



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS RISIKO SEMI KUALITATIF PADA FASILITAS
ANJUNGAN LEPAS PANTAI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

AGASTYA SESARIANDA

0806332692

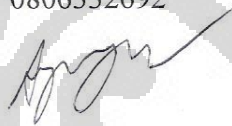
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Agastya Sesarianda

NPM : 0806332692

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Agastya Sesarianda
NPM : 0806332692
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Analisis Risiko Semi Kualitatif pada Fasilitas
Anjungan Lepas Pantai

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng (.....)
Penguji : Dr. Muhamad Sahlan, S.Si., M.Eng (.....)
Penguji : Dianursanti, S.T., M.T. (.....)
Penguji : M. Ibadurrahman, S.T., M.T., M.Sc.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Anondho Wijanarko, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Luki Cahyadi dari ConocoPhillips Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Papa, Bunda, Abang, Diat, Dika, dan keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Keluarga Sofyan yang turut memberikan dukungan moral selama penulisan skripsi ini;
- (5) Dirga, Rendi, Arief, Elvina, Ani, Diana, Mondy, Sara, Femmy, dan seluruh teman-teman Departemen Teknik Kimia khususnya angkatan 2008 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini; dan
- (6) Yongki, Iqbal, Radit, dan Kenny yang saling mengingatkan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 13 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Agastya Sesarianda
NPM : 0806332692
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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 :

ANALISIS RISIKO SEMIKUALITATIF
PADA FASILITAS ANJUNGAN LEPAS PANTAI

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juli 2012

Yang menyatakan


(Agastya Sesarianda)

ABSTRAK

Nama : Agastya Sesarianda
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Analisis Risiko Semi Kualitatif pada Fasilitas Anjungan Lepas Pantai

Fasilitas anjungan lepas pantai yang terletak di Lapangan Alpha merupakan fasilitas yang memiliki risiko tinggi, dan hal tersebut membutuhkan analisis risiko lebih lanjut untuk memastikan pengoperasiannya aman bagi manusia dan lingkungan di sekitarnya. Analisis risiko kuantitatif sulit dipahami oleh beberapa pihak, oleh karena itu perlu dikembangkan dengan pendekatan semi kualitatif dengan metode *Risk Based Inspection* (RBI). Penelitian ini ingin mendapatkan nilai risiko yang dievaluasi dalam bentuk matriks risiko dengan bantuan perangkat lunak Crystal Ball. Hasil dari penelitian ini adalah nilai risiko fasilitas anjungan lepas pantai yang berada pada tingkat yang dapat diterima.

Kata Kunci: Analisis risiko semikualitatif, fasilitas anjungan lepas pantai, *Risk Based Inspection*

ABSTRACT

Name : Agastya Sesarianda
Study Program : Chemical Engineering
Title : Semi Qualitative Risk Analysis on Offshore Platform Facility

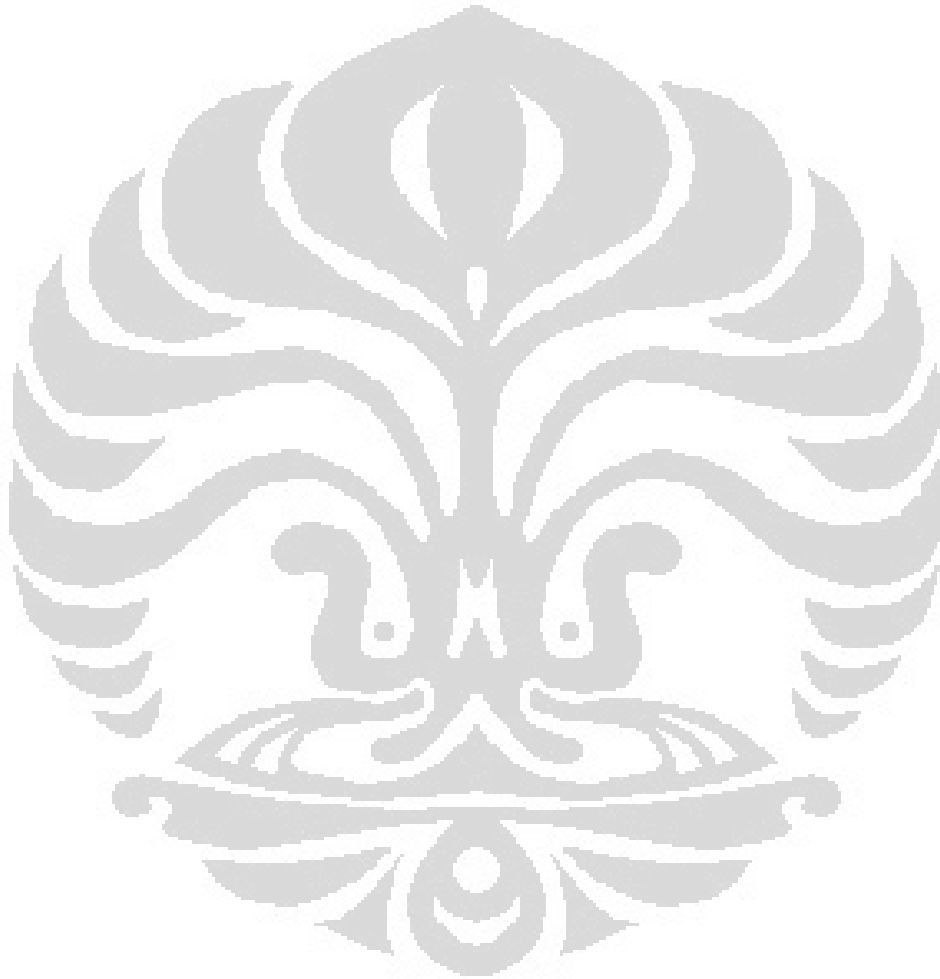
Offshore platform facility located in the Field Alpha is a facility that has a high risk, and it requires further risk analysis to ensure the operation is safe for humans and the environment around it. Quantitative risk analysis is difficult to understand by some parties, and therefore need to be developed with a semi qualitative approach with Risk Based Inspection (RBI) methods. This study wanted to get the value of the risks evaluated in the risk matrix form with the help of Crystal Ball software. The results of this study is the risk of offshore platform facilities which are at an acceptable level.

Key words: Semi qualitative risk analysis , offshore platform facility, Risk Based Inspection

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | v |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Fasilitas Anjungan Lepas Pantai | 5 |
| 2.2 Model Penilaian Risiko | 6 |
| 2.3 Risk Scoring Index | 11 |
| 2.3.1 Indeks Kerusakan Akibat Pihak Ketiga | 12 |
| 2.3.2 Indeks Korosi | 13 |
| 2.3.3 Indeks Desain | 14 |
| 2.3.4 Indeks Kesalahan Operasi..... | 14 |
| 2.3.5 Faktor Dampak Kebocoran | 15 |
| 2.4 Risk Based Inspection | 16 |
| 2.5 Matriks Risiko dan Peringkat Risiko..... | 17 |
| 2.6 Crystal Ball..... | 18 |
| 2.7 State of The Art | 21 |
| 3. METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 23 |
| 3.2 Prosedur Penelitian..... | 24 |
| 3.2.1 Pengumpulan Data dan Informasi..... | 24 |
| 3.2.2 Penentuan Kriteria Kajian Risiko..... | 24 |
| 3.2.3 Risk Forecasting..... | 35 |
| 3.2.4 Pemetaan Hasil dalam Matriks Risiko | 37 |
| 3.2.5 Menyusun Tindakan Mitigasi | 37 |
| 3.2.6 Evaluasi Nilai Risiko Setelah Mitigasi | 37 |
| 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 38 |
| 4.1 Penilaian Kualitatif terhadap Kemungkinan (<i>Likelihood</i>)..... | 38 |
| 4.1.1 Korosi..... | 38 |
| 4.1.2 Faktor Operasi | 39 |
| 4.1.3 Pengaruh Pihak Ketiga | 39 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.4 | Sejarah Kebocoran dan Pencegahan | 40 |
| 4.2 | Penilaian Kualitatif Konsekuensi | 40 |
| 4.2.1 | Konsekuensi Kualitatif terhadap Keselamatan | 40 |
| 4.2.2 | Konsekuensi Kualitatif terhadap Lingkungan..... | 40 |
| 4.2.3 | Konsekuensi terhadap Finansial..... | 41 |
| 4.2.4 | Konsekuensi terhadap Reputasi | 41 |
| 4.3 | Simulasi Monte Carlo dan Evaluasi Risiko..... | 44 |
| 4.4 | Tindakan Mitigasi..... | 50 |
| 5. | KESIMPULAN DAN SARAN | 53 |
| | DAFTAR REFERENSI | 54 |

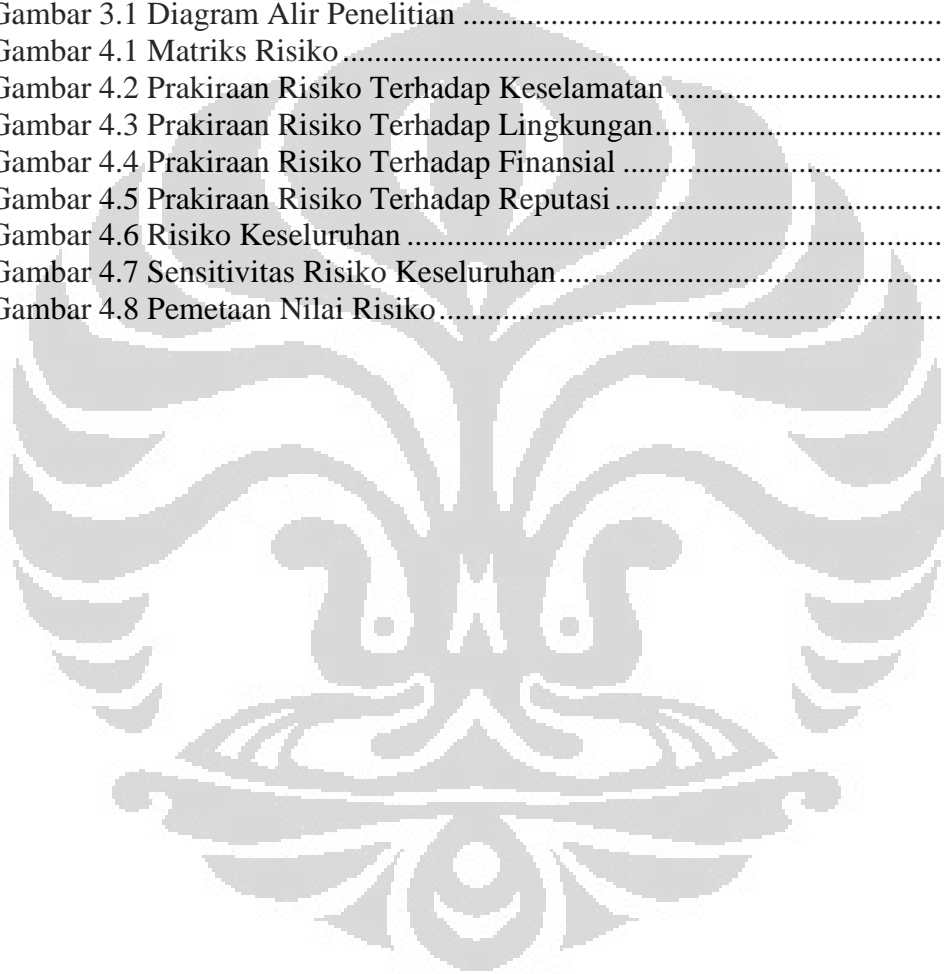


DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Jumlah Kecelakaan dan Frekuensi Kecelakaan (Per Unit-Tahun)..... | 1 |
| Tabel 1.2 Ringkasan Kecelakaan Besar pada Industri Migas Lepas Pantai di Dunia | 2 |
| Tabel 2.1 <i>State-of-the-Art</i> | 22 |
| Tabel 3.1 Kriteria Inspeksi Eksternal..... | 25 |
| Tabel 3.2 Kriteria Pengaruh Umur..... | 26 |
| Tabel 3.3 Kriteria Proteksi Eksternal..... | 27 |
| Tabel 3.4 Kriteria Pengaruh Material..... | 28 |
| Tabel 3.5 Kriteria Pengaruh Fluida..... | 29 |
| Tabel 3.6 Kriteria Pengaruh Air..... | 29 |
| Tabel 3.7 Kriteria Perubahan Tekanan..... | 30 |
| Tabel 3.8 Kriteria Perubahan Suhu..... | 30 |
| Tabel 3.9 Kriteria Kerusakan Karena Pengaruh Pihak Ketiga..... | 31 |
| Tabel 3.10 Kriteria Sabotase..... | 31 |
| Tabel 3.11 Kriteria Sejarah kebocoran..... | 32 |
| Tabel 3.12 Kriteria Kegiatan Manajemen <i>Flange</i> | 32 |
| Tabel 3.13 Kriteria Kuantitas Keluaran..... | 33 |
| Tabel 3.14 Kriteria Jenis Fluida..... | 33 |
| Tabel 3.15 Kriteria Kepadatan Populasi..... | 34 |
| Tabel 3.16 Kriteria Kemudahan Terbakar/Toksisitas..... | 34 |
| Tabel 3.17 Kriteria Konsekuensi Finansial..... | 35 |
| Tabel 3.18 Kriteria Konsekuensi Reputasi..... | 35 |
| Tabel 4.1 Nilai Probabilitas..... | 41 |
| Tabel 4.2 Nilai Konsekuensi..... | 44 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 <i>Fault Tree Analysis</i> | 9 |
| Gambar 2.2 Siklus FMEA..... | 10 |
| Gambar 2.3 Model Penilaian Risiko | 12 |
| Gambar 2.4 Filosofi RBI..... | 17 |
| Gambar 2.5 Contoh Matriks Risiko | 18 |
| Gambar 2.6 Model Crystal Ball | 20 |
| Gambar 2.7 Grafik <i>Forecast</i> dalam Crystal Ball | 20 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 23 |
| Gambar 4.1 Matriks Risiko | 45 |
| Gambar 4.2 Prakiraan Risiko Terhadap Keselamatan | 46 |
| Gambar 4.3 Prakiraan Risiko Terhadap Lingkungan..... | 47 |
| Gambar 4.4 Prakiraan Risiko Terhadap Finansial | 48 |
| Gambar 4.5 Prakiraan Risiko Terhadap Reputasi | 49 |
| Gambar 4.6 Risiko Keseluruhan | 50 |
| Gambar 4.7 Sensitivitas Risiko Keseluruhan..... | 51 |
| Gambar 4.8 Pemetaan Nilai Risiko..... | 52 |



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai sebuah kegiatan yang padat karya dan modal, produksi minyak dan gas bumi lepas pantai memiliki risiko kecelakaan yang besar, baik berupa kebakaran hingga ledakan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh United Kingdom Health & Safety Executive (UK HSE), tercatat ribuan kasus kecelakaan yang berkaitan dengan kegiatan operasi lepas pantai. Data hasil penelitian tersebut ditampilkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1.1 Jumlah Kecelakaan dan Frekuensi Kecelakaan (Per Unit-Tahun)
pada Seluruh *Floating Unit*

| | Periode | | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1980-1989 | | 1990-2003 | | 1980-2003 | |
| Tipe Unit | Jumlah | Frekuensi | Jumlah | Frekuensi | Jumlah | Frekuensi |
| MODU | 580 | 1,053 | 2081 | 2,397 | 2661 | 1,875 |
| MOPU | 63 | 2,690 | 252 | 2,793 | 315 | 2,771 |
| Monohull | 4 | 0,414 | 396 | 3,088 | 400 | 2,900 |
| Total floating units | 687 | 1,108 | 2729 | 2,511 | 3376 | 2,021 |

(Sumber: UK HSE, 2005)

Beberapa kecelakaan besar yang pernah terjadi di dunia antara lain Alexander Kielland Accident di Lapangan Ekofisk pada tahun 1980, Ocean Ranger Accident pada tahun 1982, Piper Alpha Accident pada tahun 1988, Sleipner A Accident pada tahun 1991, dan P-36 Accident di Brasil pada tahun 2001. Ringkasan dari kecelakaan-kecelakaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1.2 Ringkasan Kecelakaan Besar pada Industri Migas Lepas Pantai di Dunia

| Anjungan | Tipe | Penyebab Awal | Moda Global | Kegagalan |
|-------------------|-------------------|--|-----------------------|-----------|
| Alex. | Semi | Kelelahan abnormal | Struktural/kehilangan | |
| Keilland | terapung | | daya apung | |
| Ocean | GBP | Struktural/operasional | Kehilangan daya apung | |
| Ranger | | | | |
| Piper | Semi- | Kebakaran/ledakan | Struktural | |
| Alpha | terapung | | | |
| Sleipner A | Jaket | Kekuatan maksimal muatan yang abnormal | Kehilangan daya apung | |
| P-36 | Semi- terapung | Ledakan | Kehilangan daya apung | |

(Sumber: NTNU, 2007)

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan semacam itu, maka setiap operator minyak dan gas bumi diwajibkan untuk melaksanakan *Operation Safety Case* (OSC) yang diejawantahkan ke dalam penilaian risiko, di mana setiap risiko yang ada pada kegiatan operasi diidentifikasi dan dikuantifikasi sehingga tingkat risiko tersebut dapat diketahui. Dari nilai risiko yang didapat tersebut maka dapat dilakukan kegiatan-kegiatan yang dapat mengontrol atau menurunkan risiko tersebut hingga batasan yang dapat diterima (*As Low As Reasonably Practicable* – ALARP).

Lapangan Alpha adalah lapangan migas yang terletak di Laut Cina Selatan, 600 mil utara Jakarta. Lapangan ini memiliki fasilitas anjungan lepas pantai yang didesain tidak berpenghuni (Normally Unmanned Installation – NUI). Pada tahap awal desain telah dilaksanakan OSC (*Operation Safety Case*) terhadap seluruh instalasi yang ada pada Lapangan Alpha tersebut. Penilaian risiko dilakukan untuk mendapatkan angka risiko individu per tahun (Individual Risk Per Annum – IRPA). IRPA yang telah dihitung sebesar $8,54 \times 10^{-4}$, masih lebih kecil bila dibandingkan dengan angka IRPA maksimal yang masih dapat diterima yaitu 10^{-3} . Perhitungan nilai risiko tersebut dilakukan tanpa memperhitungkan keberadaan pekerja yang tinggal dan bekerja, karena sifat fasilitas anjungan lepas

Universitas Indonesia

pantai yang merupakan NUI sehingga tidak memerlukan keberadaan pekerja setiap saat. Nilai risiko yang telah didapatkan tersebut sulit untuk dipahami oleh beberapa pihak, maka diperlukan nilai risiko dalam bentuk lain yang lebih sederhana agar lebih mudah dimengerti.

1.2 Rumusan Masalah

Nilai risiko individu yang didapatkan dari metode kuantitatif masih sulit untuk dimengerti oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendekatan semi kualitatif untuk mendapatkan nilai risiko dalam bentuk yang lebih sederhana yaitu matriks risiko.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai risiko dari pengoperasian normal fasilitas anjungan lepas pantai di Lapangan Alpha.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut.

- Penilaian risiko dilakukan terhadap pipa dan bejana yang terletak pada fasilitas pengolahan hidrokarbon.
- Perhitungan risiko semi kualitatif menggunakan perangkat lunak Crystal Ball.
- Risiko dihitung terhadap keselamatan, lingkungan, finansial, dan reputasi

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini akan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi 5 bab, yaitu :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Universitas Indonesia

Berisi tinjauan pustaka yang dijadikan dasar penelitian, meliputi Fasilitas Anjungan Lepas Pantai, Risiko Individu, Penilaian Risiko Kuantitatif, Risk Based Inspection, Matriks Risiko dan Peringkat Risiko, PHAST, dan Crystal Ball

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian dan prosedur penelitian beserta penjelasannya.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil yang didapat dari penelitian beserta pembahasannya

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fasilitas Anjungan Lepas Pantai

Fasilitas anjungan lepas pantai merupakan salah satu anjungan yang terletak di Lapangan Alpha. Anjungan berkaki empat ini didesain untuk tidak berpenghuni, sehingga operasinya dapat dilakukan dari jarak jauh. Kapasitas produksi dari anjungan ini mencapai 53.000 barel minyak per hari dan 180 MMSCFD gas yang kemudian dialirkan menuju *Floating Production Storage & sub cellar deck Offloading (FPSO)* melalui jalur perpipaan dan *flexible riser*.

Fasilitas ini didesain untuk penghilangan, pencucian, dan pembuangan pasir, injeksi dan *lifting gas*, pengujian sumur, sumber energi darurat, tempat pengungsian sementara untuk delapan orang, *drilling rig*, dan lain-lain. Semua peralatan ini berfungsi secara otomatis dan dioperasikan dari jarak jauh serta dimonitor oleh operator dari FPSO. Namun, peluncuran *pig*, *well unloading*, dan pengoperasian kembali setelah *emergency shutdown* dilakukan secara manual.

Fasilitas anjungan lepas pantai ini terdiri atas empat tingkat, yaitu *drilling deck*, *main deck*, *cellar deck*, dan *subcellar deck*, di mana *main deck* merupakan bagian yang paling penting yang dilewati oleh pipa-pipa hidrokarbon yang banyak. *Main deck* sendiri terletak di bawah *drilling deck*. *Main deck* dapat dijangkau dari *cellar deck* atau *drilling deck* dengan tangga yang terletak di keempat sudut dek. *Wellbay*, yang merupakan lokasi terdapat kepala sumur terletak di bagian tengah dek utama. *Flowline* dari setiap kepala sumur dihubungkan melalui *manifold* produksi yang terdiri atas dua bagian yaitu *manifold* produksi A yang terletak di bagian utara dan *manifold* produksi B yang terletak di bagian selatan dek.

Peralatan utama yang berada pada *main deck* antara lain *wellbay slot* sebanyak 24 buah, *manifold* produksi A dan B, *manifold* injeksi dan *lifting gas*, *sand separator*, *test separator*, dan peralatan injeksi kimia. Peralatan-peralatan tersebut, seperti peralatan rekayasa lainnya, sewaktu-waktu dapat terjadi

kegagalan operasi yang dapat menimbulkan konsekuensi serius bagi manusia maupun lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penilaian risiko agar diketahui seberapa besar risiko yang dimiliki oleh fasilitas anjungan lepas pantai tersebut.

2.2 Model Penilaian Risiko

Pada suatu sistem perpipaan gas atau minyak yang dipasang dan dioperasikan pasti memiliki suatu potensi atau risiko bahaya. Sebagai konsekuensi untuk melindungi benefit dari fungsi sistem perpipaan tersebut, risiko bahaya harus dikelola dan dikendalikan sedemikian rupa sehingga mencapai kondisi bahaya yang seminimal mungkin (Muhlbauer, 2004).

Dalam upaya mengelola dan mengendalikan risiko bahaya diperlukan pemahaman menyeluruh terhadap sistem perpipaan yang dipasang. Apabila seluruh potensi risiko yang ada pada sistem perpipaan tersebut tidak dapat diprediksi secara akurat, maka setidaknya harus ditentukan faktor-faktor penting yang mungkin berkontribusi terhadap kemungkinan penyebab kegagalan pada sistem perpipaan tersebut.

Langkah awal dalam manajemen risiko adalah melakukan penilaian risiko dari faktor-faktor dominan yang diasumsikan menjadi penyebab kegagalan pada sistem perpipaan, sehingga dapat dilakukan manajemen risiko secara efektif. Agar penilaian risiko dapat dilaksanakan diperlukan suatu perangkat penilaian yang baku atau yang dapat dipakai sebagai acuan atau standar penilaian. Dalam upaya untuk mendapatkan suatu standar penilaian risiko, maka dikembangkan suatu model penilaian risiko.

Model penilaian risiko adalah suatu pedoman atau panduan yang dapat dipakai sebagai acuan dalam melaksanakan pendekatan penilaian terhadap pelaksanaan manajemen risiko pada suatu sistem perpipaan gas dan atau minyak. Tujuan dibuatnya model penilaian risiko ini adalah untuk memperkuat presisi manajemen risiko dan digunakan sebagai perangkat atau alat dalam melakukan kegiatan monitoring dan evaluasi terhadap program manajemen risiko sistem perpipaan minyak dan gas. Sifat dari model ini adalah ringkas, jelas, dan mudah penggunaannya. Perangkat ini digunakan sebagai alat pengumpul data dalam kegiatan monitoring yang dilakukan oleh operator di lapangan dan sebagai input

Universitas Indonesia

data untuk evaluasi bagi pembuat keputusan. Perangkat model penilaian risiko harus mudah dimengerti dan mudah untuk dimodifikasi. Dengan demikian perangkat model penilaian risiko tersebut juga harus bersifat aplikatif dan mengakomodasi setiap perubahan yang terjadi dalam desain, operasi, maupun pemeliharaan sistem perpipaan.

Dalam pembentukan model dilakukan pendekatan yang sedikit menyimpang dari prosedur ilmiah pada umumnya. Dalam aspek-aspek risiko banyak dilakukan berdasarkan pada intuisi yang tidak selalu mudah dibuktikan. Oleh karena itu, faktor subjektivitas juga berperan dalam pembentukan model risiko.

Dalam mengembangkan perangkat model penilaian risiko, beberapa hal yang menjadi pertimbangan antara lain sebagai berikut.

- Alasan atau justifikasi yang mendukung dalam menetapkan komponen-komponen dan parameter-parameter dalam model penilaian risiko.
- Pertimbangan konsep kualitas dan biaya manajemen serta hubungannya terhadap manajemen risiko.
- Asumsi dasar dan struktur proses evaluasi.
- Penetapan seksi dan klasifikasi aktivitas jalur perpipaan sebagai atribut atau prevensi.
- Aktivitas dan karakteristik lingkungan di sekitar jalur perpipaan.
- Data-data historikal mengenai kegagalan sistem perpipaan.
- Faktor kepadatan penduduk.
- Bahaya produk dan faktor dispersi.
- Teknik penanganan dan evaluasi data, dan lain-lain.

Ada berbagai macam model penilaian untuk mengukur tingkat risiko suatu sistem yang diamati, antara lain:

1. *Hazard analysis*

Hazard analysis digunakan sebagai langkah awal dalam proses penilaian risiko. Hasil dari *hazard analysis* adalah identifikasi dari risiko. Tingkat risiko pendahuluan dapat disediakan oleh model ini. Validasi, prediksi yang lebih

akurat, dan penerimaan risiko ditentukan dalam penilaian risiko. Tujuan utama dari model ini adalah untuk menyediakan pemilihan yang terbaik dari upaya-upaya untuk mengontrol atau mengeliminasi risiko.

2. *Operations and support hazard analysis*

Operations and support hazard analysis (O&SHA) digunakan untuk mendokumentasikan, menganalisis, dan memitigasi bahaya yang dapat disebabkan oleh personil pengoperasian dan pendukung (contoh: pemeliharaan) serta bahaya yang dapat mengekspos personil pengoperasian dan pendukung tersebut. Manusia dianggap sebagai elemen dari keseluruhan sistem, yang menerima masukan dan keluaran selama analisis dilakukan sehingga menciptakan hubungan yang efektif antara analisis faktor manusia dan sistem keselamatan. O&SHA termasuk salah satu analisis sistem keselamatan yang paling buruk karena elemen terlemah dalam suatu sistem kompleks adalah interaksi manusia.

3. *HAZOP*

HAZOP adalah pemeriksaan terstruktur dan sistematis dari proses atau operasi yang telah direncanakan atau telah ada untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi masalah yang dapat merepresentasikan risiko terhadap personil atau peralatan. Teknik HAZOP awalnya dikembangkan untuk menganalisis sistem proses kimia, namun pada saat ini juga dikembangkan untuk berbagai macam sistem. HAZOP adalah teknik kualitatif berdasarkan kata panduan dan dilakukan oleh tim multidisiplin selama beberapa pertemuan.

4. *What if checklist*

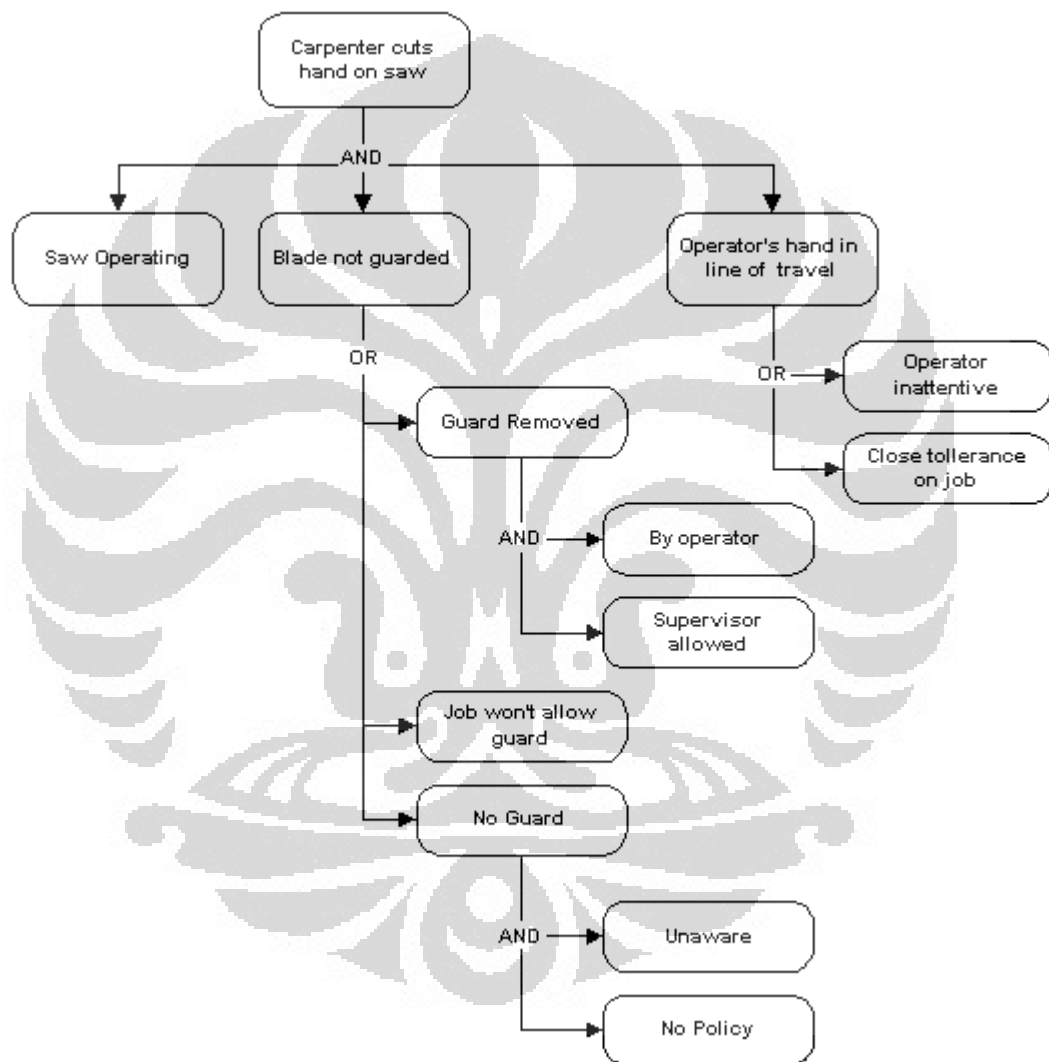
What if checklist adalah teknik penilaian bahaya yang menggabungkan pemikiran kreatif oleh suatu tim yang terdiri oleh para ahli dengan fokus terhadap suatu *checklist* yang telah disiapkan. Hasilnya adalah analisis bahaya proses komprehensif yang sangat berguna dalam pelatihan personil operasi terhadap bahaya dari operasi tertentu.

5. *Fault tree analysis*

Fault tree analysis (FTA) adalah penilaian kuantitatif terhadap keseluruhan keluaran yang tidak diinginkan, seperti pelepasan gas beracun atau ledakan, yang dapat dihasilkan oleh kejadian sebelumnya. FTA diawali dengan representasi grafik menggunakan simbol logika dari semua urutan kejadian yang

Universitas Indonesia

memungkinkan yang dapat menghasilkan sebuah insiden. Diagram yang dihasilkan terlihat seperti pohon yang memiliki banyak cabang, setiap cabang memiliki daftar urutan kejadian. Probabilitas dihitung untuk setiap kejadian dan kemudian digunakan untuk menghitung probabilitas kejadian yang tidak diinginkan. Contoh sederhana FTA adalah sebagai berikut.



Gambar 2.1 *Fault Tree Analysis*

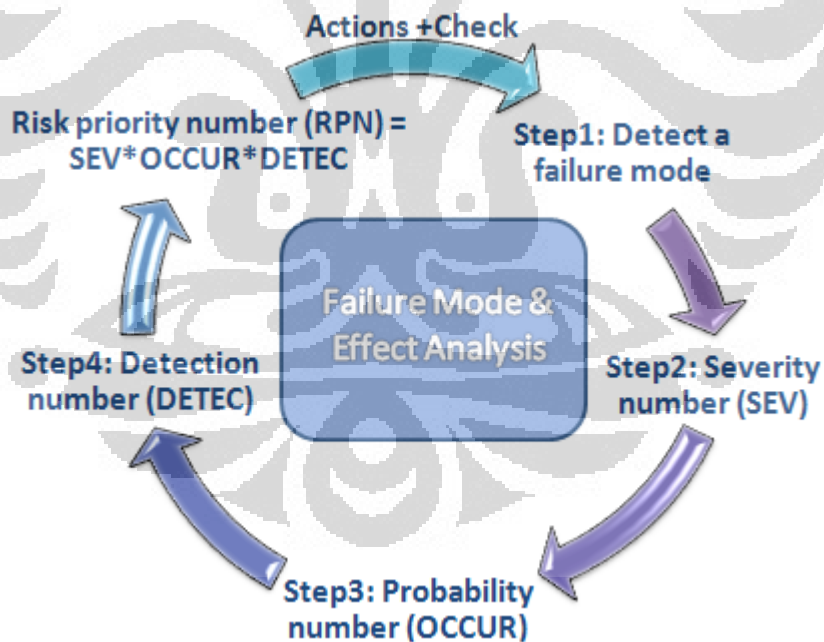
6. *Failure modes and effect analysis*

Failure modes and effect analysis (FMEA) adalah studi terhadap kegagalan komponen. Tinjauan dimulai dengan sebuah diagram proses yang termasuk keseluruhan komponen yang dapat gagal dan mempengaruhi

keselamatan dari proses. Contohnya adalah instrumen pemancar, kontrol, kerangan, pompa, dan rotometer. Komponen-komponen ini dicatat dalam lembar tabulasi data dan masing-masing dianalisis untuk mendapatkan sebagai berikut:

- Moda kegagalan potensial
- Konsekuensi kegagalan
 - Efek terhadap komponen lain
 - Efek terhadap keseluruhan sistem
- Tingkat bahaya
- Probabilitas kegagalan
- Metode deteksi

Langkah terakhir adalah menganalisis data untuk setiap kegagalan komponen dan pengembangan sejumlah rekomendasi yang sesuai untuk manajemen risiko.



Gambar 2.2 Siklus FMEA

7. Human factor analysis

Human factor analysis (HFA) mengidentifikasi penyebab oleh manusia terhadap suatu kecelakaan dan menyediakan perangkat untuk membantu dalam

proses investigasi dan usaha pencegahan. HFA didasarkan pada model eror manusia yang melihat pada empat tingkat kesalahan aktif dan kegagalan laten seperti tindakan yang tidak aman, prasyarat untuk tindakan yang tidak aman, pengawasan yang tidak aman, dan pengaruh organisasi.

8. *Risk scoring*

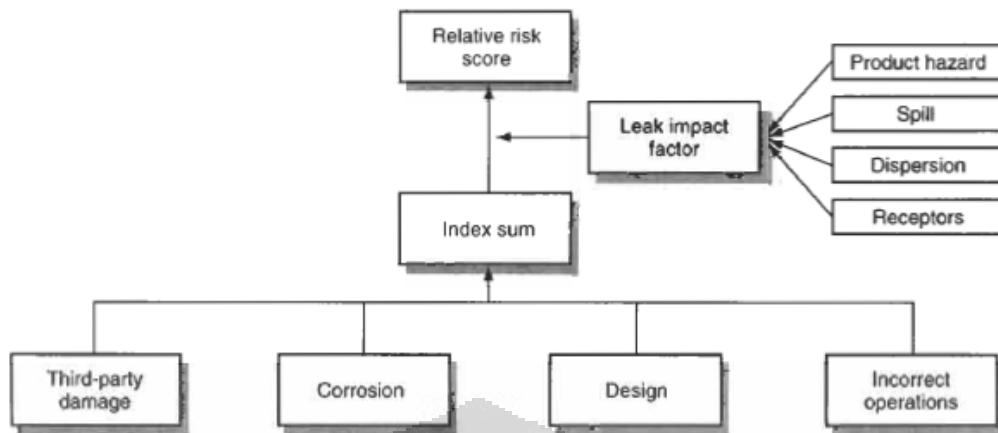
Dari model-model penilaian risiko di atas, model penilaian risiko dengan menggunakan *risk scoring index* merupakan model yang paling cocok untuk diterapkan dalam menganalisis risiko pengoperasian pipa penyalur minyak dan gas, karena model ini sangat cermat dan sangat baik untuk sistem yang sederhana maupun kompleks, mudah dipelajari, baik untuk analisis keandalan operasi, menguantifikasi setiap potensi risiko, menyediakan model risiko yang sudah baku, dapat dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif, model sistem mendekati kenyataan di lapangan, cocok untuk analisis sistem yang mencakup area yang sangat luas, memiliki keluwesan bagi operator dalam menguantifikasi risiko, dan memberi kebebasan bagi evaluator dalam menentukan tingkat risiko.

2.3 Risk Scoring Index

Menurut model ini, potensi bahaya dalam sistem perpipaan dapat bersumber dari 4 faktor berikut, yaitu:

1. Kerusakan Akibat Pihak Ketiga (*Third Party Damage Index*).
2. Korosi (*Corrosion Index*).
3. Desain (*Design Index*).
4. Kerusakan Operasi (*Incorrect Operations Index*).

Semua risiko yang telah disebutkan di atas kemudian dikombinasikan dengan faktor konsekuensi jika terjadi kebocoran pada pipa yang bersumber dari bahan yang dialirkan di dalam pipa dan faktor dispersi jika terjadi kebocoran.



Gambar 2.3 Model Penilaian Risiko

(Sumber: Muhlbauer, 2004)

2.3.1 Indeks Kerusakan Akibat Pihak Ketiga

Kerusakan akibat pihak ketiga merujuk pada segala kerusakan tanpa disengaja pada pipa atau *vessel* yang disebabkan oleh aktivitas personel yang tidak dipekerjakan oleh operator. Kerusakan dengan disengaja dimasukkan ke dalam modul sabotase. Kerusakan tanpa disengaja oleh personel operator perpipaan biasanya dimasukkan ke dalam indeks kerusakan operasi. Dalam kasus operasi lepas pantai, kerusakan pada permukaan dapat dihubungkan dengan personel yang sedang melakukan aktivitas pada anjungan atau bekerja pada jalur perpipaan lainnya. Terkena jangkar atau benda jatuh lainnya adalah contoh kerusakan yang disebabkan oleh aktivitas pekerjaan yang berada di sekitarnya. Walaupun personel yang bersalah tersebut bisa saja merupakan karyawan dari perusahaan operator sehingga secara teknis bukan merupakan kerusakan akibat pihak ketiga, ancaman kerusakan tersebut akan lebih efisien bila dimasukkan ke dalam indeks ini.

Walaupun bukan merupakan penyebab dari sebagian besar kecelakaan perpipaan lepas pantai, kerusakan akibat pihak ketiga ini muncul sebagai penyebab utama kematian, cedera, kerusakan, dan polusi. Berikut adalah aspek-aspek kritis dari gambaran risiko tersebut.

1. Kedalaman pelindung pipa (*Depth of Cover*)
2. Tingkat aktivitas (*Activity Level*)
3. Fasilitas yang berada di atas jalur perpipaan (*Aboveground Facilities*)

Universitas Indonesia

4. Pencegahan kerusakan (*Damage Prevention*)
5. Kondisi perpipaan (*Right-of-Way Condition*)
6. Pemeriksaan (*Patrol*)

2.3.2 Indeks Korosi

Fasilitas lepas pantai seperti pipa dan *vessel* biasanya diletakkan pada kondisi yang dapat mendorong terjadinya korosi internal dan eksternal. Dalam mempertimbangkan korosi eksternal, baja diletakkan dalam elektrolit yang sangat kuat yaitu air laut, yang merupakan lingkungan korosif yang sangat agresif. Karena harus disadari bahwa tidak ada *coating* yang sempurna, harus diasumsikan juga bahwa bagian dari pipa baja mengalami kontak langsung dengan elektrolit.

Penilaian untuk korosi pada jalur perpipaan lepas pantai sama dengan penilaian untuk di jalur darat. Walaupun demikian, faktor tambahan terhadap lingkungan lepas pantai juga harus dipertimbangkan. Seperti pada mode kegagalan lainnya, evaluasi terhadap potensi korosi mengikuti langkah-langkah logis. Termasuk di dalam langkah tersebut adalah:

1. Mengidentifikasi tipe korosi yang mungkin terjadi
2. Mengidentifikasi kerentanan dari material pipa
3. Mengevaluasi pencegahan korosi yang digunakan pada seluruh lokasi

Mekanisme korosi adalah termasuk di antara mekanisme kegagalan potensial yang paling rumit. Sehingga, banyak lagi informasi yang digunakan secara efisien dalam menilai ancaman tersebut.

Fokus dari penilaian ini adalah potensi terjadinya korosi aktif, bukan waktu kegagalan. Dalam sebagian besar kasus, identifikasi lokasi di mana mekanisme korosi lebih agresif lebih sering dilakukan daripada memprediksi lama waktu mekanisme harus aktif sebelum terjadinya kegagalan.

Dalam sistem *scoring* yang digunakan, poin biasanya dituliskan untuk menunjukkan ancaman korosi. Sistem ini menambahkan poin untuk kondisi yang lebih aman. *Scoring* ini dimulai dengan penilaian terhadap tingkat ancaman dan mempertimbangkan mitigasi sebagai faktor penyesuaian. Dalam pendekatan ini, evaluator memulai dengan menilai lingkungan seperti tipe korosi, korosivitas produk, atau kondisi di bawah permukaan, kemudian menerapkan faktor pengali untuk menghitung efektivitas dari mitigasi.

Universitas Indonesia

Komponen yang termasuk dalam indeks korosi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Korosi atmosferik (*Atmospheric Corrosion*)
2. Korosi internal (*Internal Corrosion*)
3. Korosi pipa yang tercelup (*Submerged Pipe Corrosion*)

2.3.3 Indeks Desain

Desain lingkungan pada fasilitas lepas pantai sangat berbeda dengan yang berada di daratan. Jalur perpipaan lepas pantai dihadapkan pada tekanan eksternal dan gaya dari air/gelombang/lingkungan yang biasanya lebih dinamis dan seringkali lebih parah. Pipa diletakkan pada lingkungan di mana manusia tidak dapat hidup dan bekerja tanpa bantuan dari sistem pendukung kehidupan. Kesulitan terhadap pemasangan pun sangat beragam. Banyak perbedaan yang berkaitan dengan risiko antara jalur perpipaan daratan dan lepas pantai yang akan muncul dalam indeks desain.

Dalam hal ini harus diasumsikan bahwa industri akan terus bergerak menuju lingkungan yang lebih menantang seperti air yang lebih dalam, suhu yang lebih ekstrem, dan kondisi arktik. Hal ini membawa masalah baru untuk diselesaikan dalam pengawasan desain, konstruksi, dan integritas.

Komponen yang termasuk dalam indeks desain adalah:

1. Faktor keselamatan (*Safety Factor*)
2. Kelelahan (*Fatigue*)
3. Potensi gelombang (*Surge Potential*)
4. Pemeriksaan terhadap integritas pipa (*Integrity Verifications*)
5. Stabilitas (*Stability*)

2.3.4 Indeks Kesalahan Operasi

Lebih dari 80% dari kecelakaan dengan konsekuensi tinggi pada anjungan lepas pantai terjadi akibat kesalahan manusia (*human error*) (Simiu, 1992). Walaupun anjungan secara normal memiliki kepadatan akan komponen yang tinggi dan memiliki desain yang lebih rumit daripada jalur perpipaan, statistik ini dapat digunakan sebagai peringatan untuk potensi *human error* pada operasi jalur perpipaan.

Seperti dalam kasus model penilaian risiko dasar, indeks kesalahan operasi biasanya akan diaplikasikan pada keseluruhan sistem perpipaan. Banyak faktor pencegahan kesalahan manusia mewakili pendekatan perusahaan terhadap praktik kerja dan disiplin operasi. Hanya beberapa *item* risiko seperti potensi MOP (*Maximum Operating Pressure*), sistem keselamatan, dan SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) yang lebih spesifik terhadap lokasi.

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

1. Desain
2. Konstruksi
3. Operasi
4. Pemeliharaan

2.3.5 Faktor Dampak Kebocoran

Tipe produk yang tercecer, jarak menuju area yang sensitif, dan kemampuan untuk mengurangi kerusakan akibat tumpahan biasanya akan mempengaruhi dampak kebocoran terhadap jalur lepas pantai. Ceceran gas atau produk yang mudah menguap harus diskor seperti pada model penilaian risiko di daratan. Hal ini melibatkan penilaian dan *scaling* numerik terhadap bahaya produk, ukuran tumpahan relatif, potensi terjadinya dispersi, dan kerentanan dari reseptor. Dampak kecil lainnya yang terlihat dalam lingkungan lepas pantai termasuk dampak yang memungkinkan terhadap kehidupan bawah laut dari kebisingan jalur perpipaan ketika beroperasi dan keberadaan jalur perpipaan sebagai penghalang bagi pergerakan kehidupan bawah laut. Hal ini dapat dimasukkan ke dalam evaluasi kerentanan reseptor.

Faktor ini dapat dihitung dengan mempertimbangkan variabel sebagai berikut.

1. Bahaya produk (Product Hazard, PH)
 - a. Bahaya akut
 - b. Bahaya kronis
2. Volume bocoran atau ceceran (Leak Volume, LV)
3. Dispersi (jarak relatif kebocoran, D)
4. Reseptor (semua hal yang dapat rusak, R)

Universitas Indonesia

- a. Kepadatan penduduk (Pop)
- b. Pertimbangan lingkungan (Env)
- c. Daerah bernilai tinggi (High-Value Area, HVA)

$$\text{Total Reseptor} = (\text{Pop} + \text{Env} + \text{HVA})$$

Sehingga nilai faktor dampak kebocoran dapat dihitung dengan persamaan berikut

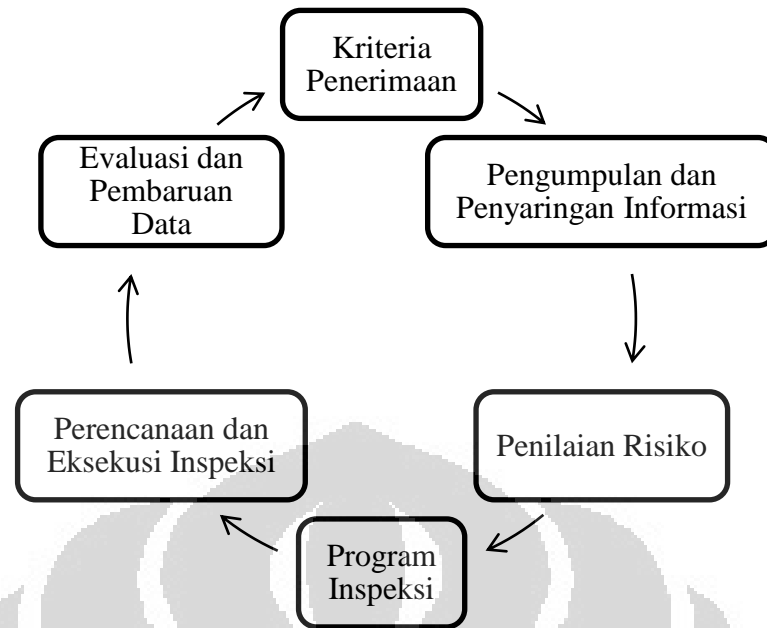
$$LIF = PH \times L \times D \times R \quad (2.1)$$

2.4 Risk Based Inspection

Risk Based Inspection (RBI) didasarkan pada pemikiran bahwa risiko kegagalan dapat dinilai dalam hubungannya terhadap tingkat yang dapat diterima, dan inspeksi serta perbaikan atau tindakan lainnya dapat digunakan untuk mengelola risiko di bawah batas aman. Risiko yang berkaitan dengan kegagalan dihitung sebagai produk dari probabilitas kegagalan dengan konsekuensi kegagalan.

Peran inspeksi dalam manajemen risiko adalah untuk memastikan apakah degradasi terjadi dan untuk mengukur perkembangan dari degradasi tersebut. Hal ini memiliki pengaruh dalam pengurangan ketidakpastian dalam penilaian kondisi komponen, atau dengan kata lain pengurangan probabilitas kegagalan yang diestimasi. Perlu ditekankan bahwa inspeksi sendiri tidak mengurangi risiko aktual dari kegagalan, sehingga manajemen risiko harus melibatkan tindakan untuk memperbaiki atau mengganti komponen ketika inspeksi menemukan bahwa risiko tidak dapat diterima.

Tujuan RBI adalah untuk membantu pengembangan inspeksi, memantau, dan menguji rencana pada sistem produksi. Untuk mendapatkan hasil terbaik dari RBI, perencanaan inspeksi, eksekusi, dan evaluasi harus menjadi proses kontinu di mana informasi dan data dari proses dan aktivitas inspeksi, pemeliharaan atau operasi diumpanbalikkan pada perencanaan tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Filosofi RBI

Optimasi harus memperhitungkan risiko terhadap keselamatan, lingkungan, dan finansial seperti halnya biaya inspeksi. Harus dicatat bahwa degradasi pada material tahan korosi tidak terjadi secara *steady state*, tetapi kegagalan yang terjadi berawal dan berkembang dengan cepat ketika kondisi yang tidak diinginkan terjadi. Sebagai tambahan, beberapa mekanisme degradasi menaikkan tingkat kerusakan yang tidak dapat dideteksi dengan menggunakan metode inspeksi konvensional. Oleh karena itu, mekanisme degradasi dan probabilitas kegagalan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menunjukkan apakah pemantauan proses atau aktivitas pemeliharaan dapat menjadi alternatif yang lebih efektif secara biaya daripada inspeksi tersebut.

2.5 Matriks Risiko dan Peringkat Risiko

Matriks risiko adalah pendekatan penilaian risiko semikuantitatif yang terkenal dan ditemukan secara luas penggunaannya di antara operator yang ingin menyiapkan laporan keamanan COMAH (*Control of Major Accident Hazards*). Dalam menyiapkan matriks, satu set kategori konsekuensi dan kategori probabilitas didefinisikan. Untuk kategori konsekuensi, hal ini bisa berupa angka kematian akibat dari kejadian. Untuk kategori probabilitas, dapat disusun berdasarkan besar kemungkinannya.

| | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|
| 5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 4 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| 3 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Gambar 2.5 Contoh Matriks Risiko

Matriks risiko dibuat dengan mengestimasi konsekuensi dan probabilitas dari suatu kejadian dan mengplot sesuai dengan pasangannya pada matriks.

Matriks risiko lengkap menyediakan gambaran risiko sistem dalam bentuk grafik. Risiko yang dihubungkan dengan berbagai macam kejadian dapat diperingkatkan dan diprioritaskan. Untuk membantu proses ini, daerah berbeda pada matriks dapat disebut dengan warna dan istilah seperti warna merah untuk “*unacceptable risk*” atau warna hijau untuk “*tolerable risk*” seperti pada gambar 2.5.

Kesulitan muncul ketika upaya untuk membandingkan risiko yang ditampilkan dalam matriks risiko dengan kriteria risiko individu yang dipublikasikan oleh HSE dilakukan. Hal ini karena matriks terdiri atas rangkaian pasangan probabilitas-konsekuensi, sedangkan kriteria HSE diekspresikan dalam bentuk risiko kematian individu.

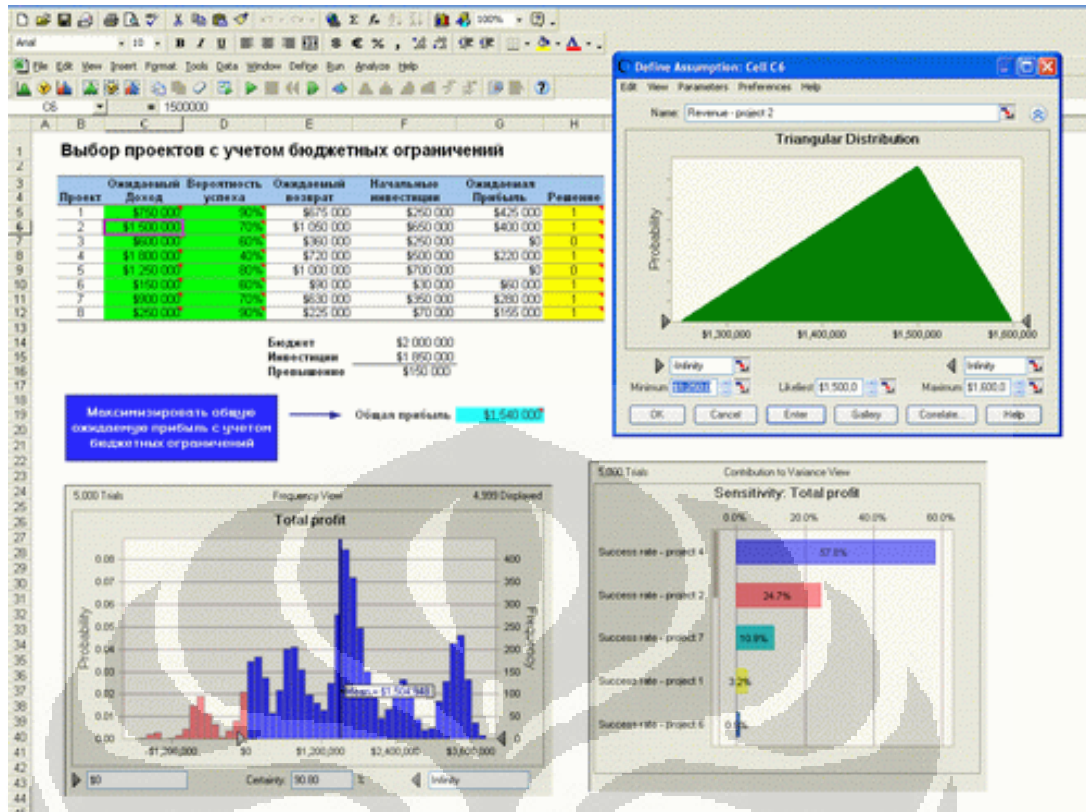
2.6 Crystal Ball

Perangkat lunak Crystal Ball adalah perangkat lunak untuk melakukan simulasi Monte Carlo yang merupakan *add-in* untuk Microsoft Excel. Perangkat lunak ini memungkinkan untuk melakukan analisis risiko dan ketidakpastian yang berhubungan dengan model *spreadsheet* Microsoft Excel. Simulasi Monte Carlo adalah metode yang sudah lama dikenal untuk mendefinisikan komponen yang

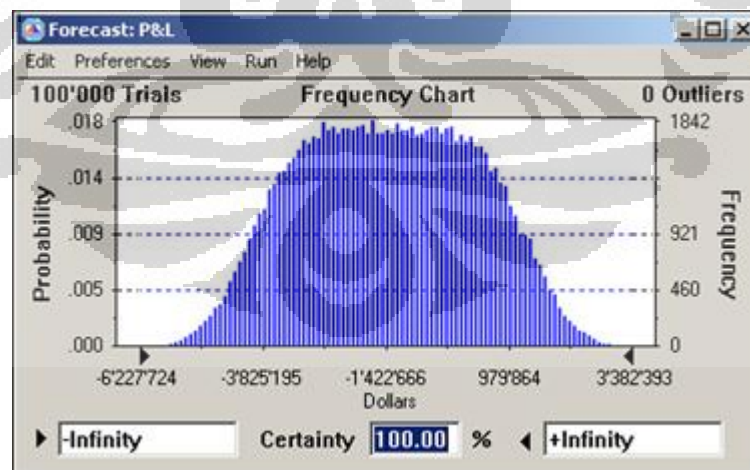
tidak pasti dalam model matematika. Perangkat lunak ini melibatkan berbagai macam skenario dari rentang nilai tertentu, atau distribusi probabilitas untuk setiap parameter yang tidak pasti di dalam *spreadsheet*. Perangkat lunak ini menghitung hasil untuk setiap skenario, menghasilkan rentang hasil yang dievaluasi untuk menilai risiko. Crystal Ball secara luas digunakan dalam pendidikan, perencanaan finansial, dan dalam industri lingkungan, minyak dan gas, dan telekomunikasi, di antara industri-industri lainnya. Ada banyak distribusi statistik untuk dipilih, atau pengguna dapat memasukan distribusi sendiri.

Kegunaan dari Crystal Ball termasuk di dalamnya analisis sensitivitas, korelasi, dan *fitting* data historis. Analisis sensitivitas menunjukkan variabel ketidakpastian mana yang paling kritis sehingga mendominasi ketidakpastian yang berhubungan dengan model. Fitur korelasi memungkinkan pengguna untuk menghubungkan variabel yang tidak pasti dengan perhitungan untuk *dependencies* positif atau negatif. Jika sudah terdapat data historis, fitur *data-fitting* dapat digunakan untuk membandingkan data dengan rentang hasil dan menghitung nilai parameter yang menghasilkan data yang paling sesuai.

Grafik dan laporan dari Crystal Ball memfasilitasi penyertaan detail sesuai dengan kebutuhan untuk menampilkan hasil secara efektif, walaupun tidak ada pilihan untuk mengedit format bagan.



Gambar 2.6 Model Crystal Ball
(Sumber: www.crystalballservices.com)



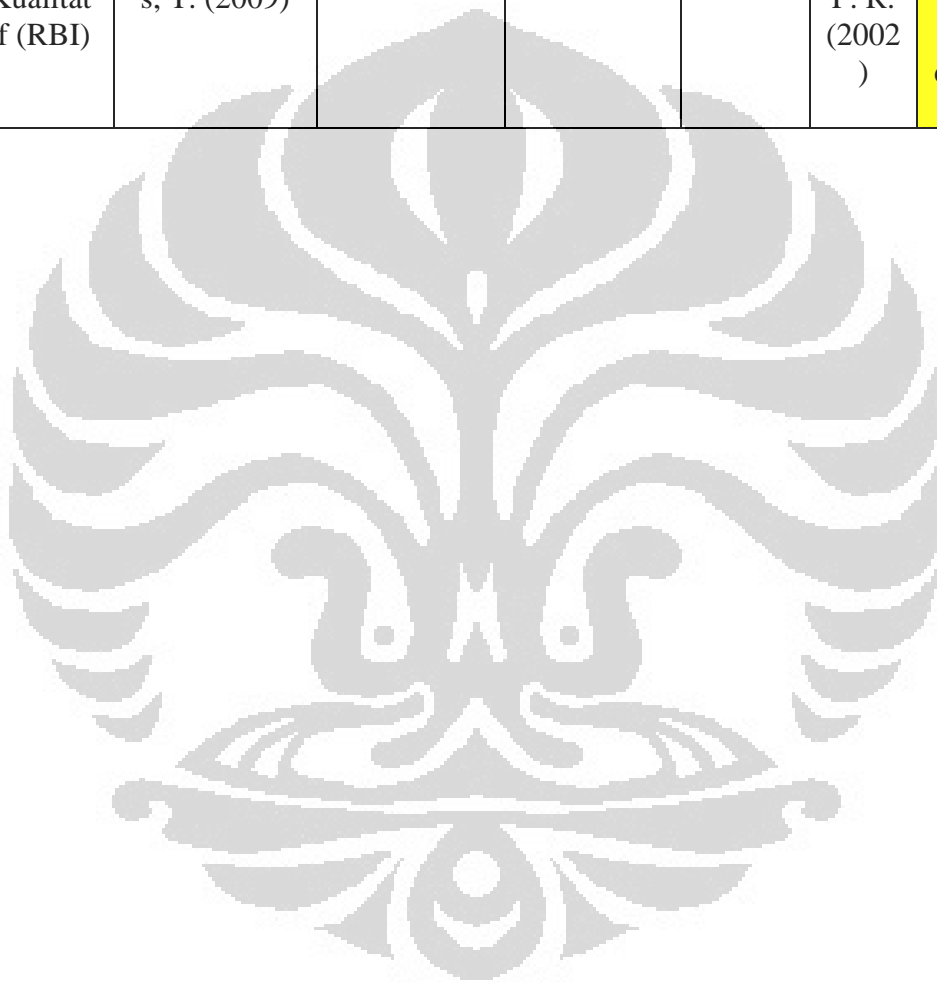
Gambar 2.7 Grafik Forecast dalam Crystal Ball
(Sumber: www.lib.ch)

2.7 State of The Art

Sejak kejadian Piper Alpha pada tahun 1988, Operation Safety Cases (OSC) diterapkan untuk memastikan bahwa kegiatan operasi pada fasilitas anjungan lepas pantai dapat berlangsung dengan aman (Cullen, 1990). Sejak itu, setiap perusahaan minyak dan gas bumi harus melakukan analisis risiko terhadap seluruh fasilitas anjungan lepas pantai yang dioperasikannya. Pada fasilitas anjungan lepas pantai yang terletak di Selat Bass telah dilakukan Risk Based Inspection (RBI), di mana nilai konsekuensi dan probabilitas yang didapat diplotkan ke dalam matriks risiko (Russ, 2002). Kemudian, pada anjungan yang terletak di lapangan Gullfaks, Laut Utara dilakukan analisis risiko kuantitatif untuk mempelajari risiko dampak *blowout* jika menggunakan *underbalanced drilling* (UBD) daripada menggunakan teknologi pengeboran konvensional (Arild et al, 2004). Pada fasilitas anjungan Wintershall Q4-C yang terletak di Laut Utara, diterapkan analisis risiko kuantitatif yang dikembangkan mengenai ketahanannya terhadap ledakan gas (Korndorf et al, 2004). Kemudian, pada anjungan yang terletak di lapangan Lunskeye, yang selain memproduksi gas juga memproduksi pasir, diterapkan analisis risiko kuantitatif untuk meminimalisasi risiko kegagalan, juga memaksimalkan produksi serta menurunkan biaya (Gunningham, 2008). Pada Teluk Meksiko (GOM), diterapkan RBI untuk mendapatkan nilai risiko, yang merupakan produk dari nilai kemungkinan kegagalan dan konsekuensi kegagalan, di mana nilai tersebut digunakan untuk mengoptimasi program inspeksi fasilitas terkait dengan praktik pada industri (Poullassichidis, 2009). Pada tahun 2011, dilakukan analisis risiko kuantitatif pada fasilitas anjungan lapangan Belanak dengan menggunakan perangkat lunak PHAST sebagai perangkat untuk menganalisis konsekuensi dari kejadian. Dari sini, penulis mencoba menyusun penelitian yang menerapkan analisis risiko semikualitatif pada fasilitas anjungan lapangan Alpha untuk mendapatkan bentuk sederhana dari nilai risiko yang telah dilakukan penelitian sebelumnya. Berikut merupakan tabel ringkasan dari penjelasan di atas.

Tabel 2.1 *State-of-the-Art*

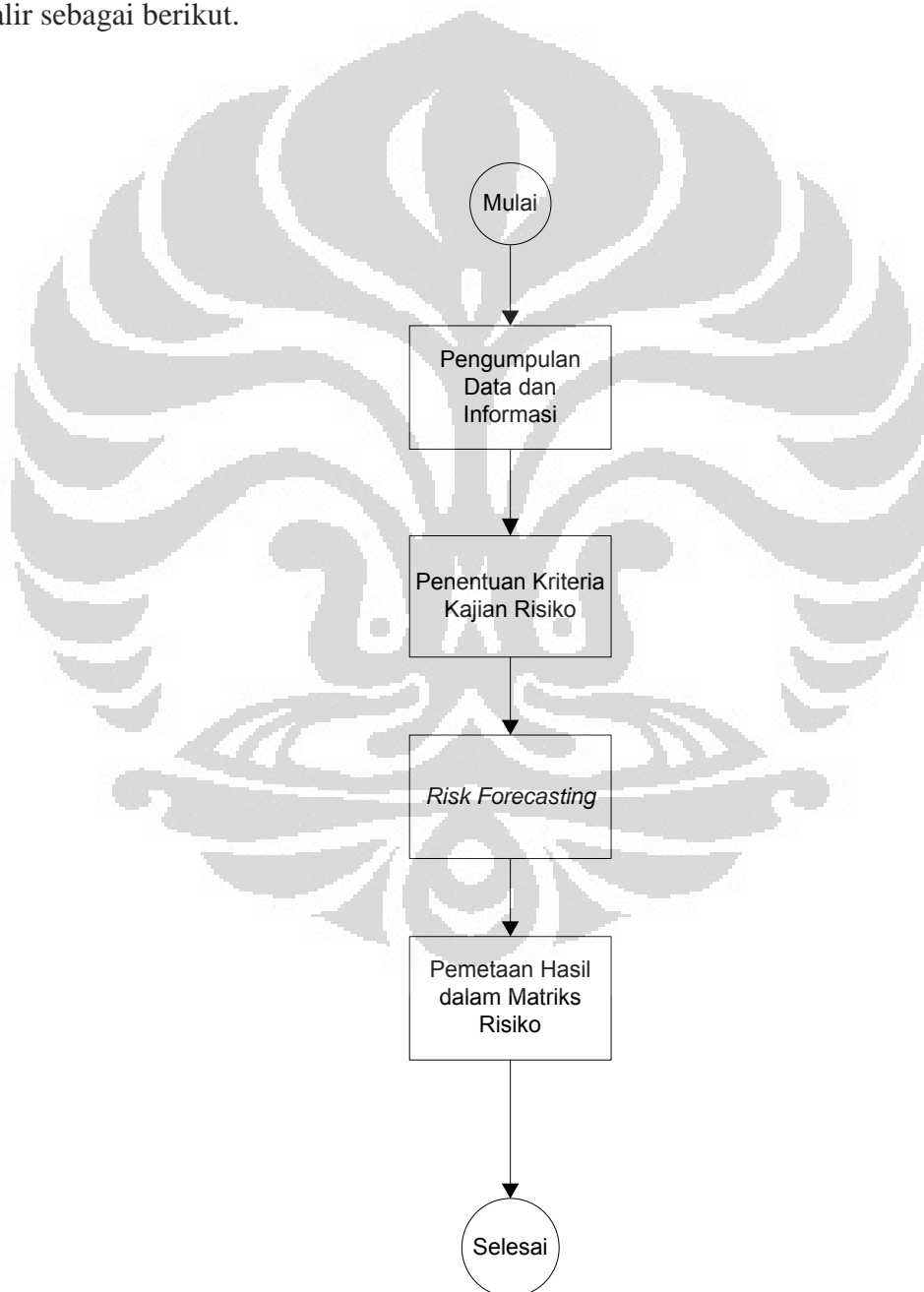
| Jenis Analisis | Lokasi | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | GOM | Lunskoye | Wintershal l Q4-C | Gulfaks | Bass Strait | Alpha |
| Kuantitatif | | Gunningham, M. C., M. A. Addis, et al. (2008) | Korndörffer, W., D. Schaap, et al. (2004) | Arild, T. Nilsen, et al. (2004) | | Cahyadi, L. (2011) |
| Semi Kualitatif (RBI) | Poulassichidis, T. (2009) | | | | Russ, P. R. (2002) | Penelitian yang akan dilakukan |



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, penelitian yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Pengumpulan Data dan Informasi

1. Mengumpulkan dan meninjau laporan inspeksi secara periodik
 - a. Mengumpulkan dan meninjau laporan pemeliharaan secara historis
 - b. Mengumpulkan dan meninjau kerusakan operasi dan pemeliharaan secara historis
 - c. Mengumpulkan dan meninjau kegagalan operasi dan pemeliharaan secara historis
 - d. Mengumpulkan dan meninjau kecelakaan operasi dan pemeliharaan secara historis
 - e. Mengumpulkan dan meninjau dokumen kesalahan tindakan manusia secara historis
 - f. Mengumpulkan dan meninjau dokumen patroli inspeksi jaringan pipa secara historis

3.2.2 Penentuan Kriteria Kajian Risiko

1. Menetapkan kriteria nilai probabilitas berdasarkan dokumen metodologi RBI untuk perpipaan yang dirilis oleh ConocoPhillips Indonesia, yang dimodifikasi dengan cara berkonsultasi dengan orang yang ahli. Tabel-tabel kriteria dapat dilihat sebagai berikut.
 - a. Korosi

i. Tabel Inspeksi Eksternal

Tabel 3.1 Kriteria Inspeksi Eksternal

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Pemeriksaan eksternal pada setiap pipa dan bejana secara menyeluruh. Pemeriksaan seperti pemeriksaan ketebalan dinding pipa / bejana, pemerikaan visual secara umum dilakukan secara rutin tiap tahun. Hasil pemeriksaan diperiksa, di analisa dan tindakan perbaikan segera dilakukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut | 1 |
| Pemeriksaan eksternal pada setiap pipa dan bejana secara menyeluruh. Pemeriksaan seperti pemeriksaan ketebalan dinding pipa / bejana, pemerikaan visual secara umum dilakukan dalam 2 atau 3 tahun terakhir. Hasil pemeriksaan diperiksa, di analisa dan tindakan perbaikan segera dilakukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut | 2 |
| Pemeriksaan eksternal pada pipa dan bejana tertentu. Pemeriksaan seperti pemeriksaan ketebalan dinding pipa / bejana, pemerikaan visual secara umum dilakukan dalam 2 atau 3 tahun terakhir. Hasil pemeriksaan diperiksa, di analisa dan tindakan perbaikan segera dilakukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut | 3 |
| Tidak dilakukan pemerikaan eksternal dalam 5 tahun terakhir | 4 |
| Pemeriksaan eksternal tidak pernah dilakukan | 5 |

ii. Tabel Pengaruh Umur

Tabel 3.2 Kriteria Pengaruh Umur

| Kriteria | Nilai |
|--|-------|
| Fasilitas perpipaan dan bejana dipasang menurut standar yang diakui pada tingkat nasional dan internasional yang berlaku, dan terpasang dalam 2 tahun terakhir | 1 |
| Fasilitas perpipaan dan bejana dipasang menurut standar yang diakui pada tingkat nasional dan internasional yang berlaku, dan terpasang dalam 5 tahun terakhir | 2 |
| Fasilitas perpipaan dan bejana sudah beroperasi selama antara 50% sampai 80% dari umurnya. Apabila umur tidak diketahui, perpipaan dan bejana sudah beroperasi selama kurang dari 10 tahun. | 3 |
| Fasilitas perpipaan dan bejana sudah beroperasi selama lebih dari 80% dari umurnya. Apabila umur tidak diketahui, perpipaan dan bejana sudah beroperasi selama 10-15 tahun. | 4 |
| Fasilitas perpipaan dan bejana sudah melewati batas umurnya dan tidak ada usaha untuk meningkatkan umurnya. Apabila umur tidak diketahui, perpipaan dan bejana sudah beroperasi lebih dari 15 tahun. | 5 |

iii. Tabel Proteksi Eksternal

Tabel 3.3 Kriteria Proteksi Eksternal

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Perpipaan dan bejana mempunyai perlindungan eksternal terhadap pengaruh korosi sesuai dengan standar yang berlaku, dan inspeksi terhadap efektifitas perlindungan eksternal dilakukan secara rutin 1 tahun sekali | 1 |
| Perpipaan dan bejana mempunyai perlindungan eksternal terhadap pengaruh korosi sesuai dengan standar yang berlaku, dan inspeksi terhadap efektifitas perlindungan eksternal dilakukan secara rutin 2 tahun sekali | 2 |
| Perpipaan dan bejana mempunyai perlindungan eksternal terhadap pengaruh korosi, dan inspeksi terhadap efektifitas perlindungan eksternal dilakukan satu kali dalam 5 tahun terakhir | 3 |
| Perpipaan dan bejana mempunyai perlindungan eksternal terhadap pengaruh korosi, dan tidak pernah pemeriksaan terhadap efektifitas perlindungan eksternal | 4 |
| Perpipaan dan bejana tidak mempunyai perlindungan eksternal terhadap pengaruh korosi. | 5 |

iv. Tabel Pengaruh Material

Tabel 3.4 Kriteria Pengaruh Material

| Kriteria | Nilai |
|---|-------|
| Bahan perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari <i>duplex stainless steel</i> yang mempunyai ketahanan yang sangat bagus terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S | 1 |
| Bahan perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari <i>stainless steel</i> yang mempunyai ketahanan terbatas terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S. Terdapat fasilitas injeksi CO ₂ <i>scavanger</i> dan H ₂ S <i>scavanger</i> untuk menghilangkan efek korosi | 2 |
| Bahan perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari <i>carbon steel</i> yang mempunyai ketahanan terbatas terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S. Terdapat fasilitas injeksi CO ₂ <i>scavanger</i> dan H ₂ S <i>scavanger</i> untuk menghilangkan efek korosi | 3 |
| Bahan perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari <i>stainless steel</i> yang mempunyai ketahanan terbatas terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S. Tidak terdapat fasilitas injeksi CO ₂ <i>scavanger</i> dan atau H ₂ S <i>scavanger</i> untuk menghilangkan efek korosi | 4 |
| Bahan perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari <i>carbon steel</i> yang mempunyai ketahanan terbatas terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S. Tidak terdapat fasilitas injeksi CO ₂ <i>scavanger</i> dan atau H ₂ S <i>scavanger</i> untuk menghilangkan efek korosi | 5 |

v. Tabel Pengaruh Fluida

Tabel 3.5 Kriteria Pengaruh Fluida

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Fluida tidak mengandung CO ₂ dan H ₂ S, dan P dan T operasi tidak memungkinkan CO ₂ dan H ₂ S memberikan efek negatif terhadap korosi | 1 |
| Fluida mengandung CO ₂ dan H ₂ S, dan P dan T operasi tidak memungkinkan CO ₂ dan H ₂ S memberikan efek negatif terhadap korosi | 2 |
| Fluida mengandung CO ₂ , dan P dan T operasi memungkinkan CO ₂ memberikan efek negatif terhadap korosi | 3 |
| Fluida mengandung H ₂ S, dan P dan T operasi memungkinkan H ₂ S memberikan efek negatif terhadap korosi | 4 |
| Fluida mengandung CO ₂ dan atau H ₂ S, dan P dan T operasi memungkinkan CO ₂ dan H ₂ S memberikan efek negatif terhadap korosi | 5 |

vi. Tabel Pengaruh Air

Tabel 3.6 Kriteria Pengaruh Air

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| <i>Carbon steel</i> , beroperasi kering, tidak ada air | 1 |
| <i>Carbon steel</i> , beroperasi kering, air mungkin ada namun hanya pada kondisi tidak normal dan secara efektif bisa dihilangkan | 2 |
| <i>Carbon steel</i> , terkadang mengandung air, biasanya dalam fasa uap. | 3 |
| <i>Carbon steel</i> , terkadang mengandung air, biasanya dalam fasa uap, terkadang dalam bentuk butiran | 4 |
| <i>Carbon steel</i> , mengandung air dalam situasi operasi normal | 5 |

b. Faktor Operasi

i. Tabel Perubahan Tekanan

Tabel 3.7 Kriteria Perubahan Tekanan

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Perubahan tekanan >10% MAOP terjadi kurang dari 10 kali per tahun | 1 |
| Perubahan tekanan >10% MAOP terjadi antara 10 dan 100 kali per tahun | 3 |
| Tidak ada data | 4 |
| Perubahan tekanan >10% MAOP terjadi lebih dari 100 kali per tahun | 5 |

ii. Tabel Perubahan Suhu

Tabel 3.8 Kriteria Perubahan Suhu

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Maksimal terjadi 1 kali turun-naik suhu dalam setahun lebih dari 50°C | 1 |
| Terjadi antara 1 sampai 5 kali turun-naik suhu dalam setahun lebih dari 50°C | 3 |
| Tidak ada data | 4 |
| Terjadi lebih dari 5 kali turun-naik suhu dalam setahun lebih dari 50°C | 5 |

c. Pengaruh Pihak Ketiga

i. Tabel Kerusakan Karena Pengaruh Pihak Ketiga

Tabel 3.9 Kriteria Kerusakan Karena Pengaruh Pihak Ketiga

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Fasilitas terletak jauh ditengah laut, teridentifikasi pada peta maritim dan memiliki pengamanan dan batas teretori atau identifikasi yang jelas | 1 |
| Fasilitas terletak jauh ditengah laut, teridentifikasi pada peta maritim dan tidak memiliki pengamanan, memiliki batas teretori atau identifikasi yang jelas | 2 |
| Fasilitas terletak jauh ditengah laut, teridentifikasi pada peta maritim dan tidak memiliki pengamanan dan tidak memiliki batas teretori atau identifikasi yang jelas | 3 |
| Fasilitas terletak dekat dengan pantai yang tidak berpenghuni, teridentifikasi pada peta maritim dan tidak memiliki pengamanan dan tidak memiliki batas teretori atau identifikasi yang jelas | 4 |
| Fasilitas terletak dekat dengan pantai yang berpenghuni, teridentifikasi pada peta maritim dan tidak memiliki pengamanan dan tidak memiliki batas teretori atau identifikasi yang jelas | 5 |

ii. Tabel Sabotase

Tabel 3.10 Kriteria Sabotase

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Situasi stabil. Tidak ada sejarah sabotase | 1 |
| Situasi stabil. Sabotase pernah terjadi di masa lalu | 3 |
| Terdapat gangguan sipil/militer | 4 |
| Terdapat gangguan sipil/militer. Sabotase terjadi | 5 |

d. Sejarah Kebocoran dan Pencegahannya

i. Tabel Sejarah Kebocoran

Tabel 3.11 Kriteria Sejarah kebocoran

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Tidak pernah terjadi kebocoran | 1 |
| Satu kebocoran terjadi akibat pihak ketiga | 3 |
| Satu atau lebih kebocoran terjadi akibat dari mekanisme apapun | 5 |

ii. Tabel Kegiatan Manajemen *Flange*Tabel 3.12 Kriteria Kegiatan Manajemen *Flange*

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Perapat <i>flange</i> yang digunakan sesuai dengan standar yang berlaku, manajemen penyambungan <i>flange</i> tingkat tinggi (<i>flange management</i>) dilakukan pada setiap sambungan <i>flange</i> . | 1 |
| Perapat <i>flange</i> yang digunakan sesuai dengan standar yang berlaku, manajemen penyambungan <i>flange</i> tingkat tinggi (<i>flange management</i>) dilakukan pada setiap sambungan <i>flange</i> kritis. | 2 |
| Perapat <i>flange</i> yang digunakan sesuai dengan standar yang berlaku, tidak dilakukan manajemen penyambungan <i>flange</i> (<i>flange management</i>) | 4 |
| Perapat <i>flange</i> yang digunakan tidak sesuai dengan standar yang berlaku, tidak dilakukan manajemen penyambungan <i>flange</i> (<i>flange management</i>) | 5 |

2. Menetapkan kriteria nilai konsekuensi dalam tabel-tabel sebagai berikut.

a. Konsekuensi Keselamatan

i. Tabel Kuantitas Keluaran

Tabel 3.13 Kriteria Kuantitas Keluaran

| Kriteria | Nilai |
|------------------------------------|--------------|
| Pipa/bejana diameter < 6 inchi | 1 |
| Pipa/bejana diameter 6 - 12 inchi | 2 |
| Pipa/bejana diameter 12 - 24 inchi | 3 |
| Pipa/bejana diameter > 24 inchi | 5 |

b. Konsekuensi Lingkungan

i. Tabel Jenis Fluida

Tabel 3.14 Kriteria Jenis Fluida

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Air | 1 |
| <i>Sweet natural gas</i> | 2 |
| Gas beracun dan atau mudah terbakar selain <i>sweet natural gas</i> | 3 |
| <i>Produced water</i> dan cairan beracun dan atau mudah terbakar kecuali minyak mentah dan fraksi berat | 4 |
| Minyak mentah dan fraksi berat | 5 |

ii. Tabel Kepadatan Populasi

Tabel 3.15 Kriteria Kepadatan Populasi

| Kriteria | Nilai |
|--|--------------|
| Fasilitas normalnya tidak berpenghuni | 1 |
| Fasilitas dihuni oleh 3 orang atau kurang dari 3 hari dalam seminggu | 2 |
| Fasilitas dihuni oleh 3 orang atau kurang dari 7 hari seminggu | 3 |
| Fasilitas dihuni oleh 4-10 kurang dari 3 hari dalam seminggu | 4 |
| Fasilitas dihuni oleh 4-10 kurang dari 7 hari dalam seminggu atau berpenghuni lebih dari 7 orang | 5 |

iii. Tabel Kemudahan Terbakar / Beracun

Tabel 3.16 Kriteria Kemudahan Terbakar/Toksisitas

| Kriteria | Nilai |
|---|--------------|
| Cairan tidak mudah terbakar dan tidak beracun | 1 |
| Gas tidak mudah terbakar dan tidak beracun | 2 |
| Cairan mudah terbakar dan atau beracun | 3 |
| <i>Sweet natural gas</i> | 4 |
| Gas mudah terbakar dan atau beracun | 5 |

c. Konsekuensi Finansial

Tabel 3.17 Kriteria Konsekuensi Finansial

| Kriteria | Nilai |
|---|-------|
| Dapat diabaikan – Tidak ada <i>shutdown</i> , kurang dari \$10k, perbaikan langsung | 1 |
| Rendah – Unit <i>shutdown</i> , \$10k-\$100k, perbaikan direncanakan | 2 |
| Sedang – <i>Shutdown</i> parsial, produksi turun, perbaikan cepat \$100k-\$1m | 3 |
| Tinggi – <i>Shutdown</i> produksi, perbaikan lebih lama, \$1m-\$10m | 4 |
| Sangat Tinggi – <i>Shutdown</i> jangka panjang, perbaikan besar, lebih dari \$10m | 5 |

d. Konsekuensi Reputasi

Tabel 3.18 Kriteria Konsekuensi Reputasi

| Kriteria | Nilai |
|---|-------|
| Sangat Tidak Terkenal – Cakupan lokal – <i>Flowline</i> | 1 |
| Tidak Terkenal – Cakupan lokal – <i>Gathering/Trunkline</i> | 2 |
| Cukup Terkenal – Cakupan provinsi | 3 |
| Terkenal – Cakupan nasional | 4 |
| Sangat Terkenal – Cakupan internasional | 5 |

3.2.3 Risk Forecasting

1. Menentukan nilai risiko terhadap keselamatan (R_S)

$$R_{1S} = (2f_{1.1} + f_{1.2} + \dots + f_{1.6})/7 \cdot c_s \quad (3.4)$$

$$R_{2S} = (2f_{2.1} + f_{2.2})/3 \cdot c_s \quad (3.5)$$

$$R_{3S} = (f_{3.1} + f_{3.2})/2 \cdot c_s \quad (3.6)$$

$$R_{4S} = (f_{4.1} + 3f_{4.2})/4 \cdot c_s \quad (3.7)$$

$$R_S = R_{1S} + R_{2S} + R_{3S} + R_{4S}/4 \quad (3.8)$$

Universitas Indonesia

Di mana:

$f_{1.1}$ = probabilitas – inspeksi eksternal

$f_{1.2}$ = probabilitas – pengaruh umur

$f_{1.3}$ = probabilitas – proteksi eksternal

$f_{1.4}$ = probabilitas – pengaruh material

$f_{1.5}$ = probabilitas – pengaruh fluida

$f_{1.6}$ = probabilitas – pengaruh air

$f_{2.1}$ = probabilitas – perubahan tekanan

$f_{2.2}$ = probabilitas – perubahan suhu

$f_{3.1}$ = probabilitas – kerusakan karena pihak ketiga

$f_{3.2}$ = probabilitas – sabotase

$f_{4.1}$ = probabilitas – sejarah kebocoran

$f_{4.2}$ = probabilitas – kegiatan manajemen *flange*

c_s = konsekuensi keselamatan

2. Menentukan nilai risiko terhadap lingkungan (R_E)

$$R_{1E} = (2f_{1.1} + f_{1.2} + \dots + f_{1.6})/7 \cdot (c_{er} + c_{ef} + c_{el})/3 \quad (3.9)$$

$$R_{2E} = (2f_{2.1} + f_{2.2})/3 \cdot (c_{er} + c_{ef} + c_{el})/3 \quad (3.10)$$

$$R_{3E} = (f_{3.1} + f_{3.2})/2 \cdot (c_{er} + c_{ef} + c_{el})/3 \quad (3.11)$$

$$R_{4E} = (f_{4.1} + 3f_{4.2})/4 \cdot (c_{er} + c_{ef} + c_{el})/3 \quad (3.12)$$

$$R_E = R_{1E} + R_{2E} + R_{3E} + R_{4E}/4 \quad (3.13)$$

Di mana:

c_{er} = konsekuensi lingkungan – besar kebocoran

c_{ef} = konsekuensi lingkungan – jenis fluida

c_{el} = konsekuensi lingkungan – faktor lokasi

3. Menentukan nilai risiko terhadap finansial (R_F)

$$R_{1F} = (2f_{1.1} + f_{1.2} + \dots + f_{1.6})/7 \cdot c_f \quad (3.14)$$

$$R_{2F} = (2f_{2.1} + f_{2.2})/3 \cdot c_f \quad (3.15)$$

$$R_{3F} = (f_{3.1} + f_{3.2})/2 \cdot c_f \quad (3.16)$$

$$R_{4F} = (f_{4.1} + 3f_{4.2})/4 \cdot c_f \quad (3.17)$$

$$R_F = R_{1F} + R_{2F} + R_{3F} + R_{4F}/4 \quad (3.18)$$

4. Menentukan nilai risiko terhadap reputasi (R_R)

$$R_{1R} = (2f_{1.1} + f_{1.2} + \dots + f_{1.6})/7 \cdot c_r \quad (3.19)$$

$$R_{2R} = (2f_{2.1} + f_{2.2})/3 \cdot c_r \quad (3.20)$$

$$R_{3R} = (f_{3.1} + f_{3.2})/2 \cdot c_r \quad (3.21)$$

$$R_{4R} = (f_{4.1} + 3f_{4.2})/4 \cdot c_r \quad (3.22)$$

$$R_R = R_{1R} + R_{2R} + R_{3R} + R_{4R}/4 \quad (3.23)$$

5. Menentukan nilai risiko keseluruhan

$$R = 2R_S + 2R_E + R_F + 2R_R/4 \quad (3.24)$$

6. Melakukan perhitungan Monte Carlo tersebut dengan perangkat lunak Crystal Ball

3.2.4 Pemetaan Hasil dalam Matriks Risiko

1. Memetakan hasil *risk forecasting* dalam matriks 5 x 5
2. Mengategorisasi risiko dalam kategori *acceptable*, ALARP, atau *unacceptable*.

3.2.5 Menyusun Tindakan Mitigasi

1. Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor apa saja yang paling berpengaruh dalam penilaian risiko.
2. Menyiapkan langkah mitigasi yang diperlukan untuk menurunkan nilai risiko hingga batas yang dapat diterima

3.2.6 Evaluasi Nilai Risiko Setelah Mitigasi

1. Memetakan nilai risiko baik sebelum maupun sesudah mitigasi dalam gambar kriteria risiko.
2. Melihat perubahan yang terjadi setelah mitigasi diterapkan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penilaian Kualitatif terhadap Kemungkinan (*Likelihood*)

Penilaian kualitatif terhadap kemungkinan (*likelihood*) dibagi menjadi 4 faktor, yaitu faktor korosi, operasi, pengaruh pihak ketiga, dan sejarah kebocoran. Hasil penilaian dari keempat faktor tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

4.1.1 Korosi

Pada bagian korosi terdapat 7 kriteria yang dapat digunakan dalam menentukan kemungkinan risiko yang dapat terjadi pada fasilitas anjungan lepas pantai, yaitu:

1) Inspeksi Eksternal

Sebagian besar pipa dan bejana dilakukan inspeksi eksternal secara rutin dan menyeluruh. Hasil inspeksi kemudian dianalisa kemudian dilakukan perbaikan apabila dibutuhkan. Sehingga, menurut Tabel 3.1, faktor ini mendapat **nilai 1** dengan sebaran data **distribusi triangle**.

2) Pengaruh Umur

Fasilitas perpipaan dan bejana diinstalasi sesuai dengan standard yang berlaku, dan terpasang sejak tahun 2006. Sehingga, menurut Tabel 3.2, faktor ini mendapatkan **nilai 2**, dengan sebaran data **distribusi triangle**.

3) Proteksi Eksternal

Seluruh pipa dan bejana yang terpasang memiliki proteksi eksternal terhadap pengaruh korosi sesuai dengan standard yang berlaku, dan inspeksi terhadap efektivitasnya dilakukan secara rutin setiap tahun. Faktor ini mendapat **nilai 1** dengan distribusi data **distribusi normal**.

4) Pengaruh Material

Perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari bahan *duplex stainless steel* yang memiliki ketahanan yang sangat bagus terhadap pengaruh korosi seperti CO₂ dan H₂S, sehingga faktor ini mendapatkan **nilai 1** dengan **distribusi normal**.

5) Pengaruh Fluida

Fluida mengandung CO₂ dan H₂S, dengan komposisi CO₂ yang lebih tinggi daripada H₂S. Tekanan dan suhu operasi memungkinkan kedua zat tersebut memberikan efek negatif terhadap korosi. Faktor ini mendapatkan **nilai 4**, dengan distribusi data **distribusi normal**.

6) Pengaruh Air

Dalam operasi normal ditemukan air, baik dalam bentuk uap, butiran, hingga air bebas (*free water*). Faktor ini mendapatkan **nilai 5**, dengan distribusi data **distribusi normal**.

4.1.2 Faktor Operasi

1) Siklus Tekanan

Siklus tekanan melebihi 10% MAOP terjadi 1-100 kali dalam setahun. Faktor ini mendapat **nilai 3**, dengan distribusi data **distribusi triangle**.

2) Siklus Suhu

Siklus suhu lebih dari 50°C terjadi antara 0-5 kali dalam setahun, sehingga faktor ini mendapat **nilai 1** dengan distribusi data **distribusi triangle**.

4.1.3 Pengaruh Pihak Ketiga

1) Kerusakan Karena Pihak Ketiga

Fasilitas terletak jauh di tengah laut, teridentifikasi oleh peta maritim, dan memiliki pengamanan serta batas teritori yang jelas. Faktor ini mendapat **nilai 1** dengan distribusi data **distribusi triangle**.

2) Sabotase

Fasilitas terletak di daerah yang situasinya stabil dan aman, tidak pernah terjadi sabotase. Faktor ini mendapat **nilai 1**, dengan distribusi data **distribusi triangle**.

4.1.4 Sejarah Kebocoran dan Pencegahan

1) Sejarah Kebocoran

Terdapat sekali kebocoran tingkat menengah. Oleh karena itu, faktor ini mendapat **nilai 3**, dengan distribusi data **distribusi triangle**.

2) Kegiatan Manajemen *Flange*

Manajemen *flange* dilakukan dengan baik. Maka, faktor ini mendapat **nilai 1**, dengan distribusi data **distribusi normal**.

4.2 Penilaian Kualitatif Konsekuensi

4.2.1 Konsekuensi Kualitatif terhadap Keselamatan

Pada konsekuensi ini terdapat 1 faktor, yaitu:

1) Kuantitas Keluaran

Diameter pipa dan bejana bervariasi dari 2 inchi hingga 102 inchi, dengan mayoritas pipa berukuran 6 inchi, sehingga faktor ini mendapatkan **nilai 2**.

4.2.2 Konsekuensi Kualitatif terhadap Lingkungan

1) Jenis Fluida

Pipa dan bejana digunakan untuk memproduksi gas alam, sehingga berdasarkan tabel konsekuensi 3.23, faktor ini mendapatkan **nilai 2**.

2) Kepadatan Populasi

Fasilitas anjungan ini umumnya tidak berpenghuni. Berdasarkan tabel konsekuensi 3.20, maka faktor ini mendapatkan **nilai 1**.

3) Tingkat Kemudahan Terbakar/Toksisitas

Pipa dan bejana digunakan untuk memproduksi gas alam, sehingga berdasarkan tabel konsekuensi 3.21, faktor ini mendapatkan **nilai 4**.

4.2.3 Konsekuensi terhadap Finansial

Dalam operasi normal, konsekuensi terhadap finansial dapat diabaikan. Berdasarkan tabel konsekuensi 3.25, faktor ini mendapatkan **nilai 1**.

4.2.4 Konsekuensi terhadap Reputasi

Lapangan Alpha dioperasikan oleh sebuah perusahaan asing dengan reputasi sangat tinggi dan memiliki cakupan internasional. Dalam kondisi operasi normal, kecelakaan kecil hanya akan diliput secara lokal Berdasarkan tabel konsekuensi 3.26, faktor ini mendapatkan **nilai 2**.

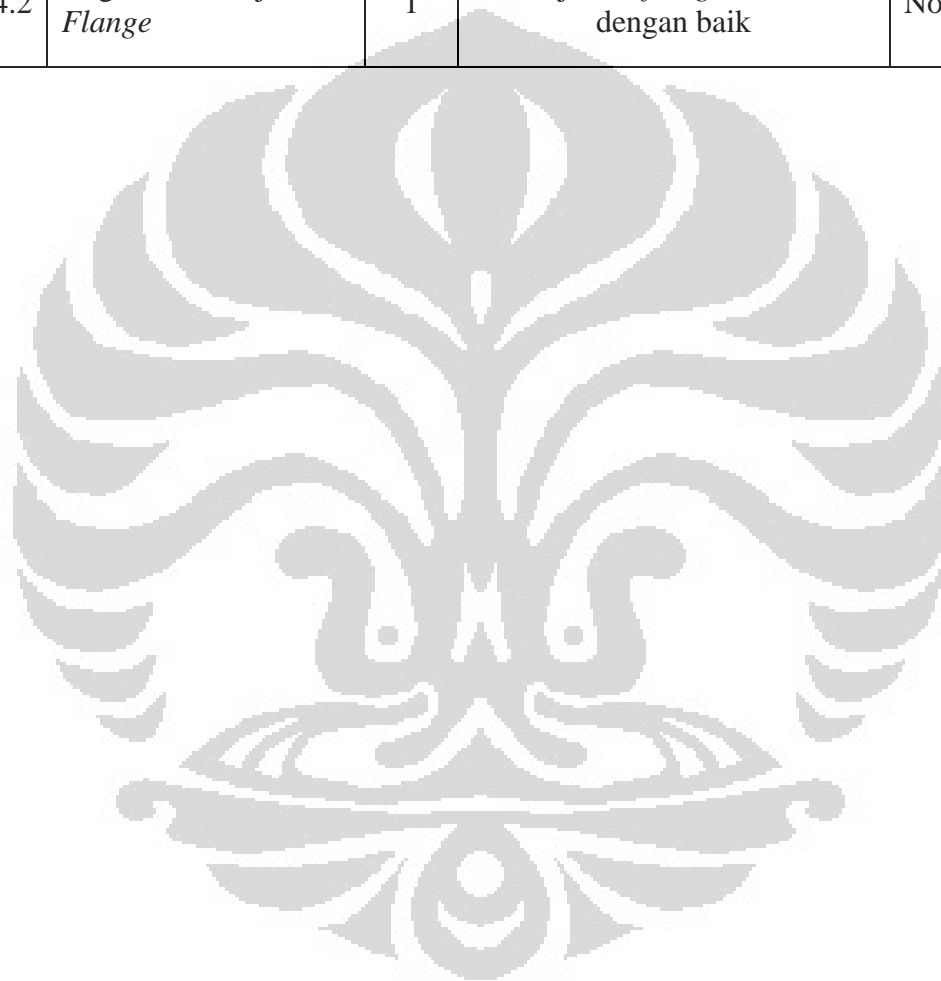
Penentuan kriteria probabilitas dan konsekuensi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dapat diringkas dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 4.1 Nilai Probabilitas

| A | PENILAIAN KUALITATIF TERHADAP KEMUNGKINAN | Probabilitas | | |
|----------|---|--------------|--|------------------------------|
| | | Jenis | Nilai | Deskripsi |
| 1 | Korosi | | | |
| 1.1 | Inspeksi Eksternal | 1 | Sebagian besar pipa dan bejana dilakukan inspeksi eksternal secara rutin dan menyeluruh. Hasil inspeksi kemudian dianalisa kemudian dilakukan perbaikan apabila dibutuhkan | Segitiga Siku-Siku Kanan 1-2 |
| 1.2 | Pengaruh Umur | 2 | Fasilitas perpipaan dan bejana diinstalasi sesuai dengan standard yang berlaku, dan terpasang sejak tahun 2006 | Segitiga Siku-Siku Kanan 2-3 |

| | | | | |
|----------|-------------------------------|---|--|------------------------------|
| 1.3 | Proteksi Eksternal | 1 | Seluruh pipa dan bejana yang terpasang memiliki proteksi eksternal terhadap pengaruh korosi sesuai dengan standard yang berlaku, dan inspeksi terhadap efektivitasnya dilakukan secara rutin setiap tahun | Normal |
| 1.4 | Pengaruh Material | 1 | Perpipaan dan bejana bertekanan terbuat dari bahan <i>duplex stainless steel</i> yang memiliki ketahanan yang sangat bagus terhadap pengaruh korosi seperti CO ₂ dan H ₂ S | Normal |
| 1.5 | Pengaruh Fluida | 4 | Fluida mengandung CO ₂ dan H ₂ S, dengan komposisi CO ₂ yang lebih tinggi daripada H ₂ S. Tekanan dan suhu operasi memungkinkan kedua zat tersebut memberikan efek negatif terhadap korosi | Normal |
| 1.6 | Pengaruh Air | 5 | Dalam operasi normal ditemukan air, baik dalam bentuk uap, butiran, hingga air bebas (<i>free water</i>) | Normal |
| 2 | Faktor Operasi | | | |
| 2.1 | Siklus Tekanan | 3 | Siklus tekanan melebihi 10% MAOP terjadi 1-100 kali dalam setahun | Segitiga Siku-Siku Kiri 1-3 |
| 2.2 | Siklus Suhu | 1 | Siklus suhu lebih dari 50°C terjadi antara 0-5 kali dalam setahun | Segitiga Siku-Siku Kanan 1-3 |
| 3 | Pengaruh Pihak Ketiga | | | |
| 3.1 | Kerusakan Karena Pihak Ketiga | 1 | Fasilitas terletak jauh di tengah laut, teridentifikasi oleh peta maritim, dan memiliki pengamanan serta batas teritori yang jelas | Segitiga Siku-Siku Kiri 0-1 |

| | | | | |
|----------|---|---|---|------------------------------|
| 3.2 | Sabotase | 1 | Fasilitas terletak di daerah yang situasinya stabil dan aman, tidak pernah terjadi sabotase | Segitiga Siku-Siku Kiri 0-1 |
| 4 | Sejarah Kebocoran dan Pencegahan | | | |
| 4.1 | Sejarah Kebocoran | 3 | Terdapat 1 kali kebocoran tingkat menengah | Segitiga Siku-Siku Kanan 3-5 |
| 4.2 | Kegiatan Manajemen <i>Flange</i> | 1 | Manajemen <i>flange</i> dilakukan dengan baik | Normal |



Tabel 4.2 Nilai Konsekuensi

| B | PENILAIAN KUALITATIF TERHADAP KONSEKUENSI | Probabilitas | | |
|----------|---|--------------|--|-----------|
| | | Jenis | Nilai | Deskripsi |
| 1 | Keselamatan | | | |
| 1.1 | Kuantitas Keluaran | 2 | Diameter pipa dan bejana bervariasi dari 2 inchi hingga 102 inchi, dengan mayoritas pipa berukuran 6 inchi | 2-3 |
| 2 | Lingkungan | | | |
| 2.2 | Jenis Fluida | 2 | Pipa dan bejana digunakan untuk memproduksi gas alam | 2-3 |
| 2.2 | Kepadatan Populasi | 1 | Fasilitas anjungan ini umumnya tidak berpenghuni | 1-2 |
| 1.3 | Kemudahan Terbakar atau Toksisitas | 4 | Pipa dan bejana digunakan untuk memproduksi gas alam | 3-4 |
| 3 | Finansial | 1 | Dalam kondisi operasi normal, konsekuensi terhadap finansial dapat diabaikan. | 1-2 |
| 4 | Reputasi | 2 | Hanya terdapat kecelakaan kecil yang hanya diliput dalam cakupan lokal | 1-2 |

4.3 Simulasi Monte Carlo dan Evaluasi Risiko

Model risiko kualitatif yang telah dirumuskan sebelumnya kemudian dilakukan simulasi Monte Carlo dengan menggunakan perangkat lunak sederhana perhitungan probabilitas ketidakpastian Crystal Ball dan dilakukan percobaan perhitungan sebanyak 100.000 kali dengan tingkat kepastian 85%. Nilai risiko

yang didapatkan dari simulasi kemudian dievaluasi dengan menggunakan matriks risiko sebagai berikut.

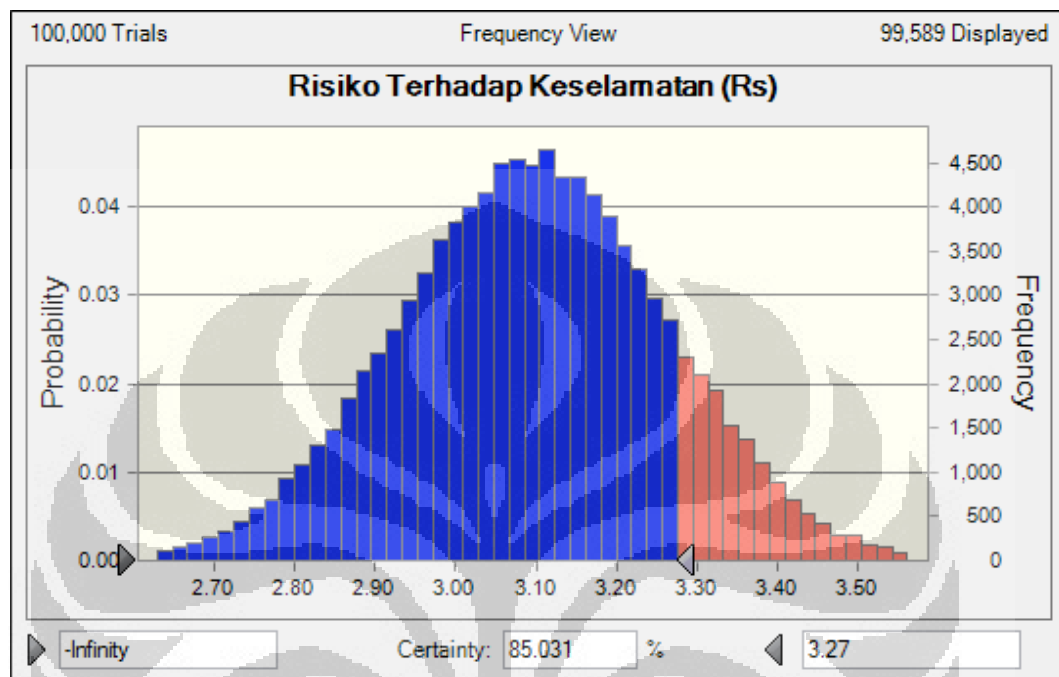
| | | | | | |
|---|----|----|----|----|---|
| 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | |
| 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | |
| 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | |
| 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Gambar 4.1 Matriks Risiko

Daerah yang berwarna hijau menunjukkan nilai risiko yang rendah atau dapat diterima (*generally acceptable*), sedangkan daerah yang berwarna merah menunjukkan nilai risiko yang tinggi atau tidak dapat diterima (*generally unacceptable*). Daerah berwarna kuning menunjukkan nilai risiko yang termasuk dalam zona risiko ALARP (*As Low As Reasonably Practical*).

Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai risiko terhadap berbagai faktor sebagai berikut.

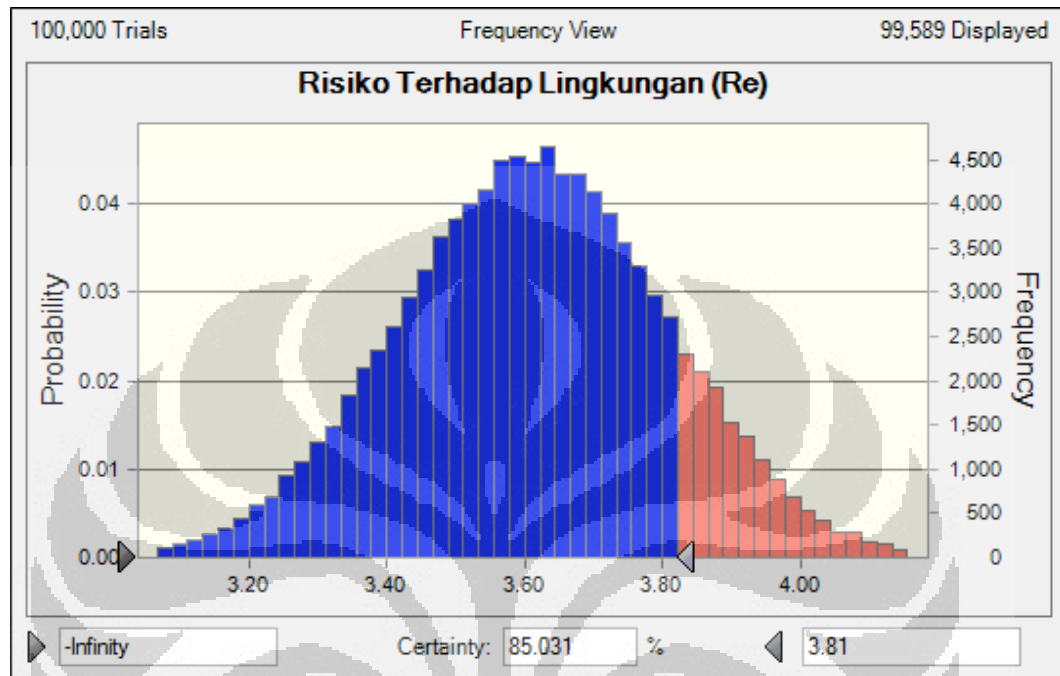
1) Risiko Terhadap Keselamatan



Gambar 4.2 Prakiraan Risiko Terhadap Keselamatan

Hasil simulasi menunjukkan sebaran nilai antara 2,70 hingga 3,50 dan pada tingkat kepastian 85% nilai risiko adalah 3,27 yang berarti bahwa risiko terhadap keselamatan tergolong risiko yang dapat diterima.

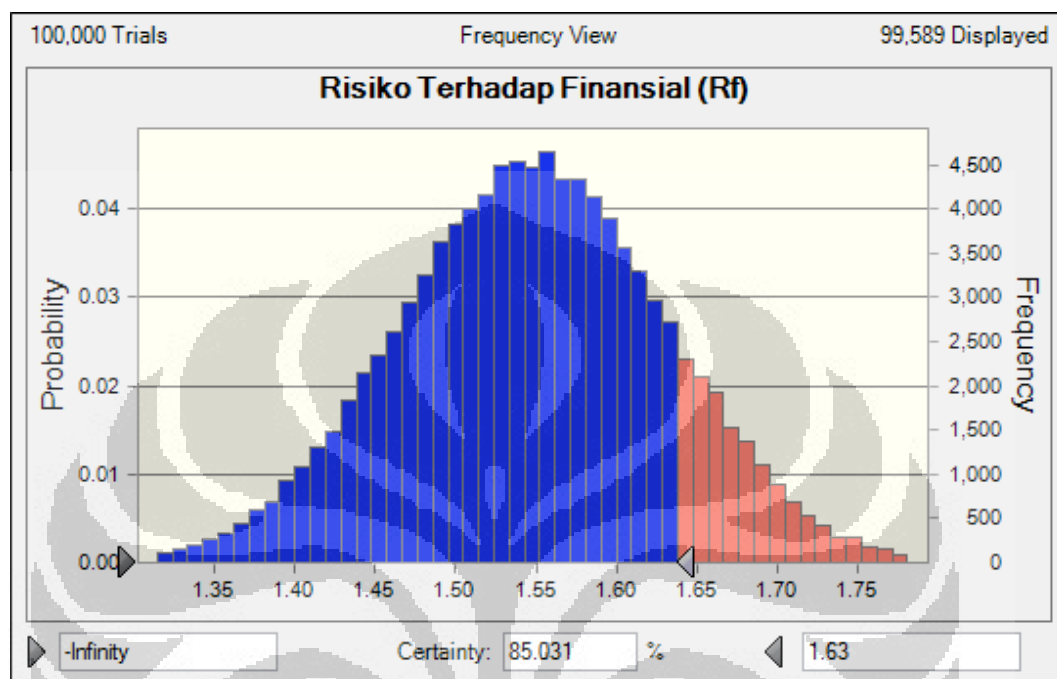
2) Risiko Terhadap Lingkungan



Gambar 4.3 Prakiraan Risiko Terhadap Lingkungan

Hasil simulasi Monte Carlo untuk risiko terhadap lingkungan menunjukkan sebaran nilai antara 3,20 hingga 4,00 dan pada tingkat kepastian 85% nilai risiko adalah 3,81 yang berarti risiko terhadap lingkungan ini tergolong dalam risiko yang dapat diterima.

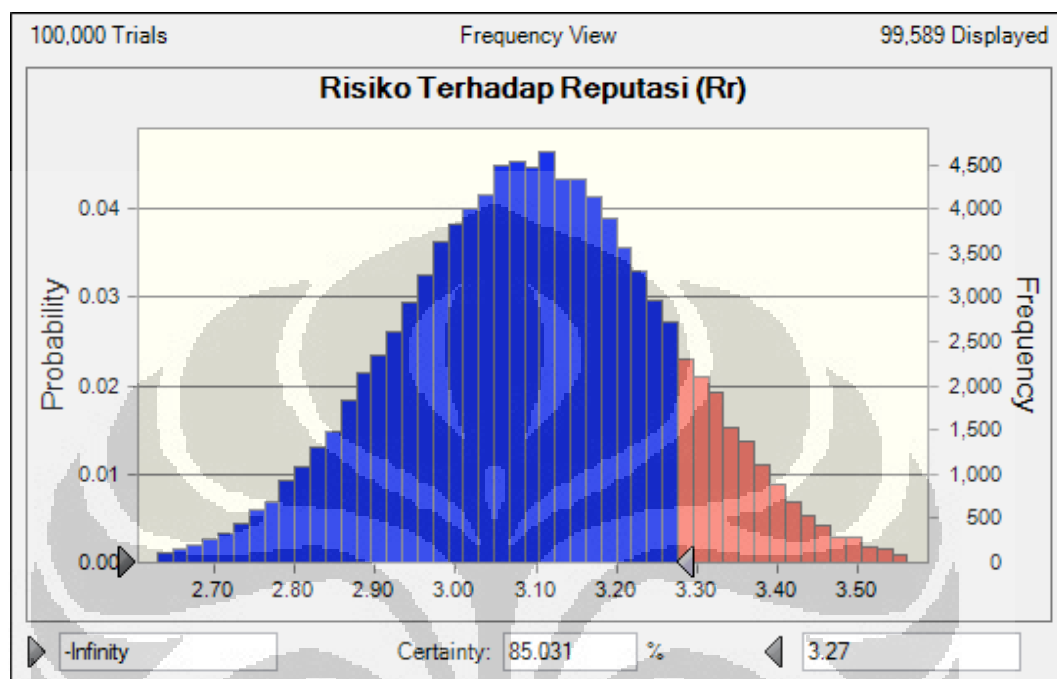
3) Risiko Terhadap Finansial



Gambar 4.4 Prakiraan Risiko Terhadap Finansial

Hasil simulasi Monte Carlo untuk risiko terhadap finansial menunjukkan sebaran nilai antara 1,35 hingga 1,75 dan pada tingkat kepastian 85% nilai risiko adalah 1,63 yang berarti risiko terhadap finansial tersebut tergolong risiko yang dapat diterima.

4) Risiko Terhadap Reputasi

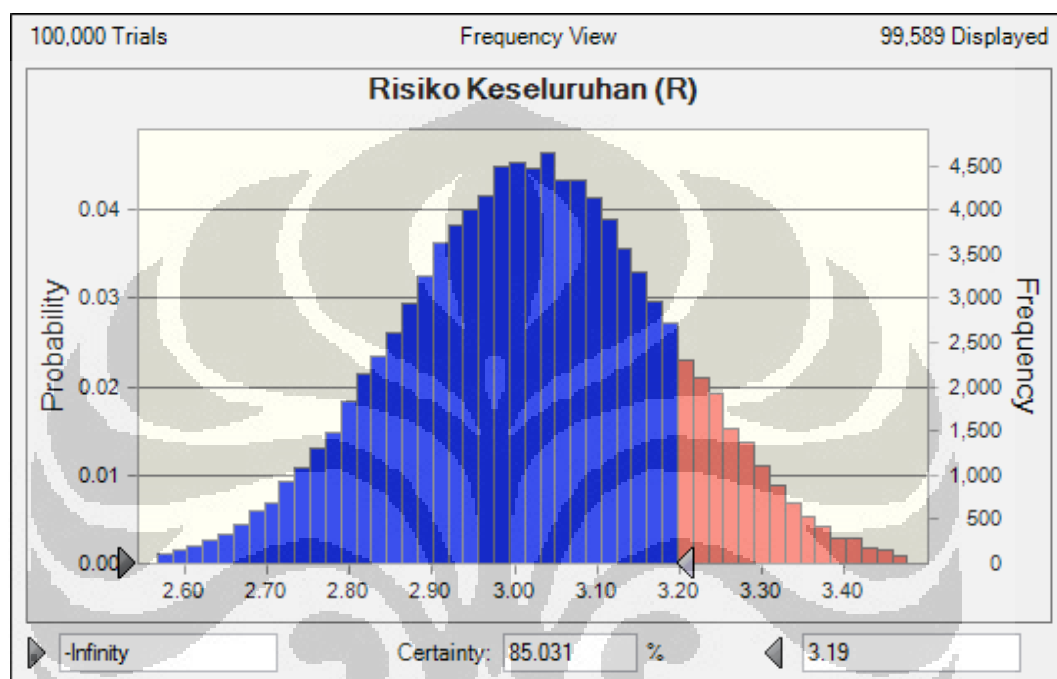


Gambar 4.5 Prakiraan Risiko Terhadap Reputasi

Hasil simulasi Monte Carlo untuk risiko terhadap reputasi menunjukkan sebaran nilai antara 2,70 hingga 3,50 dan pada tingkat kepastian 85% nilai risiko adalah 3,27 yang berarti risiko terhadap reputasi tersebut tergolong dalam risiko yang dapat diterima.

5) Risiko Keseluruhan

Kombinasi dari empat faktor risiko di atas memberikan hasil simulasi model risiko keseluruhan sebagai berikut.



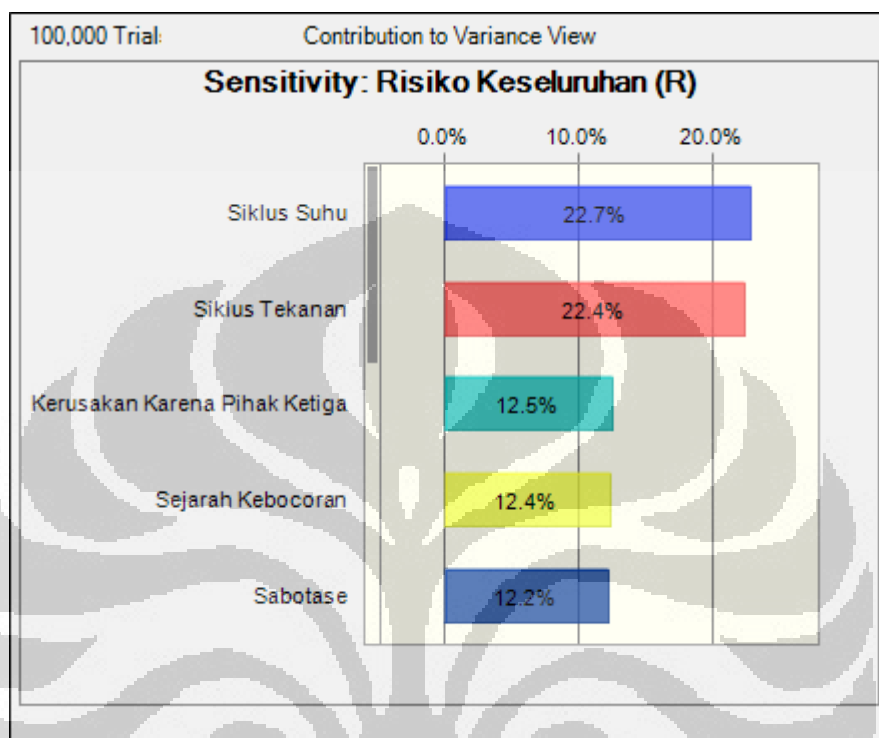
Gambar 4.6 Risiko Keseluruhan

Hasil simulasi Monte Carlo untuk risiko keseluruhan menunjukkan sebaran nilai antara 2,60 hingga 3,40 dan pada tingkat kepastian 85% nilai risiko adalah 3,19 yang berarti risiko keseluruhan fasilitas anjungan lepas pantai ini tergolong dalam risiko yang dapat diterima.

4.4 Tindakan Mitigasi

Dengan melihat nilai risiko yang telah didapatkan setelah dilakukan simulasi, maka tindakan mitigasi tidak diperlukan. Hal ini disebabkan nilai risiko sudah tergolong dalam risiko yang dapat diterima. Dalam kondisi ini, biaya yang dibutuhkan dalam tindakan mitigasi tidak akan sebanding dengan hasil yang didapatkan, karena nilai risiko tersebut sudah cukup kecil untuk dapat diturunkan kembali.

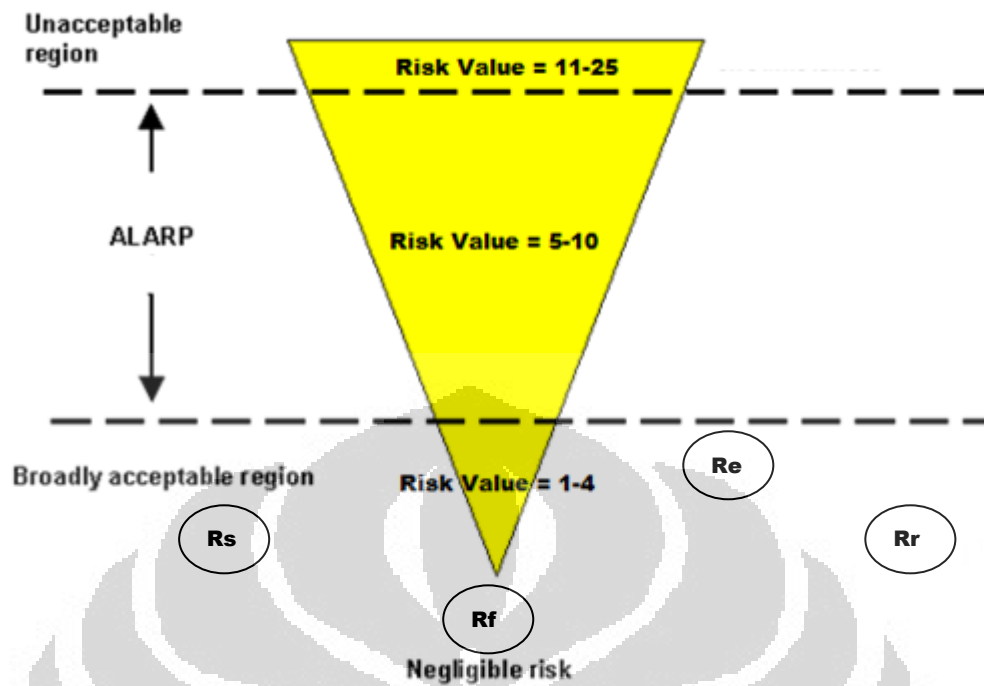
Adapun analisis sensitivitas terhadap risiko keseluruhan memberikan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.7 Sensitivitas Risiko Keseluruhan

Dari analisis sensitivitas di atas, didapatkan faktor yang paling berpengaruh dalam nilai risiko keseluruhan pada fasilitas anjungan lepas pantai adalah siklus suhu dan siklus tekanan.

Nilai risiko terhadap masing-masing faktor apabila dipetakan dalam gambar kriteria risiko akan memberikan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.8 Pemetaan Nilai Risiko

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa risiko terhadap keselamatan, lingkungan, finansial, dan reputasi berada dalam daerah risiko yang secara luas dapat diterima. Artinya, pengoperasian fasilitas anjungan lepas pantai di Lapangan Alpha memiliki risiko yang dapat diterima, sehingga aman bagi kehidupan manusia dan lingkungan di sekitarnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Penilaian risiko semikualitatif terhadap fasilitas anjungan lepas pantai dengan menggunakan metode RBI (*Risk Based Inspection*) dan simulasi Monte Carlo dengan perangkat lunak Crystal Ball memberikan nilai risiko sebesar 3,19, yang berarti pengoperasian fasilitas anjungan lepas pantai aman bagi manusia dan lingkungan disekitarnya.
- Fasilitas anjungan lepas pantai memiliki risiko terhadap keselamatan, lingkungan, finansial, dan reputasi sebesar 3,27, 3,81, 1,63, dan 3,27. Hal ini berarti berarti pengoperasian fasilitas tersebut memiliki potensi dampak terhadap keselamatan, lingkungan, finansial, dan reputasi yang kecil.

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

- Analisis risiko harus dilakukan secara rutin untuk mengetahui nilai risiko terkini dari pengoperasian fasilitas.
- Penelitian tidak cukup berdasarkan data sekunder, perlu turun langsung ke lapangan untuk mengetahui kondisi aktual sehingga nilai risiko yang didapatkan lebih akurat.

DAFTAR REFERENSI

- Anderman, E. R. (2003). Review of Crystal Ball, Calibra Consulting LLC.
- Mukharror, D. A. and A. Trianto (2007). Quantitative Risk Assessment of the Export Manifold at Hydrocarbon Processing Facilities. International Conference on Risk Technology & Management, ITB, Bandung.
- Cahyadi, L. (2011). Aplikasi Penilaian Resiko Kuantitatif Resiko Individu Pertahun pada Anjungan Kepala Sumur Minyak dan Gas Well Head Platform A Lapangan Belanak. Departemen Teknik Kimia. Depok, Universitas Indonesia. **Magister**.
- Carpignano, A., W. Priotti, et al. (1996). Risk Analysis Techniques Applied to Floating Oil Production in Deepwater Offshore Environments. Turin, Politecnico di Torino.
- ConocoPhillips (2004). Risk Based Inspection Application Guideline. COPI-OPR-OM-MA-00079.
- ConocoPhillips (2005). Offshore Topside Facilities RBI Methodology & Procedure. OPR-OM-PR-00038.
- ConocoPhillips (2006). Onshore RBI Pipelines Methodology. OPR-OM-PR-00048.
- Cullen, D. 1990. *The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster*. Department of Energy, HMSO Cm 1310, London.
- Franks, A. (2007). A Simplified Approach to Estimating Individual Risk. Warrington, Amey VECTRA Limited.
- Gunningham, M. C., M. A. Addis, et al. (2008). Applying Sand Management Process on the Luskoye High Gas-Rate Platform using Quantitative Risk Assessment. Intelligent Energy Conference and Exhibition. Amsterdam, The Netherlands.
- Health & Safety Executive. (2001). Reducing Risks, Protecting People. HSE's decision-making process. Norwich, Crown.
- Health & Safety Executive. (2003). OFFSHORE HYDROCARBON RELEASES STATISTICS AND ANALYSIS. Merseyside.
- Korndörffer, W., D. Schaap, et al. (2004). An Integrated Approach for Gas Dispersion, Gas Explosion and Structural Impact Analysis for an Offshore Production Platform on the Dutch Continental Shelf.

- Muhlbauer, W. K. (2004). Pipeline Risk Management Manual. Burlington, Gulf Professional Publishing.
- Poulasichidis, T. (2009). Application of Risk Based Inspection to Offshore Facilities. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. New Orleans, Louisiana.
- Russ, P. R. (2002). Equipment Strategy Development for Down-hole Tubulars. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Melbourne, Australia.
- Simiu, E. (1992). Reliability of Offshore Operations: Proceedings of An International Workshop. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology.
- Sommeng, A. N., H. Hermansyah, et al. "Risk Forecast of Gas Transmission Pipeline Maintenance using Random Number Generation Simulation." Asian Transactions on Engineering **01**(02): 41-54.
- Veritas, D. N. (2005). Accident statistics for Floating Offshore Units on the UK Continental Shelf 1980-2003. Norwich, Health & Safety Executive.