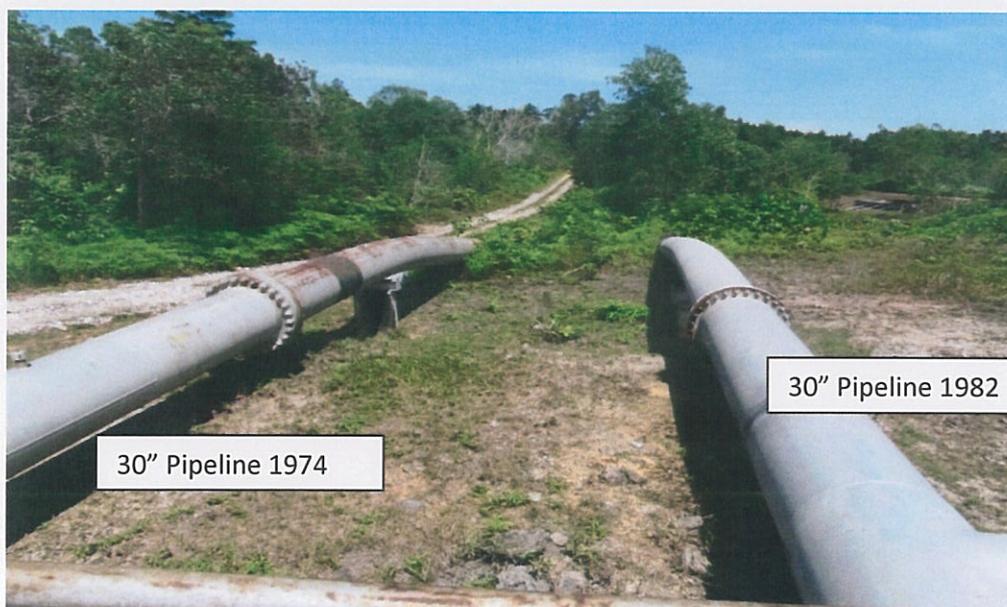


**Gambar 5.1 Tank Storage Area di Terminal Lawe-Lawe.**

Sumber: Dokumentasi Humas *Refinery Unit V*

*Crude* di Terminal-Lawe-Lawe berasal dari berbagai tempat yang disalurkan dari *Single Point Mooring* 150.000 DWT (*Offshore Tanker Terminal*) melalui 2 (dua) jalur pipa bawah laut 30 inchi sepanjang  $\pm$  10 km (*from Pipeline End Manifold SPM to Land Fall Point at Tg. Jumlai*) dan 2 (dua) jalur pipa darat ukuran 30 inchi sepanjang  $\pm$  6,3 km (*from Land Fall Point at Tg. Jumlai to Tie-in Point at Lawe-Lawe Terminal*). Kapasitas bongkar crude import (*discharging rate*) adalah  $\pm$  20.000 bbls/jam (2 jalur).

Dalam pembahasan analisis risiko keselamatan jalur pipa ini, penelitian dilakukan pada kedua jalur pipa darat 30-inch, namun dalam penyajiannya disajikan hanya salah satu jalur lebih dikarenakan kedua jalur pipa tersebut mempunyai spesifikasi desain dan konstruksi yang nyaris sama dengan pola operasi yang sama pula (bergantian). Factor usia yang walaupun berbeda ( Jalur A dibangun tahun 1973 dan Jalur B dibangun tahun 1982) namun karena keduanya sudah berusia lebih dari 25 tahun maka hasil penilaiannya tidaklah berbeda menurut metode indeks yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer.



**Gambar 5.2 Kondisi Kedua Jalur Pipa di sekitar lokasi Tie-in Terminal Lawe-Lawe**

Sumber: Dokumentasi Humas *Refinery Unit V*



**Gambar 5.3 Lokasi *Landfall Point* di Tg. Jumlai**

Sumber : *Google Earth*

## 5.2 Spesifikasi Jalur Pipa Darat

**Tabel 5.1 Data Umum Pipa**

Nominal Pipe Size	30-inch
Material Spec	API 5L X-52
Services	Crude
Design Pressure	272 PSI
MAOP	75 PSI G @ 80°F
MAWP	75 PSI G @ 80°F
Test Pressure	411 PSI
Pipe Tipe	SAW
Wall-thicknes	0,5-inch
Pipe Coating	Coaltar TGF 3
Cathodic Protection	Impressed Current
Radiografi Test	100%
Design Code	ASME B31.4

### 5.3 Spesifikasi Teknis Fluida

Spesifikasi teknis Crude yang melalui kedua jalur Pipa 30 inchi darat Tg. Jumlai - Lawe-Lawe adalah seperti yang terlihat dalam tabel berikut :

**Tabel 5.2 Contoh Spesifikasi Sebagian Crude yang Masuk ke Terminal Lawe-Lawe**

<b>Crude Type</b>	<b>Azeri</b>	<b>Belanak</b>	<b>Cossack</b>	<b>Tapis</b>
Location	Azerbaijan	Indonesia	Australia	Blend Crude
API Gravity @ 60° F	34,8	43,4	<b>47,7</b>	44,6
Sulphur % wt	0,15	<b>0,19</b>	0,045	0,028
Acidity mg KOH/gm	<b>0,42</b>	0,219	0,05	0,13
Wax Content	15,6	23,10	-	22,63
Kinematic Viscosity @ 70°F	05,69	0,81	02,26	01,45
RVP at 100° F, kPa	03,51	03,10	06,20	51,70
Atmospheric Residue (342°C+)	50,1	3,25	22,15	26,90
Flash Point IP 170 °C	< 50	35	< 50	25
Pour Point ASTM D97 °C	30	21	10	21
<i>Nickel Content ppm</i>	3	0,19	< 2	< 1
<i>Vanadium Content ppm</i>	< 2	0,26	< 2	< 1
<i>Arsenic Content (ppb)</i>	n/a	-	n/a	< 1
<i>Mercury Content (ppb)</i>	n/a	322,45	n/a	< 10
<i>Total Nitrogen (Weight %)</i>	-	1.235,30	n/a	189

### 5.4 Keterbatasan Penelitian

Profil risiko keselamatan jalur pipa merupakan gambaran terkini dari kemampuan teknis jalur pipa dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi fluida yang dalam penelitian ini adalah minyak mentah yang diimpor

atau didatangkan dari berbagai lokasi. Gambaran risiko disajikan berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi keselamatan jalur pipa itu sendiri, sesuai model yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer.

Metode penilaian risiko dengan model Muhlbauer didasarkan (berbasis) kepada scenario kemungkinan terburuk (*worst case scenario*) sehingga kemampuan respon atas risiko (*risk response*) dari pihak operator tidak menjadi bahan pertimbangan dalam penilaian risiko pada penelitian ini.

## **5.5 Penilaian Risiko Keselamatan Jalur Pipa**

Penelitian risiko keselamatan terhadap keberadaan jalur pipa 30-inch mulai dari lokasi landfall di Tg. Jumlai hingga lokasi tie-in di Terminal Lawe-Lawe. Penilaian dilakukan dengan cara melakukan evaluasi dan analisa data enjiniring (*completion report* pada waktu pelaksanaan kontruksi dan *commissioning*), kemudian data pemeliharaan yang berhasil dikumpulkan dan data hasil diskusi serta wawancara dengan pihak-pihak terkait yang melaksanakan kegiatan operasional dan pemeliharaan atas asset-asset tersebut seperti : Ka. Terminal Lawe-Lawe, Pengawas Operasional, Petugas Inspeksi & Pemeliharaan serta Petugas Fasilitas Enjiniring yang memantau hasil pemeliharaan asset.

Data yang diperoleh tersebut kemudian digunakan untuk mengisi kolom penilaian berdasarkan metode skor indeks yang dikembangkan oleh W. Kent Muhlbauer ke dalam *spreadsheet system scoring* yang telah dipersiapkan sebelumnya. Berdasarkan penilaian dengan menggunakan *spreadsheet* tersebut, diperoleh hasil-hasil sebagai berikut ini.

### **5.5.1 Tingkat Risiko pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga**

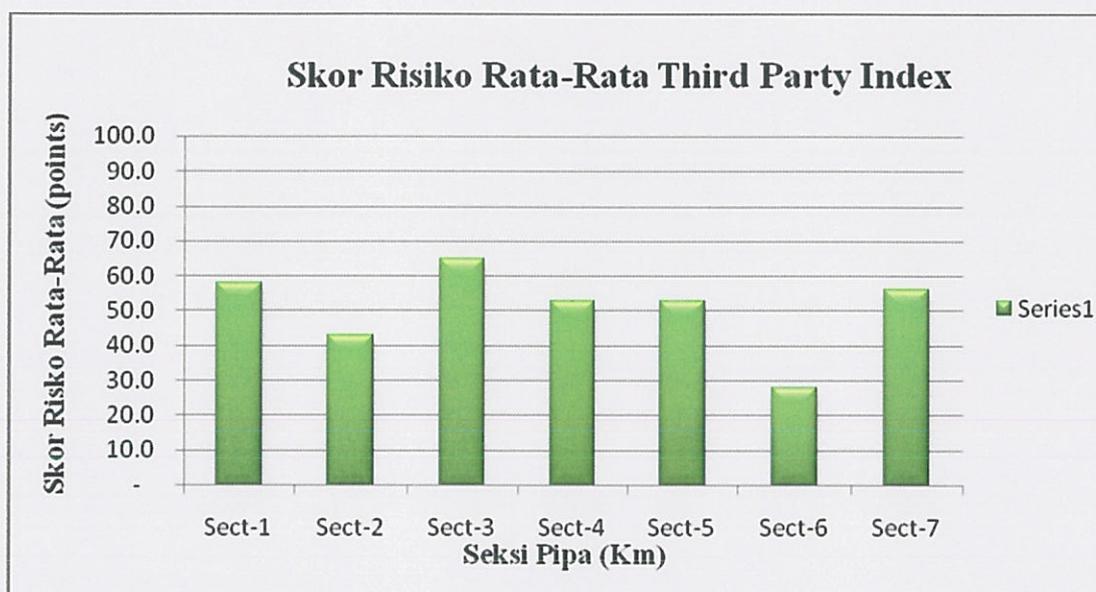
Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh dengan cara memasukkan data penelitian yang didapat ke dalam sistem scoring, maka didapat gambaran risiko sebagai berikut :

Tabel 5.3 Gambaran Risiko pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga

Variabel	Points (pts)	Bobot	Skor Rata-rata	Chance of Survival	Chance of Failure
A. Minimum depth cover	0-20	20%	03,43	03,43 %	16,57 %
B. Activity level	0-20	20%	11,86	11,86 %	06,14 %
C. Aboveground facilities	0-10	10%	07,14	07,14 %	02,86 %
D. Line Locating	0-15	15%	9	9 %	6 %
E. Public education program	0-15	15%	4	4 %	11 %
F. Right of way condition	0-5	5%	3	3 %	2 %
G. Patrol frequency	0-15	15%	12,43	12,43 %	2,57 %
<b>Skor</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>	<b>50,86</b>	<b>49,14 %</b>	<b>49,14 %</b>

Hasil analisis risiko setiap seksi panjang untuk risiko akibat kerusakan oleh pihak ketiga adalah sebagai berikut :

Km	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-6,3
Section	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
Skor	58	43	65	53	53	28	56



**Gambar 5.4. Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Kerusakan Pihak Ketiga**

Sesuai dengan panduan skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer dimana nilai skor maksimum untuk indeks komponen kerusakan oleh pihak ketiga adalah 100 pts, dimana semakin kecil skor (nilai) yang didapat semakin tinggi pula tingkat risikonya. Berdasarkan grafik pada gambar 5.4 di atas, terlihat bahwa nilai terendah untuk komponen indeks kerusakan oleh pihak ketiga ada pada section-6 (skor = 28) sedangkan yang tertinggi adalah pada section-3 (Skor = 65).

Berdasarkan nilai skor rata-rata seperti tersebut di atas, potensi kerusakan jalur pipa oleh pihak ketiga dapat sangat mungkin terjadi pada section-6 (skor 28.0) dimana terdapat *river crossing* dan juga *road crossing*. Ada dua *road crossing* pada section ini, yang pertama adalah *highway road crossing* yang dilalui oleh kendaraan-kendaraan berat dengan frekuensi yang cukup padat (jalan lintas provinsi), dan yang kedua adalah *unimproved road crossing*, yang hanya dilalui oleh kendaraan ringan seperti mobil pickup dan sepeda motor.

### 5.5.2 Tingkat Risiko pada Indeks Korosi

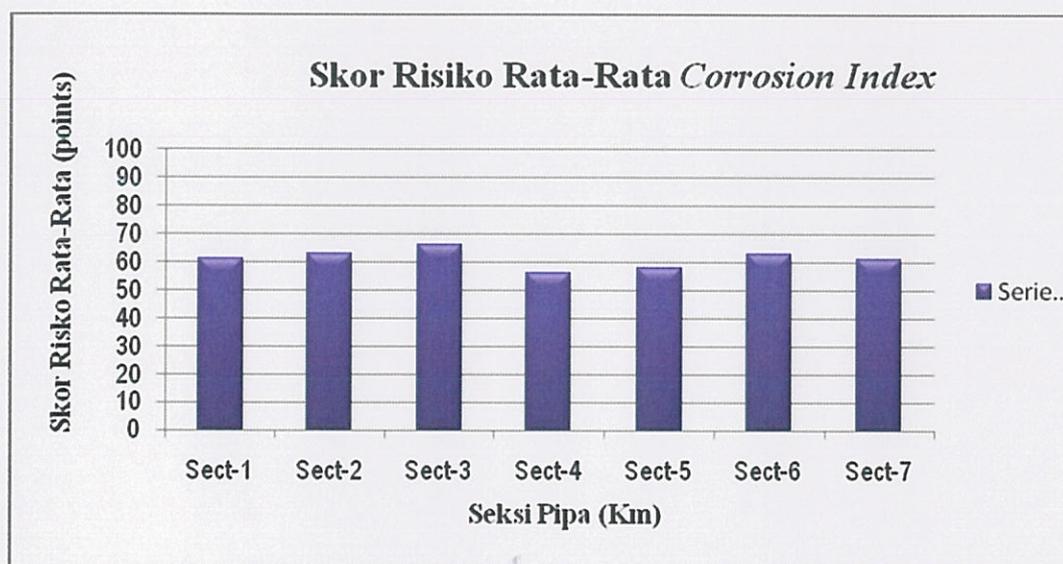
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut :

Tabel 5.4 Gambaran Risiko Akibat Indeks Korosi

<i>Variabel</i>	<i>Points (pts)</i>	<i>Bobot</i>	<i>Skor Rata-rata</i>	<i>Chance of Survival</i>	<i>Chance of Failure</i>
<b>A. Atmospheric Corrosion</b>	0-10	10%			
Atmospheric exposure	0-5	5%	2,43	2,43%	3,57 %
Atmospheric type	0-2	2%	1	1%	1
Atmospheric coating	0-3	3%	1,86	1,86%	1,14%
<b>B. Internal Corrosion</b>	0-20	20%			
Product corrosivity	0-10	10%	7	7%	3%
Internal protection	0-10	10%	3	3%	3%
<b>C. Subsurface Corrosion</b>	0-70	70%			
<b>Subsurface environment</b>	0-20	20%			
- soil corrosivity	0-15	15%	8	8%	12%
- mechanical corrosion	0-5	5%	4	4%	1%
<b>Cathodic protection</b>	0-25	25%			
- effectiveness	0-15	15%	5	5%	10%
- interference potential	0-10	10%	9,29	9,29%	0,71
<b>Coating</b>	0-25	25%			
- fitness	0-10	10%	8	8 %	2 %
- condition	0-15	15%	8,57	8,57 %	6,43%
<b>Skor</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>	<b>61,14</b>	<b>61,14%</b>	<b>38,86%</b>

Hasil analisis risiko pada setiap seksi (km panjang) untuk indeks risiko akibat korosi adalah sebagai berikut :

Km	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-6,3
SECTION	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
Skor	61	63	66	56	58	63	61



**Gambar 5.5. Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Risiko Korosi**

Berdasarkan grafik 5.5 di atas, terlihat bahwa nilai terendah untuk komponen indeks korosi adalah pada section-4 (skor = 56) sedangkan yang tertinggi adalah pada section-3 (Skor = 66).

Sesuai dengan pedoman skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 pts, maka semakin kecil skor yang didapat semakin tinggi tingkat risikonya. Secara umum seluruh jalur pipa darat sudah mengalami pengaruh korosi (skor < 70). Potensi risiko tertinggi untuk komponen korosi adalah pada section-4 (skor = 56) dan section (skor = 58), hal tersebut memungkinkan akibat adanya bagian dari jalur pipa yang tidak di-*buried* pada saat *crossing* dengan sungai kecil (saluran air). Pada kondisi tersebut jalur pipa menggantung (*free span condition*) dan tepat berada di sekitar permukaan air sehingga pada saat debit air meningkat maka pipa harus menghadapi gerusan aliran air sehingga dikhawatirkan dapat merusak *wrapping insulation* ataupun

coating pipa, terbukti *wrapping insulation* yang ada pernah rusak pada sekitar tahun 2008 (Lihat lampiran).

### 5.5.3 Tingkat Risiko pada Indeks Desain

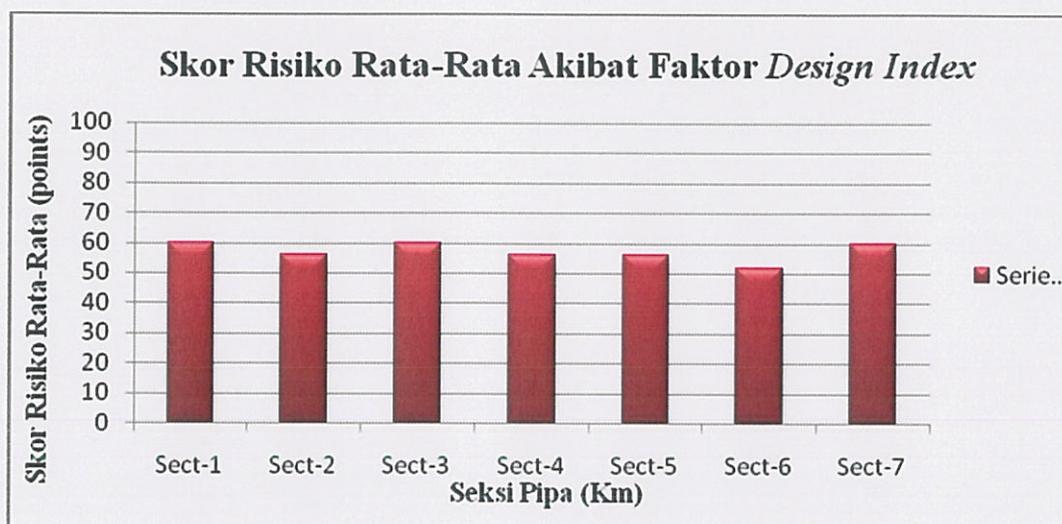
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan didapat gambaran risiko sebagai berikut :

**Tabel 5.4 Gambaran Risiko pada Komponen Indeks Disain**

<i>Variabel</i>	<i>Points (pts)</i>	<i>Bobot</i>	<i>Skor rata-2</i>	<i>Chance of Survival</i>	<i>Chance of failure</i>
<i>A. Pipe safety factor</i>	0-35	35%	14	14 %	21%
<i>B. Fatigue</i>	0-15	15%	10	10 %	5%
<i>C. Surge potential</i>	0-10	10%	5	5 %	5%
<i>D. Integrity Verification</i>	0-25	25%	15	15 %	10%
<i>E. Soil movement</i>	0-15	15%	13,14	13,14 %	02,96%
<b>Skor</b>	<b>100</b>	<b>100%</b>	<b>57,14</b>	<b>57,14 %</b>	<b>42,96%</b>

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

<b>Km</b>	0-1,0	1,0-20	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-6,3
<b>Section</b>	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
<b>Skor</b>	60	56	60	56	56	52	60



**Gambar 5.6 Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Komponen Indeks Disain**

Dari gambar 5.6 di atas, terlihat bahwa nilai terendah untuk komponen indeks desain adalah pada section-6 (skor = 52) sedangkan yang tertinggi adalah pada section-1, section-3 dan section-7 (Skor = 60).

Berdasarkan panduan skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 point, dengan pengertian semakin kecil skor komponen indeks yang didapat semakin tinggi tingkat risikonya atau semakin besar pengaruh faktor tersebut terhadap kemungkinan kegagalan jalur pipa. Dari hasil penelitian nilai skor indeks rata-rata yang cukup rendah (skor rata-rata yang diperoleh pada keseluruhan section jalur pipa adalah 57,14). Hal tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor, namun yang faktor paling dominan adalah akibat terjadinya perubahan pola tekanan operasional yang diijinkan (MAOP) dari rencana desain semula (operational pressure sesuai desain awal adalah 75 PSIG selanjutnya menjadi  $\pm 113$  PSIG) yang berakibat pada menurunnya nilai *system safety factor*.

#### 5.5.4 Tingkat Risiko pada Indeks Kesalahan Operasional

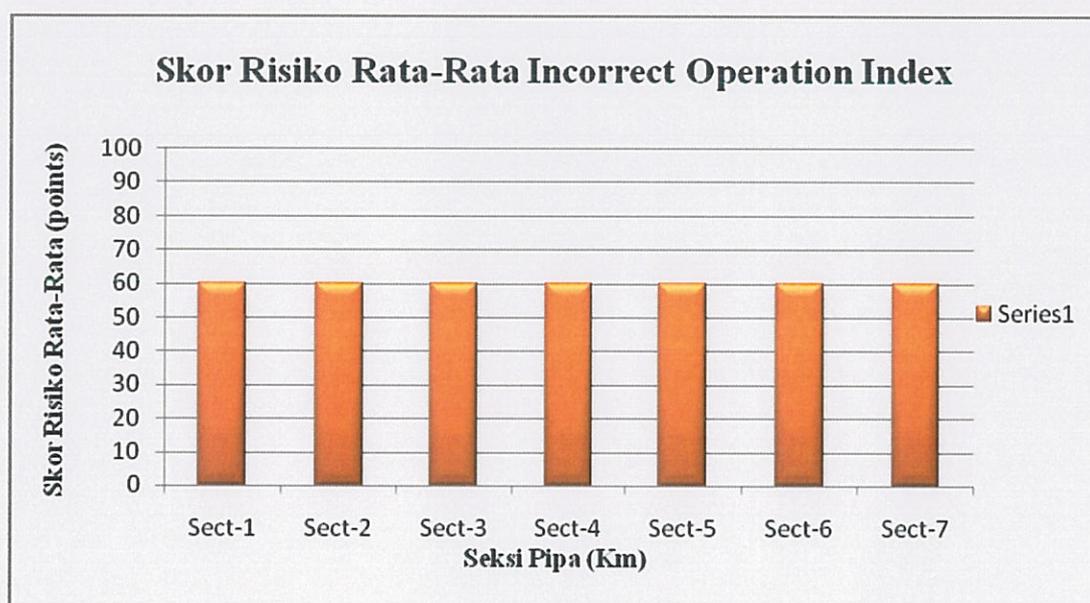
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring akan diperoleh gambaran risiko akibat faktor kesalahan operasional sebagai berikut :

Tabel 5.5 Gambaran Risiko pada Indeks Kesalahan Operasional

<i>Variabel</i>	<i>Points (pts)</i>	<i>Bobot</i>	<i>Skor rata-rata</i>	<i>Chance of Survival</i>	<i>Chance of failure</i>
<b><i>A. Design</i></b>	0-30	30%			
Hazard identification	0-4	4%	4	4%	0
MAOP potential	0-12	12%	0	0%	12%
Safety system	0-10	10%	3	3%	7%
Material selection	0-2	2%	2	2%	0
Checks	0-2	2%	2	2%	0
<b><i>B. Construction</i></b>	0-20	20%			
Inspection	0-10	10%	10	10%	0
Material	0-2	2%	2	2%	0
Joining	0-2	2%	2	2%	0
Backfill	0-2	2%	2	2%	0
Handling	0-2	2%	2	2%	0
Coating	0-2	2%	2	2%	0
<b><i>C. Operations</i></b>	0-35	35%			
Procedure	0-7	7%	7	7%	0
SCADA/communications	0-3	3%	0	0%	3%
Drug testing	0-2	2%	0	0%	2%
Safet Programs	0-2	2%	2	2%	0
Survey/maps/records	0-5	5%	5	5%	0
Training	0-10	10%	7	7%	3%
Mechanical error Preventer	0-6	6%	1	1%	5%
<b><i>D. Maintenance</i></b>	0-15	15%			
Documentation	0-2	2%	2	2%	0
Schedule	0-3	3%	2	2%	1%
Procedure	0-10	10%	5	5%	5%
Total Skor	100	100%	60	60%	40%

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

Km	0-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-6,3
Section	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
Skor	60	60	60	60	60	60	60



**Gambar 5.7 Grafik Skor Risiko Rata-Rata pada Indeks Kesalahan Operasi**

Berdasarkan grafik pada gambar 5.7 di atas, terlihat bahwa nilai komponen indeks akibat kesalahan operasional adalah sama pada seluruh section (Skor = 60).

Sesuai dengan panduan skoring yang dikeluarkan oleh W. Kent Muhlbauer bahwa nilai skor maksimum 100 point. Dari hasil penelitian diperoleh nilai komponen indeks akibat kesalahan operasional adalah sama besar (skor = 60). Nilai yang sama pada seluruh section adalah karena sifat operasional yang sama pada jalur pipa tersebut

Perolehan skor yang relatif tidak terlalu tinggi (<70) adalah lebih terkait kepada pola operasional yang mengijinkan tekanan operasi mencapai maksimum (MAOP) sesuai desain awal pada saat jalur pipa tersebut dibangun.

### 5.5.5 Jumlah Skor Indeks Keseluruhan (Index of Sum) pada Setiap Section

Jumlah nilai atau skor indeks rata-rata secara keseluruhan adalah sebesar 229,143 dengan rincian nilai skor indeks per masing-masing section adalah sebagai berikut :

Section	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
Score	239	222	251	225	227	203	237

Berdasarkan rincian nilai skor untuk masing-masing section tersebut di atas, terlihat bahwa section-7 mempunyai nilai skor keseluruhan (total score) yang paling rendah (203) yang berarti section tersebut mempunyai peluang kegagalan yang paling besar.

### 5.5.6 Faktor Dampak Kebocoran

Perhitungan dampak kebocoran diperoleh dilakukan untuk mengetahui konsekuensi yang akan timbul apabila terjadi kebocoran. Faktor yang diperhitungkan dalam melakukan penilaian ini adalah :

- Bahaya produk yang mengalir di dalam pipa.
- Faktor penyebaran produk yang bocor yang dapat menyebabkan kerusakan / pencemaran lingkungan.

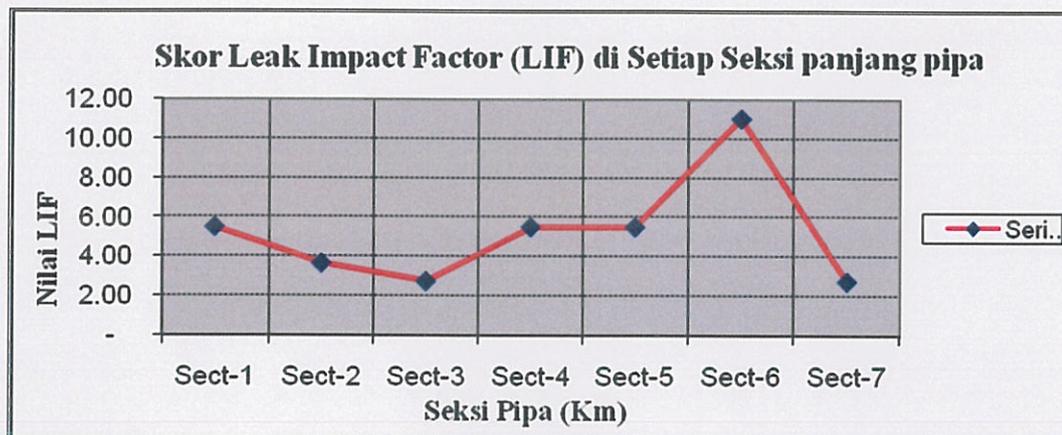
Berdasarkan hasil pengolahan data dengan memasukkan data-data yang didapat ke dalam sistem skoring, gambaran risiko kebocoran adalah sebagai berikut:

Tabel 5.6 Gambaran Risiko pada Faktor Dampak Kebocoran

Variabel	Points (pts)	Skor rata-rata
<b>A. Product hazard (PH)</b> (Accute + Chronic hazard)	0-22	
Accute Hazards		
1. Nf	0-4	3
2. Nr	0-4	0
3. Nh	0-4	1
Total (Nf + Nr + Nh)		1
Chronic hazard (RQ)	0-10	6
Sum product hazard (PH)		<b>11</b>
<b>B. Dispersion Factor</b> = (Spill score/population score)		
1. Vapor spill		3,00
2. Population density		1,28
Dispersion factor		2,33
<b>Leak Impact Factor rata-rata</b> (LIF) = Produk Hazard / Faktor Dispersi		<b>4,71</b>

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

Km	0-1	1-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	5,0-6,0	6,0-6,3
Section	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
LIF	5,50	3,67	2,75	5,50	5,5	11,0	2,75



**Gambar 5.8 Grafik Skor Leak Impact Faktor pada Setiap Section**

Skor dari *leak impact factor* yang cukup tinggi (skor = 11) pada section-6 berdampak pada semakin tinggi risiko relatif yang dihadapi oleh section ini, hal tersebut akibat faktor kedekatan koridor (ROW) jalur pipa dengan daerah perumahan (daerah pemukiman). Semakin banyak populasi penduduk di sekitar pipa maka semakin tinggi risiko dari perpipaan tersebut dari kebocoran yang diakibatkan oleh aktifitas mereka.

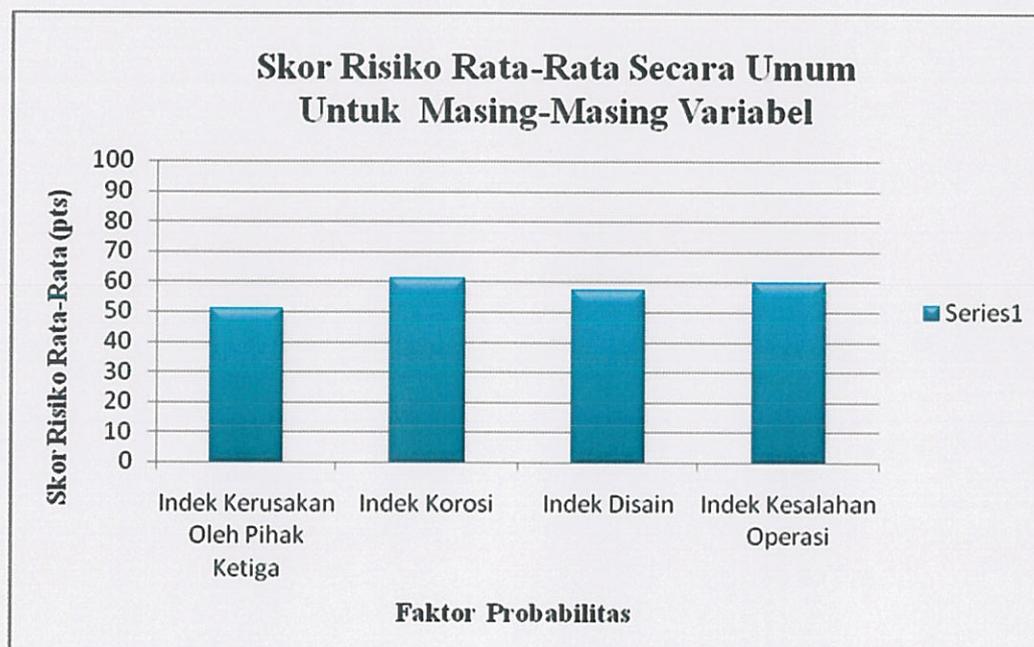
### 5.5.7 Nilai Risiko Relatif

Berdasarkan hasil analisis pada setiap indeks dengan memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi perpipaan terhadap risiko keselamatan ditinjau dari tingkat risikonya, diperoleh gambaran risiko secara umum sebagai berikut.

**Tabel 5.6. Gambaran Risiko Secara Umum**

Variabel	Skor Rata-2	Bobot	Skor Maks.	Chance of Survival	Chance of Failure
Indek Kerusakan Oleh Pihak-III	50,86	100%	100	50,86%	49,14%
Indek Korosi	61,14	100%	100	61,14%	38,86%
Indek Disain	57,14	100%	100	57,14%	42,86%
Indek Kesalahan Operasi	60,00	100%	100	60%	40,00%
Total indek probabilitias	229,14	100%	400	57,29%	42,71%

Berikut ini adalah gambaran skor risiko secara umum berdasarkan tabel 5.8 pada halaman sebelumnya, yang disajikan dalam bentuk grafik.



**Gambar 5.9** Grafik Mengenai Gambaran Skor Risiko Secara Umum

Nilai risiko relatif secara keseluruhan yang diperoleh berdasarkan pembagian antara indeks summary dengan factor dampak kebocoran adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Relative Risk Score rata-rata} &= (\text{Index Sum}) / (\text{Leak Impact Factor}) \\
 &= (229,14) / (4,71) \\
 &= 48,61
 \end{aligned}$$

Sedangkan nilai risiko relatif risiko untuk masing- masing section jalur pipa adalah sebagai berikut :

**Tabel 5.7. Gambaran Risiko pada Setiap Section Pipa**

	Sect-1	Sect-2	Sect-3	Sect-4	Sect-5	Sect-6	Sect-7
Sum	239	222	251	225	227	203	237
LIF	5.5	3.7	2.8	5.5	5.5	11.0	2.8
RRS	43.45	60.49	91.27	40.91	41.27	18.45	86.18

Dari Tabel 5.7. di atas, dapat dilihat bahwa nilai risiko relatif terendah adalah pada *Section-6* (nilai RRS = 18.45) dari jalur pipa ukuran 30-inchi antara Lawe-Lawe dan Tg. Jumlai (Km 5,000 – Km 6,00) tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa *section* tersebut mempunyai kemampuan paling rendah dalam menahan konsekuensi atau dikategorikan ke dalam *high risk*.

#### **5.6. Manajemen Risiko Jalur Pipa**

Untuk meminimalkan risiko yang ada pada jalur pipa ini ataupun jalur pipa lainnya perlu dibuatkan sistem pengelolaan risiko jalur pipa ataupun fasilitas lainnya, agar kehandalan fasilitas dimaksud dapat ditingkatkan.

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### 6.1 Kesimpulan Penelitian

Dari hasil Penelitian dan Pembahasan yang telah dilakukan, maka sesuai dengan pertanyaan penelitian di awal penulisan tesis ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Komponen risiko yang paling tinggi kontribusinya terhadap kemungkinan kegagalan jalur pipa darat ukuran 30 inchi antara Lawe-Lawe hingga Tg. Jumlai adalah komponen indeks kerusakan oleh pihak ketiga. Komponen indeks kerusakan ini hanya mendapatkan nilai atau skor sebesar 50,86 (dari maksimum nilai 100), urutan berikutnya adalah komponen indeks desain mendapatkan nilai 57,14 kemudian komponen indeks kesalahan operasional mendapatkan nilai 60,00 dan terakhir adalah komponen indeks korosi mendapatkan nilai 61,14.
- b. Segmen pipa (*pipe section*) yang paling berisiko untuk mengalami kegagalan atau kerusakan paling tinggi adalah pada *section-6*. Pada section ini berbagai potensi *hazard* terhadap keberadaan jalur pipa 30 inchi ada beberapa (lihat Lampiran-2), antara lain :
  - *Highway road crossing* pada Km 5,150
  - *River Crossing (un-burried pipe)* pada Km 5,300
  - *Unimproved road crossing* pada Km 5,750, serta
  - Pemukiman penduduk yang cukup padat berjarak 50 – 150 m dari ROW pipa di Km 5,350 sampai dengan Km 5,650
- c. Faktor dampak kebocoran tertinggi terdapat pada *section- 6* juga, yaitu dengan nilai / skor sebesar 11,0 sedangkan factor dampak kebocoran dengan

nilai terendah adalah pada section-7 dengan nilai / skor sebesar 2.8. Nilai atau skor tersebut berarti bahwa pihak pengelola (operator) pipa dalam hal ini manajemen Terminal Lawe-Lawe harus memperhatikan dan mengawasi secara lebih seksama pada segmen pipa (*section-6*) ini, agar dapat melakukan tindakan pecegahan dan penanggulangan secara cepat apabila terjadi kebocoran.

## 6.2 Saran-saran

Untuk meningkatkan kehandalan serta mengurangi risiko kegagalan pada jalur pipa 30 inchi antara Lawe-lawe hingga Tg. Jumalai, ada beberapa saran yang peneliti rekomendasikan kepada perusahaan untuk dapat dilakukan, yaitu antara lain dengan :

- a. Melakukan program inspeksi secara lebih rutin dan terjadwal (setiap 1 atau 2 tahun sekali) untuk memeriksa kondisi fisik material pipa akibat usia yang cukup tua (*ageing*). Untuk pemeriksaan kondisi fisik material pipa disarankan menggunakan metode "*intelligent pigging*".
- b. Melakukan kegiatan pengawasan dan inspeksi yang lebih ketat pada segmen jalur pipa yang memunyai risiko paling tinggi yaitu pada SECTION-6.
- c. Memasang kembali patok-patok penanda keberadaan *Right of Way* (ROW) jalur pipa, dan memperbanyak tanda peringatan (*warning*) keberadaan ROW terutama pada section-6.
- d. Melakukan pemeliharaan fasilitas proteksi korosi (*impressed current system*) secara lebih rutin, mengingat keberadaan jalur pipa lainnya yang terlalu dekat pada *section-section* tertentu.
- e. Sebaiknya memasang fasilitas instrumentasi yang dapat memantau secara langsung apabila ada gangguan atau kebocoran pada bagian jalur pipa yang tidak tertanam (*unburied pipe*).
- f. Meningkatkan pengetahuan masyarakat sekitar jalur pipa, hal ini dapat dimasukkan ke dalam program *Corporate Social Responsibility* (CSR) Perusahaan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Amirat, A.; Mohamed-Chateaneuf; Chaoui, K. (2006). Reliability assessment of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual stress, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Elsevier.
2. ASME B31.4 (2003). Pipeline Transportation System for Liquid Hydrocarbon and other Liquid.
3. Candraasih, D. ; Eiman. Poerwedi, Y.; Raharjo, G. N.; Santosa, A.B.; Sitanggang, B.; Sukmana, W. (2009). *Centralized Crude Terminal Study*, Engineering Center – PT. Pertamina (persero). Jakarta Nippon Kaiji Kyokai, 2009. Risk Assessment Guidelines, Japan.
4. Calmarine, PT. (2011). Site Assessment Lawe-Lawe Project.
5. D'Atri, María Fernanda. (2009). Improving Pipeline Risk Models by Using Data Mining Techniques, Metro GAS AS, Argentina.
6. DnV RP F107, Risk Assesment of Pipeline Protection (March 2001).
7. Djohansyah, Mitjon. (2002). Kajian Resiko pada 12 Jalur Pipeline dari Kilang UP IV sampai dengan Terminal Tanki Penimbun di Area 70. Tesis Program Magister K3, Universitas Indonesia. Depok
8. David Mc Donald (2004). Practical Hazops, Trips & Alarms – (Practical Professional) Elsevier. Oxfodr – MA..
9. Fiona, E. Porter; Sawigny, M; Muhlbauer, W.K. (2004). A Risk Assessment Model for Pipelines Exposed to Geohazards, Proceeding of International Pipeline Conference 2004, Calgary, Alberta – Canada.
10. FAA (2009). Risk Management Handbook, US Department of Transportation.
11. GAO-02-1035 Hazard Mitigation : Proposed Changes to FEMA's Multihazard Mitigation Programs Present Challenges. Washington DC, (2002).
12. Goodland, Robert - editor, (2005). Oil & Gas Pipeline, Social and Environment Impact : State of the Art. IAIA 2005 Conference, USA.
13. Hopkins, Pill (2006). Oil and Gas Pipeline : Yesterday & Today, Pipeline System Division – American Society of Mechanical Engineer.
14. Jusoh, Iberahim (1998). Onshore Pipeline and Consequence Assessment, *Jurnal Mekanikal*, Universiti Teknologi Malaysia.
15. Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 tentang Keselamatan Kerja Pipa Penyalur Minyak dan Gas Bumi.

16. Larivé, Jean-François (2005). 35-years Pipeline Incident Statistic – A Lesson Learn, CONCAWE.
17. Rausand, Marvind. (2005). Hazard and Operability Study, Department of Production and Quality Engineering, NUST – Norway.
18. Lees, P. Frank (1996). Loss Prevention in the Process Industries : Hazard Identification, Assessment and Control. 2<sup>nd</sup> Edition. Butterworth-Heinemann Publisher. UK.
19. Lestari, Fatma; Nurdiansyah, Wahid (2007). Potensi bahaya Kebakaran dan Ledakan Pada Tanki Timbun BBM Jenis Premium di Depot X Tahun 2010, Jurnal Makara Universitas Indonesia.
20. Nayyar, Mohinder L. (2000). Piping Handbook, 7<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, New York.
21. Muhlbauer, W.K. (2004). Pipeline Risk Management Manual, 3rd Edition. Gulf Professional Publishing.
22. Muhlbauer, W.K. (2009). Pipeline Risk Assessment in IMP, Webminar, Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration – US Department of Transportation.
23. Noorhazilan, M. Nor Apaziah, Nordin Yahya, Mohd. Nazmi & Zaabah (2010). Pipeline Integrated Corrosion Assessment Tools for Structure Integrity. Malaysian Journal of Civil Engineering.
24. PT. SAC Nusantara (1982). Completion Report of Lawi-Lawi 30” Onshore Pipeline Project.
25. Sudarta, I Made (2008). Analisis Risiko Keselamatan Pada Pipa Transmisi Natural Gas di PT. XYZ dengan Menggunakan Pemodelan dari W. Kent Muhlbauer, Tesis Program Magister K3 Fakultas Kesehatan Masyarakat – Universitas Indonesia, Depok.
26. Taufik, Ahmad (2002). Risk Assessment dengan Metode Index. *Engineering Course Program*, ITB. Bandung
27. Wiratmaja, IGN Puja. Dewabrata, Fadhil. Akmal, Jamiatul (2010). Studi Parameter dan Kondisi Anomali dalam Analisis Resiko Pipa Penyalur Bawah Laut, Paper Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2010, Palembang.
28. Wisianto, Arie; Putra, Satya A. (2002). Evaluation of risk assessment methods; South Sumatra gas pipeline case study, Gas Expo 2002 – Brunei.
29. Hasil browsing internet :
  - <http://qualitycenter.wordpress.com/about/fmea/> browsing pada tanggal 04 Mei 2012.
  - <http://www.migas.esdm.go.id/tracking/berita-kemigasana/detil/263148/Kebocoran-Pipa-Belum-Teratasi> browsing tanggal 20 April 2012.
  - <http://beritapagi.co.id/read/2012/04/pipa-minyak-pertamina-meledak.html> browsing tanggal 20 April 2012.

- <http://regional.kompas.com/read/2009/06/03/16474468/Pipa.Pertamina.Bocor.Hambat.Produksi.257.000.Barrel.Minyak> *browsing tanggal 20 April 2012.*
- [www.ntnu.no/ross/slides/hazop.pdf](http://www.ntnu.no/ross/slides/hazop.pdf) *browsing tanggal 27 April 2012.*
- <http://corrosion-doctors.org/Pipeline/Pipeline-failures.htm> *browsing tanggal 21-05-2012*
- <http://www.gbra.org/documents/hazardmitigation/update/Section15-PipelineFailure.pdf> *browsing tanggal 15-May-2012*
- <http://www.globalccsinstitute.com/publications/co2-liquid-logistics-shipping-concept-llsc-safety-health-and-environment-she-report-35> *browsing tanggal 15-May-2012.*
- <http://keystonepipeline-l.state.gov/documents/organization/182068.pdf> *browsing tanggal 01 Mei 2012.*
- [http://www.comcare.gov.au/safety\\_and\\_prevention/working\\_environment/major\\_hazard\\_facilities](http://www.comcare.gov.au/safety_and_prevention/working_environment/major_hazard_facilities) *download bulan Februari 2012.*

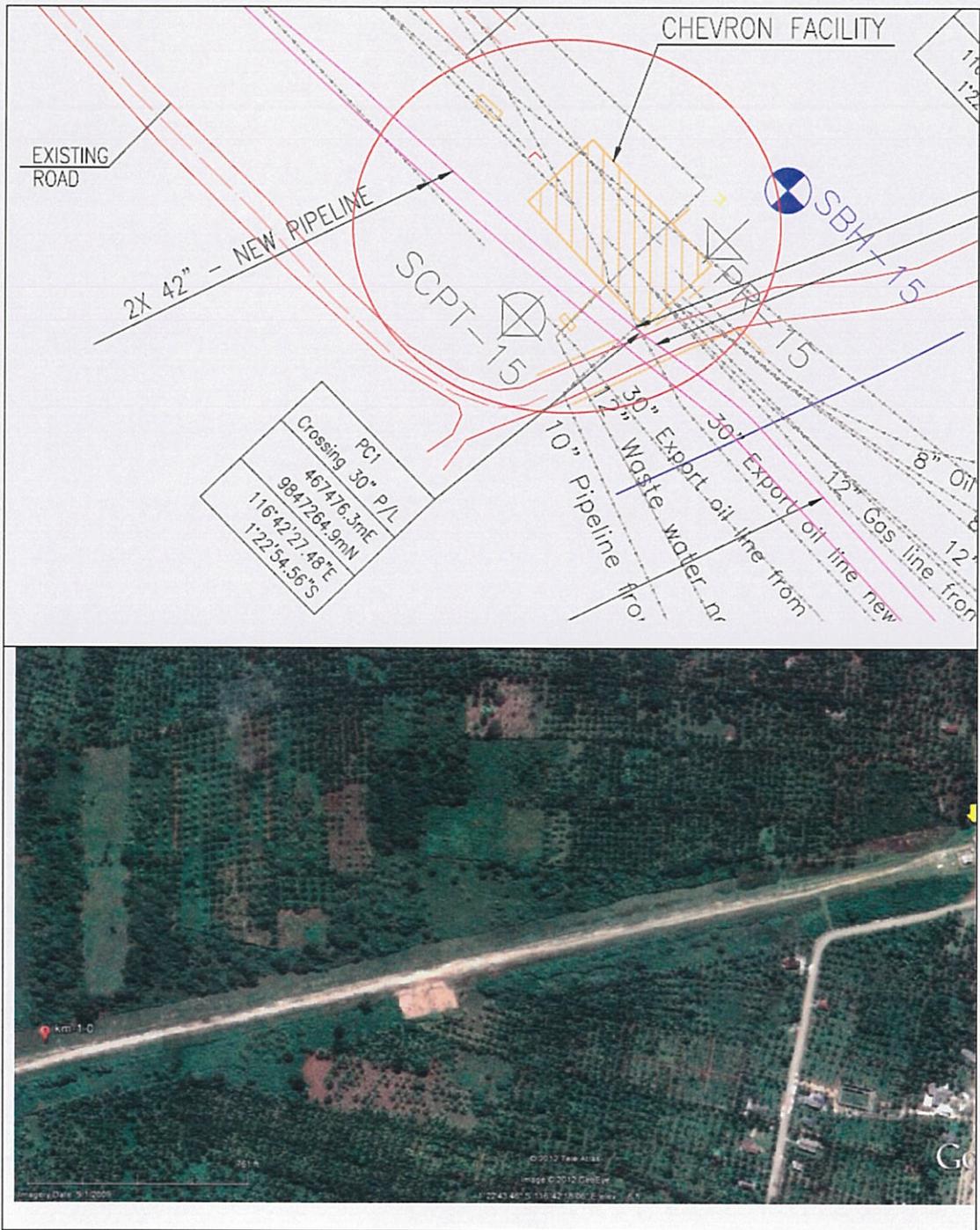
# Lampiran-Lampiran

### **Lampiran 1 : Daftar Data dan Dokumen Pendukung Penelitian**

<b>No.</b>	<b>Judul Dokumen</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Tipe</b>
1.	<i>PIPELINE ROUTE Tg. Jumlai to Lawe-Lawe terminal</i>	<i>No. TPT GA-681-CMEI A0 (1997)</i>	<i>Drawing</i>
2.	<i>P&amp;ID Crude Oil Storage and Transfer System</i>	<i>No. FE GA-339-M A1 (2005-Redrawing)</i>	<i>Drawing</i>
3.	<i>P&amp;ID Crude Oil Storage and Transfer System</i>	<i>No. 1941-A101 (1981)</i>	<i>Drawing</i>
4.	<i>Final Report Onshore &amp; Offshore Soil Investigation</i>	<i>No. 010-PTC- PTM-11 (2011)</i>	<i>Report</i>
5.	<i>DIMET – Cathodic Protection Final Commissioning Report for 30-inch Pipeline from Tg. Jumlai to Lawe-Lawe Terminal</i>	<i>(1983)</i>	<i>Report</i>
6.	<i>Completion Report of Lawi-Lawi 30-inch Onshore Pipeline Project – PT. SAC Nusantara</i>	<i>(1982)</i>	<i>Report</i>
7.	<i>30” Dia. Pipeline Onshore - Specification for Coating and Wrapping of Steel Piping</i>	<i>No. PSP-A 02-05-003 (1982)</i>	<i>Report</i>
8.	<i>Installation, Welding &amp; Hydrotesting</i>	<i>No. PSP-A 02-02-005 (1982)</i>	<i>Report</i>
9.	<i>Hasil Kajian Kerusakan Wrapping Pipa 30” NPS dan Kerusakan Gorong-Gorong Lawi-Lawi</i>	<i>No. 063/E15121/2008-S0 tanggal 04 Juli 2008</i>	<i>Memo</i>
10.	<i>Perbaikan Pipa 30-inch Lawi-Lawi oleh PT. Yasa Industri</i>	<i>No. 102/E15121/2008-S0 tanggal 25 Juli 2008</i>	<i>Memo</i>

**Lampiran 2 : Data Lapangan Setiap Section Jalur Pipa ukuran 30-inchi antara Lawe-Lawe dan Tg. Jumlai.**

<b>DATA LAPANGAN SETIAP SECTION PIPA SECTION 1 (Km 0.0 – Km 1.0)</b>	
<p><b>Kondisi Umum Pipa :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diameter Pipa 30-inch</li> <li>• Pipa tertanam <math>\pm</math> 0.9 meter di bawah permukaan tanah.</li> </ul>	
<p><b>Kondisi ROW :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lintasan ROW jelas terlihat walaupun namun tidak dipagari.</li> <li>• Lintasan ROW sebagian besar ditumbuhi vegetasi rumput.</li> <li>• Ada <i>Warning</i> ROW.</li> </ul>	
<p><b>Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pipeline Crossing</i> dengan 12" Gas Pipeline, 12" Oil Pipeline, 12" Waste Water Pipeline.</li> <li>• <i>Pipeline Paralell</i> dengan 10" Gas Pipeline, 8" Gas Pipeline, 6" Gas pipeline dan 30" Crude pipeline.</li> <li>• Aktivitas masyarakat di sekitar pantai.</li> </ul>	



## SECTION 2 (Km 1.0 – Km 2.0)

### Kondisi Umum Pipa :

- Diameter Pipa 30-inch
- Pipa tertanam  $\pm$  0.9 meter di bawah permukaan tanah.



### Kondisi ROW :

- Lintasan ROW jelas terlihat walaupun namun tidak dipagari.
- Lintasan ROW sebagian besar ditumbuhi vegetasi rumput.
- Ada *Warning* ROW.

### Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :

- Terdapat *Crossing* dengan *Unimproved Road* di km 1.550
- *River Crossing* di km 1.910





### SECTION 3 (Km 2.0 – Km 3.0)

#### Kondisi Umum Pipa :

- Diameter Pipa 30-inch
- Pipa tertanam  $\pm$  0.9 s/d 1 meter



#### Kondisi ROW :

- Lintasan ROW jelas terlihat walaupun namun tidak dipagari.
- Lintasan ROW sebagian besar ditumbuhi vegetasi rumput.
- Tidak ada *Warning* ROW.

#### Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :

- Tidak ada



**SECTION 4 (Km 3.0 – Km 4.0)**

**Kondisi Umum Pipa :**

- Diameter Pipa 30-inch
- Pipa tertanam  $\pm$  0.9 – 1 meter.
- *Wrapping Isolation* terdapat pada bagian river crossing di km 3.350



**Kondisi ROW :**

- Lintasan ROW jelas terlihat, namun tidak dipagari (sebagian patok penanda sudah banyak yang hilang).
- Lintasan ROW sebagian besar ditumbuhi vegetasi rumput.
- Tidak ada *Warning* ROW.

**Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :**

- *Unburied pipe* pada *River Crossing* di km 3.350



## SECTION 5 (Km 4.0 – Km 5.0)

### Kondisi Umum Pipa :

- Diameter Pipa 30-inch
- Pipa tertanam  $\pm$  0.9 – 1 meter.
- *Wrapping Isolation* terdapat pada bagian river crossing di km 4.550



### Kondisi ROW :

- Lintasan ROW jelas terlihat, namun tidak dipagari
- Sebagian besar berupa tanah tanpa vegetasi.
- Tidak ada *Warning* ROW.

### Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :

- *Unburied pipe* pada *River Crossing* di km 4.550



<b>SECTION 6 (Km 5.0 – Km 6.0)</b>	
<p><b>Kondisi Umum Pipa :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diameter Pipa 30-inch</li> <li>• Pipa tertanam ± 0.9 – 1.2 meter.</li> <li>• <i>Wrapping Insulation pipe</i> di bagian river crossing</li> <li>• Pipa di lokasi <i>Highway Road Crossing</i> dilindungi dengan <i>Concrete Slab</i>.</li> </ul>	
<p><b>Kondisi ROW :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lintasan ROW jelas terlihat, namun tidak dipagari (sebagian patok penanda sudah banyak yang hilang).</li> <li>• Lintasan ROW tidak tertutup oleh vegetasi.</li> </ul>	
<p><b>Jenis Hazard di sekitar Jalur Pipa :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Highway Road Crossing</i> pada <i>km 5.150</i> yang dilalui kendaraan umum dan kendaraan berat lintas propinsi.</li> <li>• <i>River Crossing</i> di <i>Km 5.300</i>, pipa tidak <i>diburried</i>.</li> <li>• Ada <i>Unimproved Road Crossing</i> pada <i>km 5.840</i> yang dilalui kendaraan ringan (sepeda motor dan mobil ukuran kecil)</li> <li>• Pipa tidak di-<i>burried</i> pada <i>River Crossing</i> di <i>km 5.750</i></li> <li>• Pemukiman berjarak 50 m s/d 150 m dari ROW pipa di <i>km 5.350 – 5.650</i></li> <li>• <i>Paralel pipe with 30" Crude pipeline, 12" oil pipeline, 12" gas pipeline, 20" crude pipeline, 12" waste pipeline and 10" gas pipeline</i></li> </ul>	



## SECTION 7 (Km 6.0 – Km 6.3)

### Kondisi Umum Pipa :

- Diameter Pipa 30-inch
- Pipa tertanam  $\pm$  0.9 – 1 meter.
- Pada bagian yang ter-*exposed* kondisi coating terlihat masih bagus.



### Kondisi ROW :

- Lintasan ROW jelas terlihat, namun tidak dipagari (sebagian patok penanda sudah banyak yang hilang).
- Lintasan ROW tidak tertutup oleh vegetasi, kecuali sebagian ditumbuhi rerumputan.
- Jalur Pipa membelok di *km 6.150*
- Ada *Warning ROW*.



### Potensi Hazard di sekitar Jalur Pipa :

- *Unimproved Road Crossing* di *km 6.160*
- *Pipe exposed* di sekitar lokasi *Tie-In*.
- *Parallel pipe with 30" Crude pipeline, 12" oil pipeline, 12" gas pipeline, 20" crude pipeline, 12" waste pipeline and 10" gas pipeline*
- *Pipe on pipe crossing* (dengan pipa 1 x 4" PVC line dan 2 x 12" Gas Pipeline)



*Lampiran 3 : Formulir Pengumpulan Data Sekunder Penelitian*

**FORM PENGUMPULAN DATA PENELITIAN**

NO.	PERTANYAAN	DATA
1.	<p>Apakah tersedia informasi mengenai :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• spesifikasi pipa</li> <li>• disain awal pipa</li> <li>• layout pipa</li> <li>• peta jalur pipa</li> <li>• informasi karakteristik fluida yang mengalir pada jalur pipa</li> <li>• data-data pengoperasian pipa : tekanan maksimum, ketebalan pipa pada tahap disain, dll</li> <li>• karakteristik tanah, kondisi tanah di jalur pipa</li> <li>• data-data curah hujan di sekitar jalur pipa (data-data topografis)</li> </ul>	<p>√ √ √ √ √ √ √ √</p>
2.	<p>Apakah pernah dilakukan analisa bahaya &amp; risiko pipa (HAZOPS atau yg lainnya)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pada tahap disain</li> <li>• pada tahap operasi</li> <li>• kapan terakhir dilakukan</li> <li>• laporan hasil analisa bahaya &amp; risiko</li> </ul>	<p>n/a √ &gt; 10 thn yl -</p>
3	<p>Apakah dilakukan &amp; seberapa sering inspeksi berkala berikut beserta laporan terakhir</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• inspeksi kondisi fisik pipa</li> <li>• inspeksi tes hidrostatis, (utk mengetahui ketebalan pipa)</li> <li>• inspeksi rutin pipa (safety patrol)</li> </ul>	<p>1997 n/a &gt; 3 x/week</p>
4	<p>Apakah tersedia informasi prosedur pipa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prosedur operasi</li> <li>• prosedur pemeliharaan</li> <li>• prosedur jika ada kerusakan</li> <li>• prosedur jika terjadi kebocoran atau keadaan darurat lainnya</li> </ul>	<p>√ √ √</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prosedur evakuasi, nomor2 penting yg dapat dihubungi</li> </ul>	√ √
5	<p>Apakah dilakukan upaya</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sosialisasi keberadaan pipa, hazard &amp; risiko pipa kepada masyarakat berupa pelatihan, pemberitahuan, dll</li> <li>• seberapa sering dilakukan upaya tersebut</li> <li>• kapan terakhir dilakukan</li> <li>• ada tanda-tanda bahaya di sekitar jalur pipa</li> </ul>	pernah jarang 2011 ada
6	<p>Apakah terdapat program training utk karyawan mengenai</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prosedur operasi pipa</li> <li>• analisis hazard &amp; risiko pipa</li> <li>• prosedur pemeliharaan pipa</li> <li>• prosedur emergency</li> </ul>	√ n/a √ √
7	<p>Apakah tersedia informasi tentang kejadian kecelakaan pada perpipaan :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• jumlah kejadian kecelakaan misalnya kebocoran pipa selama 5 tahun terakhir</li> <li>• laporan kejadian kecelakaan pipa tersebut di atas</li> </ul>	Tidak ada -

**Lampiran 4 : Daftar Produk Tipikal Yang Melalui Jalur Pipa**

**Typical Pipeline Product**

Nama Produk	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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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
<b>Petroleum-Crude</b>	<b>171 - 716 °F</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
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

*(Muhlbauer, 2004)*

**Lampiran 5 : Sistem Proteksi Korosi Jalur Pipa 30”**

