



TUGAS AKHIR - MO141326

PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM ANALISA RISIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE

FACHRI KURNIA MARADIKA

NRP. 04311540000134

Dosen Pembimbing :

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - MO141326

PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM ANALISA RISIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE

FACHRI KURNIA MARADIKA

NRP. 04311540000134

Dosen Pembimbing :

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



FINAL PROJECT - MO141326

APPLICATION OF FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS IN ANALYSIS OF OFFSHORE PIPELINE RISK OPERATIONS

FACHRI KURNIA MARADIKA

NRP. 04311540000134

Supervisors :

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM ANALISA RISIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE

TUGAS AKHIR

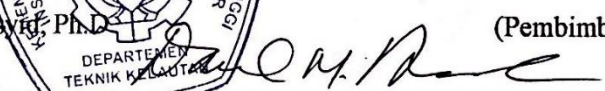
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program S1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :

Fachri Kurnia Maradika
NRP 04311540000134

Disetujui oleh :

Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.  (Pembimbing 1)

Prof. Ir. Daniel M. Rosyidi, Ph.D.  (Pembimbing 2)

Dr. Eng., Shade Rahmawati, S.T., M.T.  (Penguji 1)

SURABAYA JULI 2019

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS
DALAM ANALISA RISIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**

Nama : Fachri Kurnia Maradika
NRP : 04311540000134
Departemen : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Abstrak

Pipa merupakan suatu teknologi yang digunakan untuk mengalirkan fluida seperti minyak, gas, atau air dalam jumlah besar dan jarak jauh atau di daerah lepas pantai maupun di daratan. Karena medan yang akan dilalui sangat beragam yaitu mulai dari dataran rendah, di dalam tanah, dan di dalam laut maka tidak lepas dari resiko yang bersifat tidak pasti. Maka dari itu untuk mengurangi kerugian yang membahayakan lingkungan dan pekerja harus dipastikan bahwa pipeline beroperasi secara aman. Pada tugas akhir ini akan dilakukan Analisa resiko pada *offshore pipeline* menggunakan pendekatan *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Terdapat 14 risiko kegagalan setelah diidentifikasi yang berpotensi terjadinya kegagalan pada kondisi operasi. Hasil perhitungan menggunakan metode FMEA dan *fuzzy* FMEA didapatkan bahwa mode kegagalan terbesar terdapat pada internal korosi dengan hasil RPN sebesar 512 dan FRPN sebesar 8,32. Langkah selanjutnya adalah menentukan posisi zona kegagalan pada matriks risiko yang mengacu pada sumber. Setelah mengetahui posisi zona risiko, maka dapat dilakukan langkah mitigasi atau pencegahan agar mengurangi potensi terjadinya kegagalan.

Kata Kunci : *Pipeline Offshore, Failure Mode and Effect Analysis, Risk Priority Number, Matriks Risiko*

**APPLICATION OF FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS IN ANALYSIS OF OFFSHORE PIPELINE RISK
OPERATIONS**

Name : Fachri Kurnia Maradika
Reg Number : 04311540000134
Department : Teknik Kelautan FTK – ITS
Supervisors : Silvianita,S.T., M.Sc.,Ph.D.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Abstract

Pipeline is a technology that is used to transport fluid such as oil, gas or water in large quantities and over long distances or in areas offshore and onshore. Because the terrain to be traversed is very diverse, starting from the lowlands, in the seabed, and in the sea so it cannot be separated from the risks that are uncertain. Therefore to reduce losses that endanger the environment and workers must be ensured that the pipeline operates safely. In this final project risk analysis will be carried out on the offshore pipeline using Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis. This method can prevent or detect the failure mode earlier. Then the calculation of fuzzy is done to get the highest and lowest number. There are 14 risks of failure after being identified that have potential for failure in operating conditions. The calculation results using the FMEA and fuzzy FMEA methods found that the biggest failure mode is in internal corrosion with the RPN results is 512 and FRPN is 8,32. The next step is to determine the position of the failure zone in the risk matrix that refers to the source. After knowing the position of the risk zone, mitigation or prevention measures can be taken to reduce the potential for failure.

Keywords : *Pipeline Offshore, Failure Mode and Effect Analysis, Risk Priority Number, Matriks Resiko, Fuzzy.*

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, dan karunia Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul " PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS DALAM ANALISA RISIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE" ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dimana Tugas Akhir membahas tentang analisa risiko yang dapat terjadi pada kondisi operasi *offshore pipeline* menggunakan metode *failure mode effect and analysis* dan *fuzzy failure mode effect and analysis* serta menentukan *ranking* risiko kegagalan pada *offshore pipeline* kondisi operasi.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pihak lain. Akhir kata penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di dunia kelautan dan bagi banyak pihak

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2019

Fachri Kurnia Maradika

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan semangat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Daddy, Mommy, dan Adek yang selalu memberikan doa dan dukungan. Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D selaku dosen pembimbing II dalam Tugas Akhir ini yang telah memberikan ilmu, nasehat, serta waktunya untuk mendidik dan membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. selaku dosen wali penulis yang telah membantu saya dan membimbing saya selama proses perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan.
4. Angkatan saya Tritonous P55 L33 yang telah membantu saya selama masa perkuliahan dalam suka maupun duka.
5. Serta Arek – Arek yang telah mengisi masa perkuliahan penulis dalam suka maupun duka.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bias saya sebutkan satu – persatu. Semoga senantiasa bantuan yang diberikan menjadi berkat yang bermanfaat bagi semua pihak.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	vii
Abstract	viii
KATA PENGANTAR	ix
UCAPAN TERIMAKASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
1.6 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Risiko	7
2.2.2 Jenis – Jenis Risiko	11
2.2.3 Identifikasi Risiko	11
2.2.4 Analisa Risiko	21
2.2.5 Risiko pada Pipa Bawah Laut	21
2.2.6 Penilaian Risiko	23
2.2.7 Pengendalian Risiko.....	24
2.2.8 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	25
2.2.8.1 Jenis – Jenis FMEA.....	27
2.2.8.2 Tahapan Pembuatan FMEA	28
2.2.9 Risk Priority Number (RPN).....	31
2.2.10 Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39

3.1	Diagram Alir	39
3.2	Prosedur Penelitian	40
3.2.1	Perumusan Masalah	40
3.2.2	Studi Literatur	40
3.2.3	Identifikasi Variabel.....	41
3.2.4	Pengumpulan Data	41
3.2.5	Pengolahan Data.....	41
3.2.6	Pengendalian Resiko	42
3.2.7	Kesimpulan dan Saran.....	42
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Pengumpulan Data	43
4.2	Identifikasi Risiko	45
4.3	Analisa Risiko dengan Metode FMEA	46
4.3.1	Penilaian Risiko	49
4.3.2	Perhitungan Risk Priority Number.....	52
4.4	Analisa Risiko dengan Metode Fuzzy FMEA	57
4.4.1	Fuzzification.....	58
4.4.2	Rule Evaluation.....	60
4.4.3	Defuzzification	61
4.5	Saran Pengendalian Risiko.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN.....		73
BIODATA PENULIS		111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema Jaringan Pipa	1
Gambar 1.2 Peta Wilayah Kerja.....	2
Gambar 1.3 Gambar Sistem Pipa Bawah Laut.....	3
Gambar 2. 1 Klasifikasi Risiko	8
Gambar 2. 2 <i>Free Span</i> pada pipa bawah laut	14
Gambar 2. 3 <i>Buckling</i> pada Pipa	15
Gambar 2. 4 Eksternal Korosi pada Pipeline	15
Gambar 2. 5 Internal Korosi pada Pipeline	16
Gambar 2. 6 <i>Scouring</i> pada Pipeline.....	16
Gambar 2. 7 Aktivitas Lifting di Platform	17
Gambar 2. 8 Pipa Kejatuhan Jangkar	17
Gambar 2. 9 Pukat Harimau.....	18
Gambar 2. 10 Efek Gempa Bumi	19
Gambar 2. 11 Terdapat Benda didalam Pipa	19
Gambar 2. 12 Kerak Dalam Pipa	20
Gambar 2. 13 <i>Back Pressure</i> pada Pipeline	21
Gambar 2. 14 Matriks Risiko	24
Gambar 2. 15 Struktur FMEA berdasarkan teori <i>fuzzy</i>	33
Gambar 2. 16 <i>Triangular Fuzzy Number</i>	34
Gambar 2. 17 <i>Membership Functions for Severity</i>	35
Gambar 2. 18 <i>Membership Function for Severity</i>	36
Gambar 2. 19 <i>Membership Function for Occurrence</i>	36
Gambar 2. 20 <i>Membership Function for Detection</i>	36
Gambar 2. 21 Output dari <i>fuzzy</i>	37
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	40
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Pipeline	44
Gambar 4. 2 Struktur FMEA berdasarkan teori <i>fuzzy</i>	57
Gambar 4. 3 Input dan ouput <i>fuzzy</i>	58
Gambar 4. 4 Input angka <i>severity</i>	59
Gambar 4. 5 Input angka output.....	59

Gambar 4. 6 <i>Input rule IF - THEN</i>	61
Gambar 4. 7 Ouput hasil <i>deffuzification</i>	62
Gambar 4. 8 Matriks Risiko	65

DAFTAR TABEL

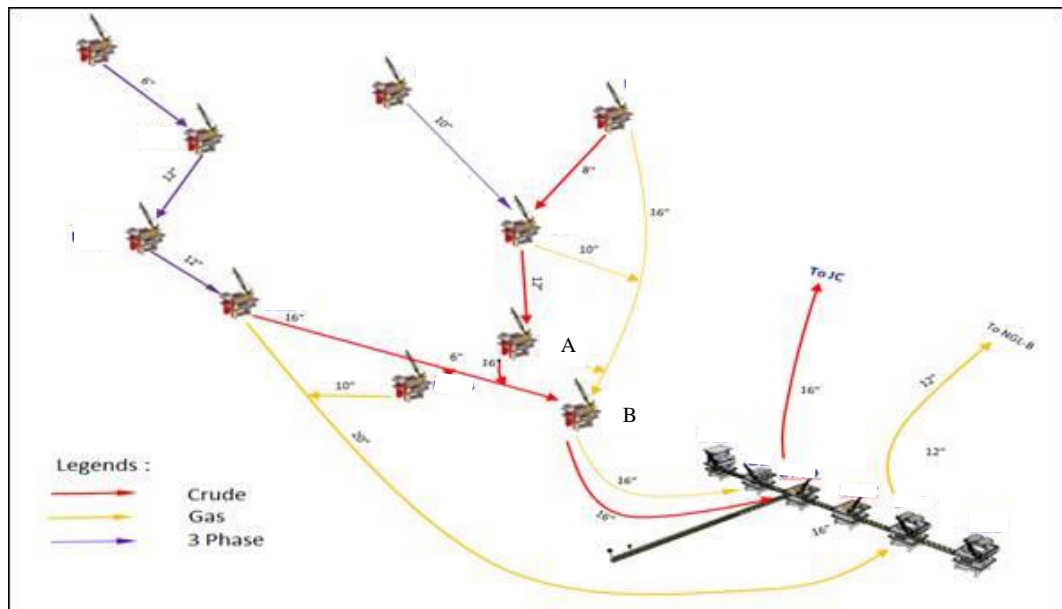
Tabel 2. 1 Tingkatan Severity	29
Tabel 2. 2 Tingkatan Occurrence	30
Tabel 2. 3 Tingkatan Detection	31
Tabel 2. 4 Contoh Aturan <i>Fuzzy</i>	35
Tabel 2. 5 <i>Membership Number for Example</i>	37
Tabel 3. 1 Data Umum	41
Tabel 4. 1 Data Desain Pipeline	44
Tabel 4. 2 Identifikasi Kegagalan	45
Tabel 4. 3 Identifikasi Mode Kegagalan	47
Tabel 4. 4 Kriteria Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>)	50
Tabel 4. 5 Kriteria Tingkat Kejadian (<i>Occurrence</i>)	51
Tabel 4. 6 Kriteria Tingkat Deteksi (<i>Detection</i>)	52
Tabel 4. 7 Hasil Pengelompokkan Kuisisioner	53
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Index	54
Tabel 4. 9 Tabel Persentase Index	55
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan RPN	56
Tabel 4. 11 Ranking Perhitungan Metode FMEA	57
Tabel 4. 12 Data Input <i>fuzzification</i>	58
Tabel 4. 13 Data Output <i>fuzzification</i>	59
Tabel 4. 14 <i>Rule fuzzy IF - THEN</i>	60
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan <i>fuzzy</i> FMEA	62
Tabel 4. 16 Perbandingan hasil perhitungan FMEA dengan <i>fuzzy</i> FMEA	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tugas akhir ini pipa penyalur minyak (*Mail Oil Line*) yang digunakan bertipe pipa bawah laut 10" dari MOL A – B. Pada saat ini pipa 10" MOL A - B berfungsi sebagai pipa utama penyalur produksi minyak dari anjungan. Total produksi minyak yang mengalir melalui pipa ini kurang lebih 3.600 BOPD. Oleh karena itu, ketersediaan pipa MOL A – B sangat penting. Lokasi pipa ini terletak pada koordinat 106 30'BT – 109 BT dan 5 30' LS – 6 30' LS.



Gambar 1. 1 Skema Jaringan Pipa

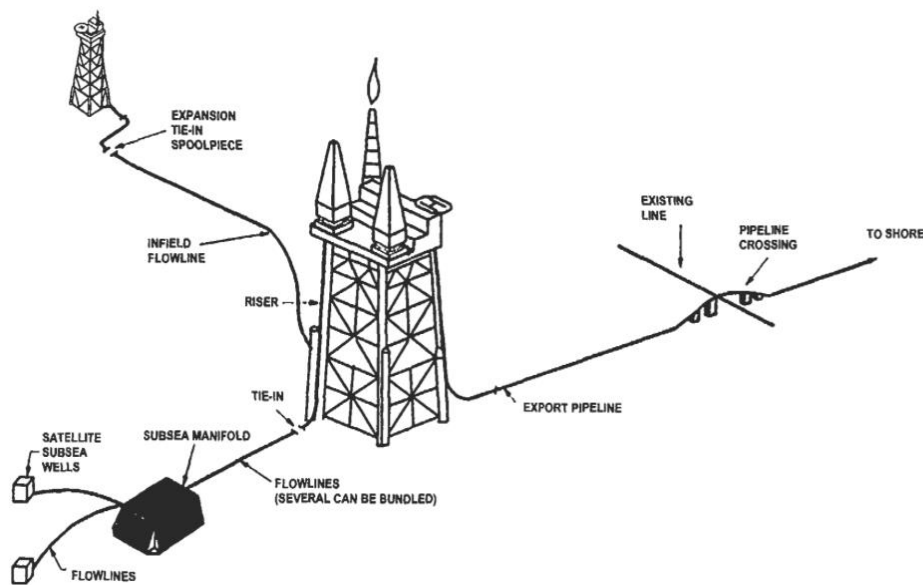
Lokasi pipa ini terletak di lepas pantai laut Jawa, terbentang dari Kepulauan Seribu sampai utara Indramayu seluas 17.895 km², berjarak sekitar 20 – 75 mil dari garis pantai utara. Diwilayah tersebut terdapat fasilitas produksi yang terbagi menjadi dua aset yaitu wilayah West dan wilayah East. Fasilitas produksi sekarang meliputi 468 *production strings*, 171 *platform*, dan 40 fasilitas servis dan proses. Lebih dari ribuan mil jalur pipa terkoneksi ke fasilitas produksi. Juga terdapat fasilitas *Crude Oil Storage Barge*.



Gambar 1. 2 Peta Wilayah Kerja

Minyak dan gas alam merupakan contoh sumberdaya mineral yang penting dan dibutuhkan oleh kita sebagai manusia. Seperti yang kita ketahui, Indonesia merupakan salah satu negara dengan kekayaan sumber daya alam, termasuk sumber daya mineral. Dengan cadangan minyak bumi dan gas alam yang melimpah diperlukan fasilitas yang mendukung untuk memanfaatkan sumber daya alam tersebut.

Sebagian sumber daya alam yang tersedia berada di daerah lepas pantai. Salah satu infrastruktur yang banyak digunakan untuk mendistribusikan sumber daya alam tersebut adalah menggunakan jaringan pipa dibawah laut. Jaringan pipa bawah laut memiliki kelebihan yaitu biaya operasional dan perawatan yang rendah ditambah usia operasional yang relatif Panjang. Dapat dilihat pada gambar 1.3 dibawah ini merupakan contoh sistem pipa bawah laut



Gambar 1. 3 Gambar Sistem Pipa Bawah Laut (Guo,2005)

Subsea pipeline adalah suatu sistem transportasi untuk produk hidrokarbon seperti *crude oil*, gas alam bertekanan tinggi atau *condensate* yang relative bertekanan rendah dalam jumlah yang besar dan jarak jauh melalui daerah lepas pantai. *Pipeline* dapat bekerja 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun selama umur pipa yang dapat mencapai 30 tahun atau bahkan lebih (Soegiono, 2007).

Jaringan pipa adalah bagian dalam suatu proses flow diagram suatu industry migas. Pipa rentan memiliki risiko kegagalan yang perlu diperhitungkan sehingga perlu diadakannya pemeriksaan. Pada industri minyak dan gas, bagian yang paling sering mengalami kegagalan adalah pipa penyalur, hal ini dikarenakan pipa merupakan bagian tersebar dari unit produksi minyak dan gas, sehingga peluang kegagalan juga besar dibandingkan dengan equipment lain.

Berdasarkan catatan kegagalan pengoperasian pipa di Amerika pada periode 1967 sampai 2008, korosi merupakan salah satu penyebab utama kegagalan saluran pipa yang mencapai 50% dari total kegagalan yang terjadi. Aktivitas maritim selanjutnya menempati peringkat kedua penyebab kegagalan sebesar 14%. Aktivitas maritim utama yang muncul adalah kerusakan pipa bawah laut akibat jangkar kapal yang beroperasi di area pipa. Kegagalan pipa karena aktivitas alam (gempa, *scouring*, dll) menempati urutan ketiga sebesar 12 % dan sisanya sebanyak 1047 kejadian penyebab kegagalan saluran pipa bawah laut akibat sebab – sebab

lain. Seperti penjelasan diatas, walaupun korosi merupakan penyebab kegagalan pipa tertinggi namun hampir semua peristiwa kematian, luka – luka, kerusakan dan polusi disebabkan oleh kerusakan akibat aktivitas kapal di area pipa (Kent MW, 2004).

Secara umum dapat dikatakan bahwa semua hal yang berkaitan dengan desain, konstruksi, dan operasi dari pipa bawah laut harus diupayakan untuk menjamin bahwa tidak ada satu kegagalan yang akan berdampak bagi keselamatan jiwa atau berdampak bagi kerusakan fasilitas dan lingkungan. Karena itu analisa yang sistematis harus dapat dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi konsekuensi yang diakibatkan oleh kegagalan pada sistem pipa bawah laut agar nantinya upaya kontrol dan mitigasi dapat dilakukan untuk menghindari atau mengurangi dampak dari bahaya tersebut.

Menurut Santosa (2009), risiko proyek adalah suatu peristiwa (*event*) atau kondisi yang tidak pasti (*uncertain*), yang mempengaruhi positif maupun negatif pada tujuan proyek. Pada suatu pelaksanaan proyek akan terjadi berbagai ketidakpastian yang akan menimbulkan suatu resiko yang dapat menghambat kelancaran proyek dan dapat mempengaruhi potensi kecelakaan kerja. Setiap kecelakaan kerja akan menimbulkan kerugian material maupun fisik. Kecelakaan kerja adalah salah satu dari sekian banyak masalah dibidang kesehatan kerja. Dengan menerapkan usaha keselamatan dan kesehatan kerja (K3) maka kejadian kecelakaan kerja dapat dihindari. Akan tetapi sering sekali masih terjadi kecelakaan pada peralatan mesin, lingkungan, dan pekerja.

Analisa resiko adalah sebuah prosedur untuk mengenali suatu ancaman dan kemudian akan di analisa untuk memastikan hasil, dan mengetahui dampak yang ditimbulkan dan dapat dihilangkan atau dikurangi. Ada beberapa metode untuk melakukan analisa resiko. Salah satunya adalah metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan pendekatan logika *Fuzzy*. FMEA merupakan suatu metode yang sistematis dalam mengidentifikasi dan mencegah masalah yang terjadi pada produk dan proses (McDermott, 2009). Logika *fuzzy* adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Logika *fuzzy* merupakan salah satu metode untuk melakukan analisa system yang mengandung ketidakpastian dalam Rusmiati (2016) menurut Kusumadewi. Dari hasil analisa

dengan metode FMEA akan memberikan hasil *severity* (S), *occurrence* (O), *detection* (D) dari mode kegagalan yang terjadi.

Dari hasil identifikasi dan analisa resiko diketahui hasil kegagalan yang paling tinggi. Setiap kegiatan yang memiliki hasil kegagalan paling tinggi akan menyebabkan terjadinya potensi kecelakaan kerja. Hasil kegagalan yang paling tinggi membutuhkan penanganan resiko untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan. Salah satu teknik untuk menangani resiko adalah dengan mitigasi resiko, yaitu dengan melakukan tindakan untuk mengurangi peluang terjadinya peristiwa yang tidak di harapkan yang dapat menimbulkan dampak negatif.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini ada beberapa permasalahan yang akan dibahas yaitu :

1. Apa saja mode kegagalan yang dapat terjadi pada saat *offshore pipeline* beroperasi?
2. Berapa hasil perhitungan FMEA dan *fuzzy* FMEA pada analisa risiko *offshore pipeline* ketika beroperasi?
3. Bagaimana cara pengendalian resiko kegagalan pada saat *offshore pipeline* beroperasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini mencakup beberapa hal antara lain :

1. Mengetahui mode kegagalan yang terjadi pada saat *offshore pipeline* beroperasi.
2. Mengetahui perhitungan FMEA dan *fuzzy* FMEA pada analisa risiko *offshore pipeline* ketika beroperasi.
3. Mengetahui cara pengendalian resiko kegagalan operasi dominan yang tepat pada saat *offshore pipeline* beroperasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, manfaat yang akan didapat adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan referensi untuk pihak lain dalam menganalisa risiko analisis risiko kegagalan operasi *offshore pipeline*.
2. Dapat mengidentifikasi risiko kegagalan operasi sedini mungkin, sehingga dapat membantu untuk meminimalisir risiko yang ada.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini dimulai dengan BAB I berupa pendahuluan yang berisi tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, manfaat penelitian, batasan-batasan masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan penelitian serta sistematika penulisan.

Pada BAB II berisi tinjauan pustaka dan dasar teori. Pada bagian ini penulis menjelaskan teori dasar, pengertian risiko, langkah – langkah Analisa risiko, penjelasan metode FMEA dan *fuzzy* FMEA. Tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir.

Pada BAB III dalam penulisan Tugas Akhir ini akan menggambarkan dan menjelaskan tentang diagram alir (*flow chart*) yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dan metodologi yang digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Pada BAB IV berisikan analisa dan pembahasan penelitian dalam tugas akhir ini. Bab ini membahas identifikasi variabel risiko, dan dilanjutkan dengan perhitungan RPN (*Risk Priority Number*) dan perhitungan *Fuzzy Risk Priority Number* dilanjutkan dengan pengolahan data hasil dari analisa pemodelan hingga menghasilkan output yang dikehendaki.

Pada BAB V ini berisikan tentang kesimpulan dari penulisan tugas akhir, yang mana berisi tentang hasil akhir dari analisa yang telah dilakukan sesuai dengan permasalahan yang ada, serta beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyempurnaan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

1.6 Batasan Masalah

Ruang lingkup dalam laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Risiko yang diteliti adalah risiko operasi pada *offshore pipeline* yang berpotensi mengalami kegagalan.
2. Mengidentifikasi risiko yang berpotensi berdasarkan analisa responden yang berpengalaman.
3. Tidak menghitung estimasi biaya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Keselamatan proses merupakan faktor utama yang sering dibahas oleh industri – industri kimia beberapa tahun ini. Industri minyak dan gas merupakan sektor industri yang memiliki risiko tinggi (Dimas, 2014). Menurut Suhartini dan Ziko (2013) risiko menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam setiap aktivitas perusahaan sehingga cara terbaik yang dapat dilakukan adalah mengantisipasi dan melindungi proses terhadap risiko – risiko.

Jichuan dkk (2017) pada jurnal yang berjudul *Risk Assessment of Floating Offshore Wind Turbine Based on Correlation FMEA* mengidentifikasi insiden dan menganalisa konsekuensi menggunakan metode FMEA. Untuk analisa lain menggunakan metode FMEA menurut Emi Rusmiati (2016) pada penelitiannya metode FMEA dapat mengurangi, mencegah terjadinya cacat (*damage*) dan menentukan jesin kerusakan mana yang harus di prioritaskan ntuk diberikan solusinya. Menurut Mehri, dkk (2019) terlepas dari kelebihan FMEA, metode ini banyak dikritik oleh peneliti karena berbagai keterbatasan. Untuk menghilangkan kekurangan itu beberapa peneliti telah mengusulkan metode alternative dengan menggabungkan metode FMEA dengan pendekatan logika *fuzzy*.

Suhartini dan Ziko (2013) pada jurnal bertema analisa risiko dengan metode *fuzzy* FMEA pada proses produksi mengidentifikasi terdapat 20 *failure mode* dengan 7 *failure mode* memiliki angka RPN yang sama sehingga mempersulit dalam memprioritaskan risiko mana yang akan didahulukan. Akan tetapi setelah dilakukan pendekatan logika *fuzzy* dengan menghitung angka *severity*, *occurance*, dan *detection* didapatkan 1 *failure mode* dengan angka tertinggi. Oleh karena itu dalam penelitian ini difokuskan pada identifikasi dan analisa risiko pada kondisi operasi yang menyebabkan kegagalan pada *offshore pipeline*.

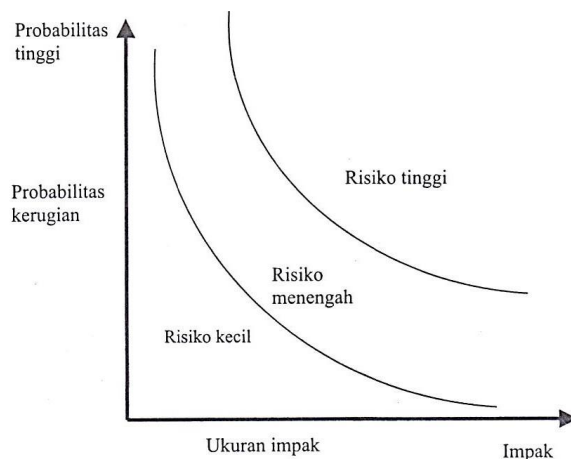
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Risiko

Risiko merupakan kombinasi dari probabilitas dengan kegiatan dan konsekuensi dari kejadian, dengan tidak menutup kemungkinan bahwa ada

lebih dari satu kejadian, dan konsekuensinya bisa merupakan hal positif maupun negative (Shorttreed, dkk. 2003). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) risiko adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan.

Menurut Santosa (2009), risiko proyek adalah suatu peristiwa (*event*) atau kondisi yang tidak pasti (*uncertain*), jika terjadi mempunyai pengaruh positif maupun negative pada tujuan proyek. Untuk suatu kejadian, dapat dilihat dari sisi probabilitas dan dampaknya. Suatu peristiwa bisa mempunyai probabilitas kecil dengan dampak yang besar, atau probabilitas kecil dengan dampak yang kecil,



Gambar 2. 1 Klasifikasi Risiko (Santosa, 2009)

Menurut Emmaett J. Vaughan dan Curtis M. Elliott (1990), risiko didefinisikan sebagai :

1. Kans kerugian (*The chance of loss*)
2. Kemungkinan kerugian (*The possibility of loss*)
3. Ketidakpastian (*Uncertainty*)
4. Penyimpangan kenyataan dari hasil yang diharapkan (*The probability of any outcome different from the one expected*)

Pengertian risiko dalam lingkup proyek adalah kemungkinan terjadinya suatu kondisi yang tidak menguntungkan sebagai akibat dari hasil keputusan yang diambil atau kondisi lingkungan dilokasi proyek yang berdampak pada kualitas proyek. Menurut Barkley (2004) risiko proyek dibagi menjadi beberapa kategori antara lain :

1. Risiko Teknis (*Technical Risk*)

Risiko teknis merupakan risiko yang berhubungan dengan cara kerja atau proses dalam menyelesaikan suatu pekerjaan.

2. Risiko Manajemen Proyek (*Project Management Risk*)

Risiko manajemen proyek akan terjadi ketika pengelolaan proyek menyimpang dari perencanaan yang telah dibuat atau menyimpang dalam proses pengendaliannya. Pengendalian dalam proses ini didukung oleh sistem informasi dari *Project Management Office*.

3. Risiko Organisasi (*Organization Risk*)

Risiko organisasi dimiliki oleh perusahaan dalam hal ini adalah perusahaan konsultan perencana. Dinamika perusahaan yang kurang baik seperti masalah sumber daya perusahaan, pimpinan perusahaan dapat menyebabkan risiko ini terjadi.

4. Risiko Eksternal (*External Risk*)

Risiko eksternal berada diluar jangkauan tim proyek maupun perusahaan. Risiko eksternal dapat terjadi dalam segala macam proyek seperti kondisi ekonomi nasional, dampak dari komunikasi pada perusahaan multinasional dan kesulitan pada proses jual beli yang mengganggu tujuan akhir proyek.

5. Risiko Informasi Terdahulu (*Historical Information*)

Informasi data – data terdahulu baik secara teknis pekerjaan maupun laporan pekerjaan dapat menjadi suatu risiko yang berpengaruh terhadap kinerja proyek.

6. Risiko Dokumentasi Proyek (*Project Files*)

Proses dokumentasi proyek yang sudah tersusun dengan baik belum dioptimalkan pemanfaatannya. Hal ini biasanya terjadi karena budaya tim proyek yang tidak pernah belajar dari pengalaman sebelumnya walaupun informasi yang sudah tersedia.

7. Informasi yang Dipublikasikan

Risiko ini bersumber dari pedoman, artikel maupun informasi lainnya yang mendukung tujuan proyek.

Berdasarkan kategori risiko proyek yang telah diuraikan diatas kategori risiko teknis menurut Barkley (2004) adalah :

1. Sistem dan prosedur pelaksanaan
Factor ini terkait dengan sistem dan prosedur operasi yang diperlukan dalam pelaksanaan sesuai dengan sifat dan jenis kegiatan.
2. Karakteristik atau kondisi lingkungan proyek yang mempengaruhi proses pekerjaan proyek.
3. Penggunaan peralatan dan material yang digunakan.
Peralatan dan material merupakan faktor pendukung dalam proses penyelesaian pekerjaan.
4. Tenaga kerja
Manajemen sumber daya manusia dapat dimasukkan dalam faktor risiko manajemen proyek.

Dalam mengidentifikasi risiko, beberapa ahli membaginya menjadi beberapa kategori, diantaranya adalah :

1. Menurut Al Bahar dan Crandall, 1990
 - Risiko finansial dan ekonomi
 - Risiko desain
 - Risiko politik dan lingkungan
 - Risiko yang berhubungan dengan konstruksi
 - Risiko fisik
 - Risiko bencana alam
2. Menurut Fisk, 1997
 - Risiko yang berhubungan dengan konstruksi
 - Risiko fisik
 - Risiko kontraktual dan legal
 - Risiko pelaksanaan
 - Risiko ekonomi
 - Risiko politik dan umum
3. Menurut Shen Wu, 2001
 - Risiko finansial
 - Risiko legal
 - Risiko manajemen
 - Risiko pasar

- Risiko politik dan kebijakan
 - Risiko teknis
4. Menurut Loosemore, dkk, 2006
- Risiko teknologi
 - Risiko manusia
 - Risiko lingkungan
 - Risiko komersial dan legal
 - Risiko manajemen
 - Risiko ekonomi dan finansial
 - Risiko partner bisnis
 - Risiko politik

2.2.2 Jenis – Jenis Risiko

Risiko dapat dibagi menjadi beberapa kategori atau jenis, yaitu :

1. Risiko yang sudah diketahui

Risiko yang dapat ditemukan setelah dilakukan evaluasi terhadap proyek secara hati – hati, tidak hanya itu akan tetapi faktor bisnis, lingkungan dimana proyek sedang dikerjakan, dan sumber informasi yang dapat dipercaya seperti:

- Kurangnya ruang lingkup
- Lingkungan proyek yang buruk
- Tanggal penyampaian yang tidak realistis
- Kurangnya syarat – syarat yang terdokumentasi

2. Risiko yang diramalkan

Risiko ini didapatkan dari data – data pengalaman proyek sebelumnya, seperti:

- Pergantian tenaga kerja
- Komunikasi yang buruk antara customer dengan owner

3. Risiko yang tidak diketahui

Risiko ini terjadi dikarenakan sulitnya pada tahap identifikasi risiko.

2.2.3 Identifikasi Risiko

Menurut Santosa (2009), identifikasi risiko adalah rangkaian proses pengenalan yang seksama atas risiko dan komponen risiko yang melekat

pada suatu aktifitas atau transaksi yang diarahkan kepada proses pengukuran serta pengelolaan risiko yang tepat. Kegiatan identifikasi kegagalan sebelum kegagalan tersebut menyebabkan kecelakaan adalah inti dari kegiatan pencegahan kecelakaan.

Tujuan utama dalam identifikasi risiko adalah untuk mengetahui daftar – daftar risiko yang berpotensi dan berpengaruh terhadap tujuan atau proses suatu konstruksi. Pada tahap identifikasi risiko ini, dilakukan pencarian risiko – risiko beserta karakteristiknya yang dapat mempengaruhi pelaksanaan proyek konstruksi. Menurut Darmawi (2008), proses identifikasi harus dilakukan secara cermat dan komprehensif, sehingga tidak ada risiko yang terlewatkan atau tidak teridentifikasi. Berikut adalah teknik yang digunakan dalam mengidentifikasi risiko:

1. *Brainstorming*

Pada tahap ini dilakukan pendataan ide – ide semua kemungkinan risiko yang akan terjadi serta mengelompokkan risiko tersebut. Selain itu juga ditambahkan informasi mengenai masalah – masalah yang terjadi dan cara penanganannya.

2. *Interviewing*

Melakukan *interview* terhadap para *stakeholder* untuk mendapatkan informasi terkait hal – hal yang akan dilakukan analisis.

3. Penyebaran Kuisisioner

Teknik yang digunakan untuk mendapatkan masukan dari para ahli atau pakar yang relevan dengan proyek. Ide – ide mengenai risiko yang akan timbul ditampung dalam kuisisioner kemudian para ahli atau pakar diminta untuk memberikan pendapat dan komentar terhadap kuisisioner tersebut.

Berdasarkan identifikasi risiko yang dilakukan terhadap, suatu proyek, sumber bahaya yang dapat dijumpai di tempat kerja dapat berasal dari bahan, peralatan, karakteristik kegiatan proyek, lingkungan kerja, metode kerja, dan cara kerja. Ada beberapa hal yang mendukung keberhasilan program identifikasi bahaya antara lain :

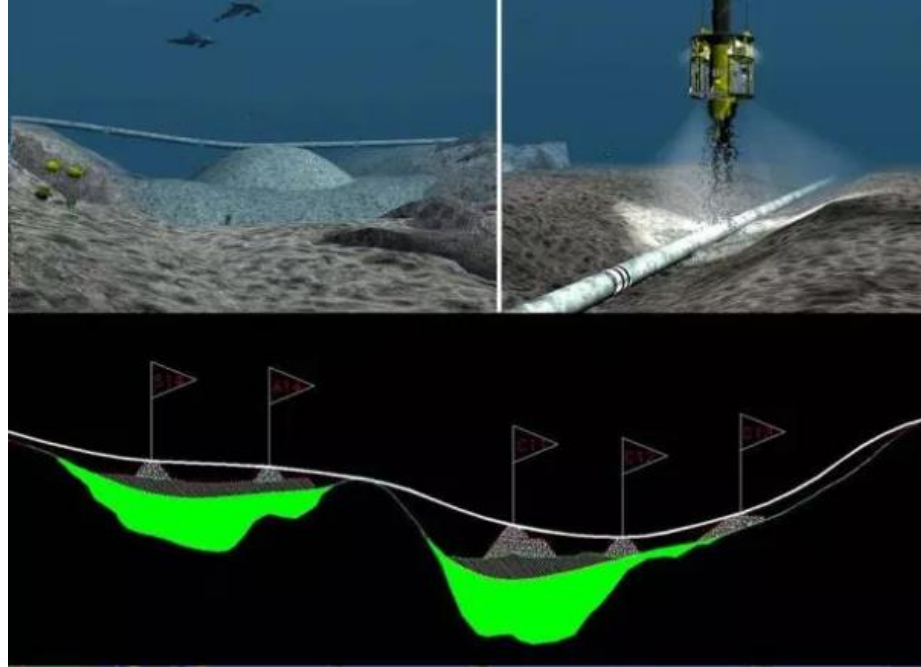
1. Identifikasi bahaya arus sejalan dan relevan dengan aktifitas proyek sehingga dapat berfungsi dengan baik.
2. Identifikasi bahaya harus dinamis dan selalu mempertimbangkan adanya teknologi dan ilmu terbaru.
3. Perlunya keterlibatan semua pihak terkait dalam proses identifikasi bahaya.
4. Ketersediaan metode, peralatan, referensi data dan dokumen untuk mendukung kegiatan identifikasi bahaya.

Ada beberapa faktor yang menyebabkan pipa mengalami kegagalan ketika sedang beroperasi. Pada kasus ini pipa mengalami kebocoran dan tersumbat. Berikut merupakan penjelasan risiko kegagalan yang menyebabkan pipa mengalami kebocoran dan tersumbat.

1. *Free Span*

Salah satu aktivitas manusia yang menjadi pemicu *hazard* yaitu adanya jembatan pipa yang berfungsi untuk menopang pipa bawah laut yang berada di area yang memiliki topografi curam. Dampak yang ditimbulkan dari kondisi tersebut dapat menyebabkan terjadinya *free span*. *Free span* pipa bawah laut adalah suatu keadaan dimana terbentuk bentangan pipa dengan panjang tertentu memiliki jarak (*gap*) terhadap *seabed* (Arif , 2011). Hal tersebut apabila dibiarkan akan menyebabkan kerugian serta menimbulkan ancaman bagi jalur pipa itu sendiri. Ancaman dan bahaya itu diantaranya

adalah terganggunya stabilitas pada jalur pipa yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan pipa mengalami stress dan terjadi bending.

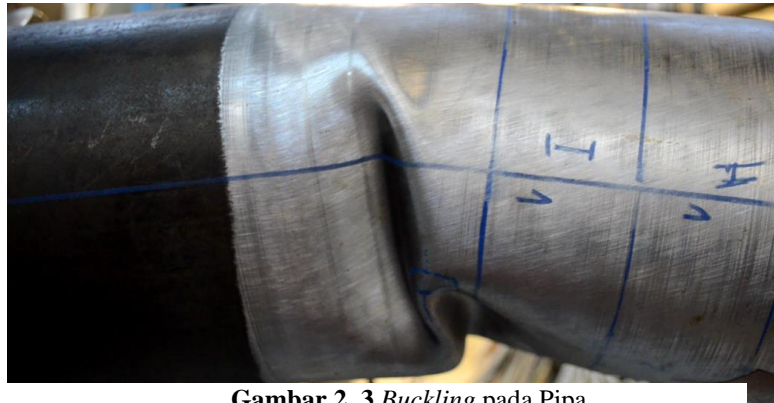


Gambar 2. 2 *Free Span* pada pipa bawah laut

(Sumber : <https://vladvampire.wordpress.com/tag/free-span/>)

2. *Buckling*

Buckling adalah keadaan akhir dari jaringan pipa di bawah kondisi permukaan kompleks yang disebabkan oleh penurunan tanah, gempa bumi dan tanah longsor. Deformasi lokal dibagian yang berkerut dapat merusak kapasitas permuatan muatan dan bahkan merusak integritas struktur saluran pipa. Kemajuan teknologi telah menghasilkan baja pipa berkekuatan tinggi yang banyak digunakan untuk transmisi minyak jarak jauh. Namun peningkatan rasio diameter / ketebalan dari baja pipa berkekuatan tinggi membuat jalur pipa semakin rentan terhadap kegagalan buckling.



Gambar 2. 3 *Buckling* pada Pipa

(Sumber : <http://pipeline1261.blogspot.com>)

3. Eksternal Korosi

Korosi eksternal merupakan korosi yang terjadi pada bagian permukaan dari sistem perpipaan dan peralatan baik yang kontak dengan udara bebas, permukaan tanah akibat adanya kandungan zat asam pada udara dari tanah, dan oksidasi yang terjadi antara pipa dengan kondisi lingkungan di laut. Korosi eksternal merupakan korosi yang terjadi pada bagian luar permukaan pipa yang terkena dengan kondisi luar permukaan pipa.



Gambar 2. 4 Eksternal Korosi pada Pipeline

(Sumber: <http://article.eonchemicals.com>)

4. Internal Korosi

Korosi internal, adalah korosi yang terjadi akibat saluran yang mengalir didalam pipa. Ada beberapa kandungan yang mempengaruhi kekorosifan dari pipa tersebut, karena pada umumnya ketika suatu pipa beroperasi tidak hanya minyak saja yang mengalir di dalam pipa tersebut akan tetapi terdapat juga kandungan CO₂ dan H₂S yang menyebabkan pipa terkorosi.

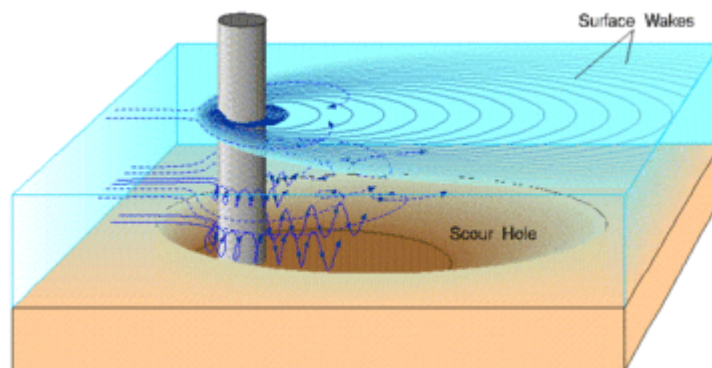


Gambar 2. 5 Internal Korosi pada Pipeline
(Sumber : <https://www.pipingengineer.org>)

5. Scouring

Konstruksi jaringan pipa bawah laut merupakan suatu konstruksi yang dapat mengalami fenomena *scouring* akibat dari pengaruh kecepatan arus dan kecepatan orbital gelombang di *seabed*. *Scouring* dapat mengakibatkan struktur tersebut mengalami *subsidence* sehingga *gap* antara dek dengan gelombang tertinggi yang didesign menjadi berkurang sedangkan jika terjadi pada struktur yang terdapat pada permukaan dasar laut seperti jaringan pipa bawah laut dapat mengakibatkan *freespan*.

Freespan dapat terjadi ketika kontak antara pipa dengan *seabed* hilang dan memiliki jarak pada permukaan *seabed*. *Freespan* ini nantinya akan mengakibatkan terjadinya defleksi pada jaringan pipa sehingga pipa rentan mengalami kelelahan dan kebocoran.



Gambar 2. 6 *Scouring* pada Pipeline

(Sumber : <https://en.wikipedia.org>)

6. Aktifitas *Lifting* di Platform

Kegiatan yang terjadi diatas platform berkemungkinan pada jatuhnya alat – alat dari atas platform ke bawah laut. Jika terdapat alat – alat yang jatuh dan mengenai pipa maka kemungkinan pipa mengalami kebocoran akibat kejatuhan alat – alat dari platform.



Gambar 2. 7 Aktivitas *Lifting* di Platform

(Sumber : <https://ngsuyasa.wordpress.com>)

7. Kejatuhan Jangkar

Dikarenakan pipa berlokasi ditengah laut maka terdapat kemungkinan area pipa menjadi jalur pelayaran kapal walaupun ada peraturan yang mengatakan bahwa kapal tidak boleh melintasi area tersebut. Akan tetapi kondisi dilapangan sering sekali terdapat kapal yang melintasi jalur area lokasi pipa dan ketika melawati area tersebut kapal suka menurunkan jangkar tidak pada tempatnya.

Karena penurunan jangkar tidak pada tempatnya mengakibatkan jangkar tersebut mengenai jalur pipa atau nyangkut di jalur pipa.



Gambar 2. 8 Pipa Kejatuhan Jangkar

(Sumber : <https://www.cnbcindonesia.com>)

8. Kapal Tenggelam

Tenggelamnya suatu kapal disebabkan oleh kesalahan dari dalam kapal itu atau terjadi karena tabrakan antar kapal oleh traffic kapal yang terlalu sibuk. Akibat dari kejadian kapal tenggelam tersebut maka kapal karam yang mencapai dasar lautan berpotensi membentur jalur pipa dan menyebabkan kebocoran pipa.

9. Alat Tangkap Ikan Tersangkut

Pada kondisi lapangan, banyak nelayan yang melakukan pekerjaan untuk mencari ikan akan tetapi para nelayan tersebut suring sekali memasuki area dari jalur pipa untuk mencari ikan. Dikarenakan nelayan memasuki area jalur pipa akhirnya jarring yang digunakan nelayan sering kali tersangkut pada pipa dari perusahaan dan ketika jarring tersebut ditarik berkemungkinan untuk pipa mengalami kebocoran.



Gambar 2. 9 Pukat Harimau

(Sumber : <https://www.republika.co.id>)

10. Gempa Bumi

Gempa bumi terjadi dikarena faktor alam yang menyebabkan permukaan tanah bergetar akibat pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba – tiba yang menciptakan gelombang seismik.

Dalam kondisi ini apabila gempa bumi terjadi pada area lokasi *pipeline* maka pipa kemungkinan berpotensi mengalami kebocoran akibat dari benturan antara benda disekitarnya. Dikarena lokasi pipa yang digunakan terletak di laut maka ada kemungkinan terjadinya pipa mengalami

kebocoran akibat gempa bumi.



Gambar 2. 10 Efek Gempa Bumi

(Sumber : <https://foto.inilah.com>)

11. Jenis Fluida yang Mengalir

Jenis aliran fluida yang mengalir pada pipa ini berjenis *oil* akan tetapi tidak hanya *oil* yang mengalir tetapi ada jenis fluida lain yang terdapat didalamnya. Jenis fluida lain tersebut pada umumnya adalah CO₂ dan H₂S yang berpotensi menyebabkan pipa mengalami kebocoran dikarenakan kandungan yang berbahaya.

12. *Tools Stucked*

Pada saat proses instalasi pipa pada umumnya terdapat beberapa alat – alat yang masuk kedalam pipa tanpa sepengetahuan dari para pekerja. Ketika dilakukan *hydrotest* sebelum pipa beroperasi jika terdapat peralatan didalam pipa maka pipa tersebut berpotensi untuk tersumbat.



Gambar 2. 11 Terdapat Benda didalam Pipa

(Sumber : <http://rrcmellc.ae>)

13. Kerak didalam Pipa

Dari jenis aliran pipa yang mengalir didalam pipa ketika pipa beroperasi, dari jenis aliran tersebut pada umumnya menimbulkan kerak yang terendap pada dasar pipa. Oleh karena itu dilakukan pigging untuk mencegah suatu pipa mengalami pengendapan kerak. Jika jenis aliran yang mengalir didalam pipa adalah gas maka potensi terjadinya endapan kerak didalam pipa sangat kecil. Jika aliran didalam pipa adalah *oil* maka terdapat zat – zat lain yang mengakibatkan endapan pada dasar pipa.



Gambar 2. 12 Kerak Dalam Pipa

(Sumber : <http://stellarpipeliners.blogspot.com>)

14. *Back Pressure*

Back Pressure dapat terjadi jika kondisi operasi tekanan pada pipa di kedua outlet tidak sama. Sehingga dibutuhkan penyamaan variabel tekanan yang sama pada kedua outlet walaupun ukuran diameter pada kedua pipa berbeda.

Salah satu penyebab dari *Back Pressure* adalah penyumbatan yang terjadi pada pipa akibat adanya zat – zat atau partikel pada dasar pipa dan pembekuan pada pipa dikarenakan adanya penurunan temperature. *Back Pressure* adalah tekanan yang melawan aliran pada peralatan atau sistem yang dialiri fluida.



Gambar 2. 13 Back Pressure pada Pipeline

(Sumber : <https://northeastsupplyenhancement.com>)

2.2.4 Analisa Risiko

Analisa risiko adalah rangkaian proses yang dilakukan dengan tujuan untuk memahami signifikansi dari akibat yang ditimbulkan suatu risiko, baik secara individual maupun portofolio, terhadap tingkat kesehatan dan kelangsungan proyek. (Santosa, 2009). Secara umum terdapat dua metodologi analisa risiko yaitu:

1. Kuantitatif, yaitu analisa berdasarkan angka – angka nyata (angka finansial) terhadap besarnya kerugian yang terjadi.
2. Kualitatif, yaitu penilaian risiko dilakukan berdasarkan intuisi, tingkat keahlian dalam menilai jumlah risiko yang mungkin terjadi dan potensial kerusakannya.

Pada penelitian kali ini menggunakan analisa risiko semi kuantitatif karena melakukan proses analisa dengan memberikan penilaian secara numeris. Langkah – langkah analisa semi kuantitatif adalah :

1. Melakukan identifikasi risiko
2. Melakukan analisa kualitatif risiko yang sudah teridentifikasi
3. Melakukan penilaian numeris pada kategori kualitatif
4. Memperoleh risiko kritis yang berpotensi terjadi
5. Melakukan mitigasi atau penanganan pada setiap risiko

2.2.5 Risiko pada Pipa Bawah Laut

Pipa bawah laut berfungsi untuk sarana transportasi yang menyalurkan gas dari sumur pertama kali saluran pipa bawah laut dipasang pada awal tahun 1950 sampai saat ini, kesulitan – kesulitan teknis dalam hal pengoperasian dan perawatan dalam lingkungan laut telah menantang pihak industri untuk mengatasinya.

Tantangan dalam industri Gas dan Minyak, khususnya yang melibatkan pipa gas bawah laut tidak hanya pada proses pembangunannya saja akan tetapi pada proses desain serta pengoperasiannya. Karena itu di industri Gas dan Minyak selalu membutuhkan tingkat keselamatan yang tinggi dan terus meningkat mengingat

merupakan tempat pekerja dan manusia lain yang berada di daerah pipa, serta juga berdampak serius pada lingkungan dimana pipa berada. Sifat fluida yang berkerja pada tekanan yang tinggi serta korosif juga merupakan tantangan lain yang harus diatasi.

Berdasarkan catatan kegagalan pengoperasian pipa gas di Amerika pada periode tahun 1967 sampai 2008, korosi merupakan salah satu penyebab utama kegagalan saluran pipa yang mencapai 50% dari total kegagalan yang terjadi. Aktivitas maritim selanjutnya menempati peringkat kedua penyebab kegagalan sebesar 14%. Aktivitas maritim utama yang muncul adalah kerusakan pipa bawah laut akibat jangkar kapal yang beroperasi disekitar area pipa. Kegagalan pipa bawah laut karena faktor alam (gempa bumi, *scouring*, dll) menempati urutan ketiga sebesar 12% dan sisanya sebanyak 1047 kejadian penyebab kegagalan saluran pipa bawah laut akibat konstruksi, *marine growth*, dll.

Dikarenakan fluida yang mengalir rentan terhadap kebakaran dan ledakan, maka kegagalan dapat menyebabkan kerusakan maupun pencemaran lingkungan. Sehingga kerugian yang diakibatkan oleh kegagalan saluran pipa bawah laut tidak hanya kerugian nominal akibat tidak beroperasinya perusahaan dan hilangnya muatan yang diangkut, tapi juga kerugian akan biaya penanggulangan pencemaran, kompensasi terhadap industry perairan laut dan pesisir yang terganggu, serta kerugian akibat hilangnya kesempatan berusaha akibat pencemaran yang diakibatkannya.

Pada setiap desain pipa bawah laut dimungkinkan untuk mengikuti standar keselamatan yang berbeda – beda. Demikian juga halnya dengan tujuan yang ingin dicapai oleh sistem keselamatan pipa bawah laut. Namun demikian, pada umumnya keselamatan yang ingin dicapai adalah :

1. Dampak terhadap lingkungan diupayakan agar serendah mungkin.
2. Tidak diijinkannya pelepasan hidrokarbon selama sistem pipa beroperasi.
3. Tidak terjadinya insiden yang serius atau hilangnya nyawa manusia selama periode konstruksi.
4. Desain sedapatnya tidak membutuhkan perawatan yang memberatkan selama usia fasilitas pipa.

5. Sistem pipa tidak memberikan / menerima bahaya kepada / dari instalasi dan aktivitas lainnya disekitar area pipa.

Dapat dikatakan bahwa semua hal yang berkaitan dengan desain, konstruksi, dan operasi pipa bawah laut harus diupayakan untuk menjamin bahwa tidak satu kegagalan pun akan berdampak bagi keselamatan jiwa atau berdampak bagi kerusakan fasilitas atau lingkungan. Karena itu, analisa yang sistematis harus dapat dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi konsekuensi yang diakibatkan oleh kegagalan tunggal ataupun jamak pada sistem pipa bawah laut, agar nantinya upaya kontrol dan mitigasi dapat dilakukan untuk menghindari atau mengurangi dampak dari bahaya tersebut. Kedalaman analisa terhadap pipa bawah laut harus merefleksikan tingkat kekritisan dari pipa yang akan dioperasikan atau dengan membandingkan dengan sistem pipa lainnya yang memiliki karakter desain dan operasi sama. Analisa sistematis yang dimaksud disini sering dikenal dengan istilah penilaian risiko kuantitatif (*Quantitative Risk Assessment*). Analisa ini memberikan estimasi terhadap risiko secara menyeluruh baik terhadap manusia, kesehatan, lingkungan, dan asset. Secara umum QRA meliputi beberapa tahapan yaitu :

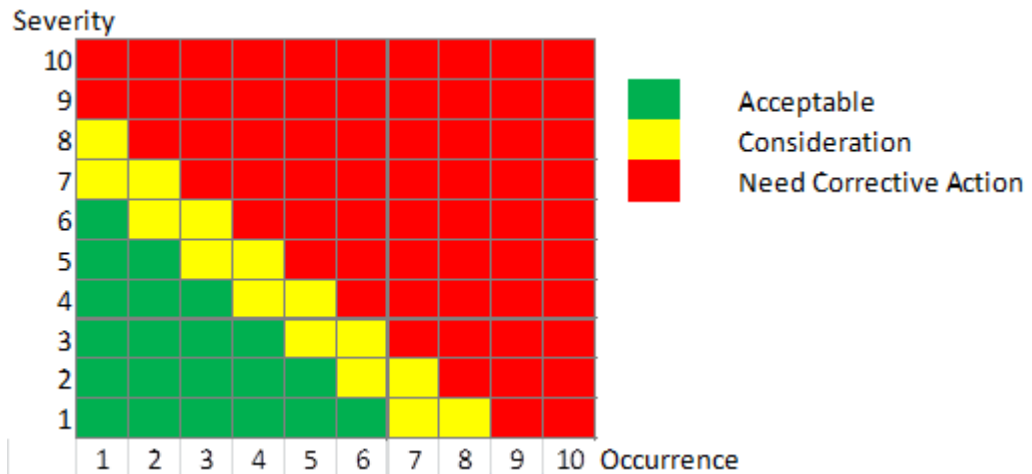
1. Identifikasi bahaya
2. Analisa frekuensi / peluang terjadinya bahaya
3. Analisa konsekuensi jika bahaya terjadi
4. Penilaian risiko
5. Penilaian kriteria penerimaan risiko
6. Mitigasi risiko
7. Analisa rugi - untung

2.2.6 Penilaian Risiko

Penilaian Risiko adalah proses evaluasi risiko – risiko yang diakibatkan adanya bahaya – bahaya dengan memperhatikan kecukupan pengendalian yang dimiliki, dan menentukan apakah risiko dapat diterima atau tidak (OHSAS 18001:2007). Menurut kalimat diatas dapat diketahui bahwa penilaian risiko merupakan proses mengevaluasi risiko yang timbul dari suatu bahaya dengan memperhitungkan kecukupan pengendalian yang ada, dan menetapkan apakah risiko dapat diterima atau tidak.

Tujuan utama *risk assessment* adalah :

1. Meningkatkan kepedulian dan pemahaman adanya bahaya – bahaya yang terdapat dalam pengoperasian kapal oleh perancang kapal, operator, awak kapal, dan orang – orang yang terlibat.
2. Menganalisa dan memverifikasi bahwa keselamatan berada pada tingkat yang diterima (*acceptable*) atau tidak diterima (*unacceptable*).



Gambar 2. 14 Matriks Risiko

Risiko harus diturunkan dari *Unacceptable Risk* ke area *Acceptable Risk* melalui upaya preventif dan mitigasi. *Preventive Risk Control* dimaksudkan untuk menurunkan *probability* kejadian kecelakaan, sedangkan mitigasi mengurangi tingkat *severity* dari kejadian. Setelah proses identifikasi semua risiko – risiko yang mungkin terjadi pada suatu proyek dilakukan tindakan untuk menindak lanjuti dalam analisa risiko – risiko tersebut. Al Bahar dan Crandall (1990) mengemukakan bahwa yang dibutuhkan adalah menentukan signifikansi atau dampak dari risiko tersebut, melalui suatu analisa probabilitas, sebelum risiko – risiko tersebut dibawa memasuki tahap respon manajemen.

2.2.7 Pengendalian Risiko

Hasil dari *risk assessment* akan dijadikan dasar untuk melakukan *risk control*. *Risk Control* bertujuan untuk meminimalkan tingkat risiko dari suatu potensi bahaya yang ada. Bahaya yang masuk dalam kategori *moderate risk*, *high risk*, dan *extreme risk* akan ditindaklanjuti dengan pengendalian risiko. Pengendalian risiko dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan suatu risiko.

Pengendalian risiko dapat dilakukan dengan berbagai pilihan, yaitu :

1. Mengurangi Kemungkinan (*Reduce Likelihood*)
2. Mengurangi Keparahan (*Reduce Consequence*)
3. Pengalihan Risiko Sebagian atau Seluruhnya (*Risk Transfer*)
4. Menghindari Risiko (*Risk Avoid*)

Pengendalian risiko pada kategori *High* dapat dilakukan dengan mengurangi risiko bahaya serendah mungkin sehingga risiko bahaya dapat diterima. Pengendalian pada tingkat ini dilakukan dengan kontrol dari teknisi serta isolasi terhadap sumber bahaya.

Risiko bahaya pada kategori *Moderate*, dimana risiko bahaya pada kategori ini dapat ditoleransi. Pengendalian risiko pada kategori *Moderate* dapat dilakukan dengan mengatur manajemen, misalnya dengan program berupa tindakan dan referensi dari HSE (*Health Safety Executive*), dan JSEA (*Job Safety Environment Analysis*).

Risiko bahaya kategori *low* yaitu kategori bahaya paling rendah dan dapat ditoleransi. Pengendalian risiko pada kategori ini dapat dilakukan dengan manajemen risiko harian maupun dengan referensi JSEA (*Job Safety Environment Analysis*). Pengendalian risiko bahaya tidak hanya dilakukan satu kali, namun selalu dilakukan evaluasi untuk menghilangkan jika terdapat risiko bahaya residual maupun risiko bahaya baru yang sebelumnya tidak teridentifikasi.

2.2.8 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Pada awalnya FMEA dibuat untuk *Aerospace Industry* pada pertengahan tahun 1960 yang memfokuskan pada masalah keamanan (*safety*). Pada tahun 1980an FMEA mulai digunakan oleh *Ford*. AIAG (*Automotive Industry Action Group*) dan *American Safety for Quality Control (ASQC)* menetapkan metode ini sebagai standart pada tahun 1993. Saat ini FMEA merupakan salah satu *core tools* dalam ISO/TS 16949:2002 (McDermott,2009).

FMEA merupakan salah satu program peningkatan dan pengendalian kualitas yang dapat mencegah terjadi kegagalan dalam suatu produk atau proses. Berikut adalah beberapa definisi FMEA, yaitu:

1. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut Pande, FMEA adalah sekumpulan petunjuk, sebuah proses, dan form untuk mengidentifikasi dan mendahulukan masalah – masalah potensial (kegagalan).
2. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut Chrysler, FMEA merupakan metodologi analisa yang digunakan untuk memastikan potensial pada produk dan proses pertimbangan dan dialamatkan secara menyeluruh melalui perbaikan proses.
3. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut McDermott, FMEA merupakan suatu metode yang sistematis dalam mengidentifikasi dan mencegah masalah yang terjadi pada produk dan proses.
4. Dalam Suhartini dan Ziko Djefrianto (2013), menurut Hanafi, FMEA adalah metodologi untuk menganalisa potensi masalah keandalan atau peristiwa yang tidak diinginkan di awal siklus pengembangan yang lebih mudah untuk mengambil tindakan dan untuk mengatasi masalah, dengan demikian meningkatkan keandalan melalui desain.
5. Menurut Liu (2008) dalam Fattahi dan Khalilzadeh, FMEA adalah metode pencegahan, dimana sekelompok orang ditunjuk untuk menganalisa struktur produk, serta proses pembuatannya untuk mengidentifikasi semua lokasi dan area dimana potensi kesalahan, cacat, dan kegagalan dapat muncul, kemudian menentukan tindakan yang bertujuan untuk menghilangkan kegagalan – kegagalan itu.

Berdasarkan definisi diatas, dapat disimpulkan bahwa FMEA adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa potensi kegagalan dan akibatnya yang bertujuan untuk merencanakan proses produksi secara baik dan dapat menghindari kegagalan proses produksi dan kerugian yang tidak diinginkan.

Tujuan dari penerapan metode ini adalah mencegah masalah yang terjadi pada proses dan produk. Jika digunakan dalam desain dan proses manufaktur, FMEA dapat mengurangi atau menekan biaya dengan mengidentifikasi dan memperbaiki produk dan proses secara cepat pada saat proses pengembangan. Pembuatannya relatif mudah serta tidak membutuhkan biaya yang banyak. Hasilnya adalah proses menjadi lebih baik karena telah dilakukan tindakan koreksi dan mengurangi kegagalan (McDermott, 2009).

Berikut adalah beberapa tujuan dari penerapan FMEA:

1. Menurut Chrysler (2008) :

- Mengidentifikasi penyebab kegagalan proses dalam memenuhi kebutuhan pelanggan.
- Memperkirakan risiko penyebab tertentu yang menyebabkan kegagalan.
- Mengevaluasi rencana pengendalian untuk mencegah kegagalan.
- Melaksanakan prosedur yang diperlukan untuk memperoleh suatu proses bebas dari kesalahan.

2. Menurut Alessandra Colli (2015) dalam Kumamoto dan Henley :

- Identifikasi kegagalan komponen – komponen yang penting, pengurangan tingkat kegagalan atau penahan kerusakan.
- Identifikasi komponen yang memerlukan kontrol kualitas yang ketat.
- Perumusan persyaratan khusus untuk dimasukkan kedalam spesifikasi untuk pemasok.
- Perumusan prosedur khusus, perlindungan, peralatan pelindung, sistem pemantauan atau peringatan.
- Distribusi dana proyek pada seluruh area.

2.2.8.1 Jenis – Jenis FMEA

Menurut Rusmiati (2016) dalam Ramanda terdapat beberapa tipe dalam FMEA yaitu:

1. *Design FMEA*
2. *Process FMEA*
3. *Equipment FMEA*
4. *Maintenance FMEA*
5. *Concept FMEA*
6. *Service FMEA*
7. *System FMEA*
8. *Environmental FMEA*, dll

Menurut McDermott (2009) dalam industry otomotif, kebanyakan

perusahaan membagi FMEA ke dalam 2 jenis :

1. *Design* FMEA

Berfokus pada pemeriksaan fungsi subsistem, komponen atau sistem utama. Fokus dari desain FMEA adalah pada desain produk yang akan dikirimkan ke konsumen akhir. Desain FMEA membantu didalam desain proses dengan mengidentifikasi tipe – tipe kegagalan yang diketahui dan dapat diduga. Kemudian mengurutkan kegagalan tersebut berdasarkan dampak yang diakibatkan produk.

2. *Process* FMEA

Berfokus pada penelitian proses yang digunakan untuk membuat komponen, subsistem, atau sistem utama. *Process* FMEA mengungkap masalah yang berkaitan dengan proses pembuatan produk. *Process* FMEA digunakan untuk mengidentifikasi jenis – jenis kegagalan proses dengan pengurutan tingkat kegagalan dan membantu untuk menetapkan prioritas berdasarkan dampak yang diakibatkan baik pada pelanggan eksternal maupun internal. Penerapan *process* FMEA membantu untuk mengidentifikasi penyebab – penyebab yang potensial pada manufaktur maupun perakitan dalam rangka menetapkan kendali untuk mengurangi dan mendeteksi kejadian.

2.2.8.2 Tahapan Pembuatan FMEA

Prosedur dalam pembuatan FMEA mengikuti sepuluh tahapan berikut ini (McDermott, 2009) :

1. Melakukan peninjauan terhadap proses
2. Mengidentifikasi *potential failure mode* (mode kegagalan potensial) pada proses.
3. Membuat daftar *potential effect* (akibat potensial) dari masing – masing mode kegagalan.
4. Menentukan peringkat *severity* untuk masing – masing kegagalan yang terjadi.
5. Menentukan peringkat *occurance* untuk masing – masing kegagalan yang terjadi.

6. Menentukan peringkat *detection* untuk masing – masing kegagalan yang terjadi.
7. Menghitung angka *Risk Priority Number* (RPN) untuk masing – masing kegagalan yang terjadi.
8. Membuat prioritas mode kegagalan berdasarkan angka RPN untuk dilakukan tindakan perbaikan.
9. Melakukan tindakan untuk mengurangi atau mengeliminasi kegagalan yang paling banyak terjadi.
10. Menghitung hasil RPN kegagalan setelah dilakukan eliminasi

Metode ini memprioritaskan penyelesaian berdasarkan *severity* (keparahan), frekuensi, dan seberapa besar potensi kegagalan lolos dari *current control* sehingga dapat dilakukan kemungkinan pengendalian untuk setiap kejadian dasar penyebab suatu gangguan sistem. Menentukan *severity, occurrence, detection*, dan RPN adalah sebagai berikut :

1. *Severity* (Tingkat Keparahan)

Angka tingkat keparahan dari akibat yang ditimbulkan konsumen maupun terhadap kelangsungan proses selanjutnya yang secara tidak langsung juga merugikan .Semakin parah efek yang ditimbulkan maka semakin tinggi ranking severitnya. Tingkat keparahan risiko hanya dipertimbangkan dalam pengaruhnya, untuk mengurangi penurunan risiko hanya dapat dilakukan melalui perubahan dalam proses dan cara melakukan kegiatannya.

Tabel 2. 1 Tingkatan Severity

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Sumber : Muzakkir, dkk (2015)

2. Occurrence

Kejadian adalah probabilitas munculnya sebab atau mekanisme tertentu. Dengan kata lain, probabilitas kejadian menentukan bahwa kesalahan potensial terjadi dengan frekuensi apa. Survei lapangan, dokumen sebelumnya, dan pemeriksaan proses kontrol dapat membantu. Angka kemungkinan ini diberikan untuk setiap penyebab kegagalan yang terdiri dari rating 1 – 10. Tabel dibawah ini memperlihatkan kriteria dari setiap angka rating *occurrence*.

Tabel 2. 2 Tingkatan Occurrence

Occurrence			
Rating	Effect	Kriteria	Likely Failure Rates Over Design Life
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan	< 0,01 per thousand items
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi	0,1 per thousand items
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan	0,5 per thousand items
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan	1 per thousand items
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi	2 per thousand items
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium	5 per thousand items
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi	10 per thousand items
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi	20 per thousand items
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi	50 per thousand items
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi	>100 per thousand items

Sumber : Muzakkir, dkk (2015)

3. Detection

Deteksi ini adalah jenis penilaian yang ada untuk mengidentifikasi penyebab atau mekanisme risiko. Tim harus menggunakan kriteria evaluasi dan sistem penilaian bahkan jika beberapa perubahan diperlukan dalam kasus – kasus khusus. Kemungkinan lolosnya mode kegagalan dari alat kontrol yang sudah

dipasang atau dilakukan saat ini. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi maka semakin tinggi ranking *detection* nya.

Tabel 2. 3 Tingkatan Detection

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

Sumber : Muzakkir, dkk (2015)

2.2.9 Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number adalah suatu sistem matematis yang menerjemahkan sekumpulan dari efek dengan tingkat keparahan (*severity*) yang serius, sehingga dapat menciptakan suatu kegagalan yang berkaitan dengan efek – efek tersebut (*occurance*), dan mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kegagalan – kegagalan (*detection*) tersebut sebelum sampai ke konsumen. RPN merupakan perkalian dari rating *occurance* (O), *severity* (S), dan *detection* (D).

$$\text{RPN} = \text{probability} \times \text{severity} \times \text{detection}$$

RPN sebenarnya adalah penanda untuk memisahkan risiko yang dapat diterima dan tidak dapat diterima untuk sistem yang dipertimbangkan. Pada kenyatannya, kesalahan yang memiliki angka RPN paling tinggi berarti tidak dapat diterima dan sebaliknya disebut risiko dapat diterima.

Angka RPN akan berkisar diantara 1 – 1000 untuk setiap mode kegagalan. Ketika tindakan korektif telah dilakukan, maka RPN baru untuk kegagalan

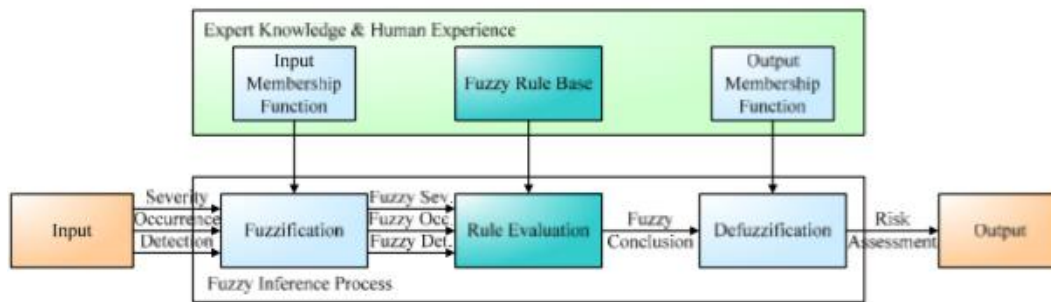
ditentukan dengan mengevaluasi kembali tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi. RPN baru ini disebut RPN yang dihasilkan, perbaikan, dan tindakan korektif harus dilanjutkan sampai RPN yang dihasilkan berada pada tingkat yang dapat diterima untuk semua mode kegagalan potensial (McDermott, dkk, 2009)

2.2.10 Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Terdapat beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika *fuzzy* antara lain menurut Kusumadewi (2002) :

1. Konsep logika mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika fuzzy sangat fleksibel.
3. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data – data yang tidak tepat.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi – fungsi non linier yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman – pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik – teknik kendali secara konvensional.
7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

Sistem fuzzy adalah adalah sistem yang berbasis pengetahuan yang dibangun dari keahlian dan pengalaman dalam bentuk aturan IF – THEN fuzzy. Melalui pembangunan model berbasis pengetahuan, pengetahuan ahli dan penilaian dapat dimanfaatkan untuk membuat metode penilaian FMEA lebih masuk akal dan nyaman. Struktur keseluruhan untuk menggunakan teori fuzzy ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 15 Struktur FMEA berdasarkan teori *fuzzy*
(Sumber : Yeh, Ruey dan Hsieh Mei, 2007)

Pendekatan gambar diatas mirip dengan sistem pakar fuzzy dan sistem kontrol, proses inferensi fuzzy FMEA meliputi :

1. Fuzzification

Dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan input fuzzy set yang ditentukan oleh keahlian tiga parameter yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* dapat diubah menjadi *input membership function fuzzy*.

2. Rule Evaluation

Dengan menggunakan aturan IF – THEN yang didapatkan dari responden dan mengintegrasikannya kedalam aturan fuzzy, aturan IF – THEN fuzzy dalam basis aturan fuzzy dapat digabungkan ke dalam pemetaan dari *input membership function* ke kesimpulan fuzzy.

3. Deffuzification

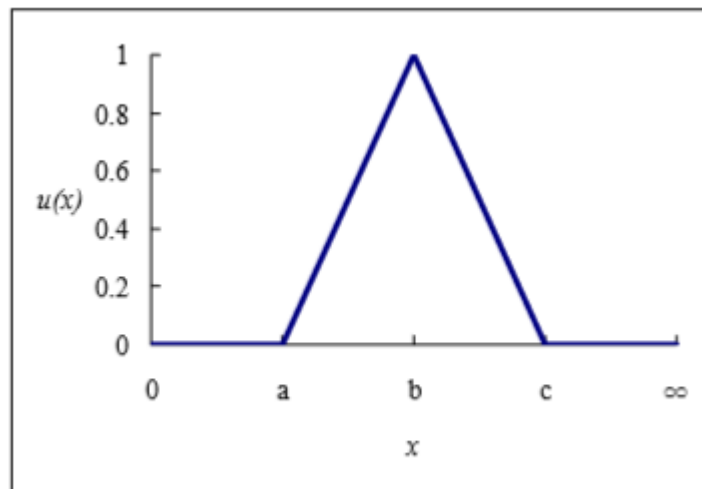
Dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan set fuzzy output dan deffuzier, kesimpulan fuzzy dapat dikonversi menjadi representasi risiko yang memiliki angka.

Proses detail untuk melaksanakan fuzzy FMEA dijelaskan sebagai berikut:

1. *Fuzzy Membership Function*

Pendekatan ini menggunakan variabel linguistik untuk mewakili tingkat keparakan, kejadian, deteksi setiap mode kegagalan. Setiap variabel linguistic memiliki lima istilah linguistic untuk meng gambarkannya. Istilah linguistic ini adalah Remote (R), Rendah (L), Sedang (M), Tinggi (H), dan Sangat Tinggi (V). dalam pendekatan fuzzy FMEA yang diusulkan, beberapa ahli diminta untuk mengembangkan fungsi keanggotaan dari tiga variable. Asumsikan bahwa ada ahli yang diminta untuk menentukan fungsi keanggotaan. Tentukan derajat

kompetensi W_i ($i = 1, \dots, n$) untuk masing – masing ahli sesuai dengan pengalaman dan pengetahuan mereka.



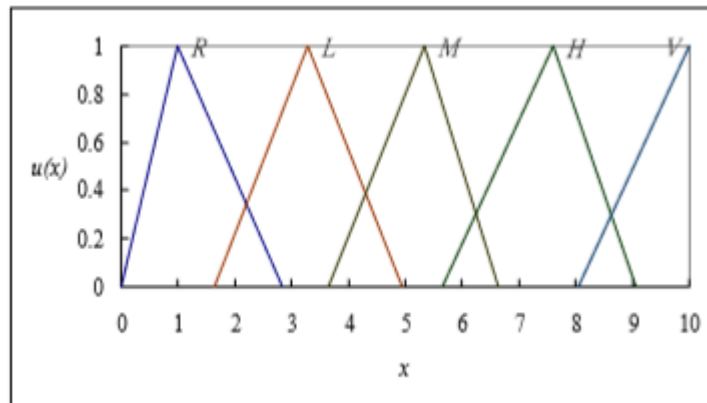
Gambar 2. 16 *Triangular Fuzzy Number*
(Sumber : Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei. 2007)

Lebih lanjut, bilangan fuzzy segitiga (a,b,c) digunakan untuk mengembangkan fungsi keanggotaan dalam pendekatan ini. Seperti diilustrasikan pada gambar 2.5 x mewakili peringkat yang ditentukan dan $u(x)$ mewakili angka fungsi keanggotaannya (tingkat keanggotaan). Untuk mengevaluasi apakah peringkat yang diberikan $x \in X$ mungkin memiliki istilah linguistik, masing – masing ahli diminta untuk memberikan $a,b,c, x \in$ dalam interval 0 sampai 10. Angka fungsi keanggotaan adalah 0 seperti $u(a)$ ketika peringkat tidak memiliki istilah linguistic. Angka fungsi keanggotaan adalah $u(b)$ ketika peringkat sepenuhnya memiliki istilah linguistic. Sebagai contoh tiga responden diminta untuk menentukan fungsi keanggotaan dari variabel keparahan.

Prosesnya adalah biarkan W_i menjadi tingkat kompetensi pakar i , dan $x \in X$ menjadi peringkat keparahan yang ditentukan. Masing – masing ahli memberikan angka $b_i \in X$ untuk mewakili angka kemungkinan yang sepenuhnya dimiliki istilah linguistic, dan sepasang angka (a_i, c_i) untuk mewakili interval kemungkinan dari istilah linguistic. Angka a,b,c untuk bilangan fuzzy segitiga dinyatakan dalam persamaan :

$$a = \sum_{i=1}^3 W_i a_i, \quad b = \sum_{i=1}^3 W_i b_i, \quad c = \sum_{i=1}^3 W_i c_i \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Fungsi input keanggotaan dari lima istilah linguistic untuk kategori keparahan diilustrasikan pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 17 Membership Functions for Severity
(Sumber : Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei. 2007)

2. Fuzzy Rule Base

Basis aturan *fuzzy* adalah kumpulan dari aturan IF – THEN yang dibuat dari para ahli. Dalam aturan *fuzzy* IF – THEN bagian IF dibandingkan dengan variabel input *fuzzy*, dan konsekuensinya bagian THEN adalah variabel output *fuzzy*. Setiap aturan IF – THEN *fuzzy* dinyatakan sebagai :

Jika keparahan kecil dan kejadian kecil dan deteksi tinggi, maka risiko rendah.

Semua kombinasi harus dikelompokkan untuk menghasilkan basis aturan *fuzzy*. Contoh beberapa aturan menurut Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei (2007).

Tabel 2. 4 Contoh Aturan Fuzzy

Rule #	Sev.	Occ.	Det.	Risk
1	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>M, H, or V</i>	<i>L</i>
2	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>R, L, or M</i>	<i>M</i>
3	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>R or L</i>	<i>FH</i>
4	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>R or L</i>	<i>H</i>
5	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>M, H, or VH</i>	<i>FH</i>
6	<i>V</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>H</i>

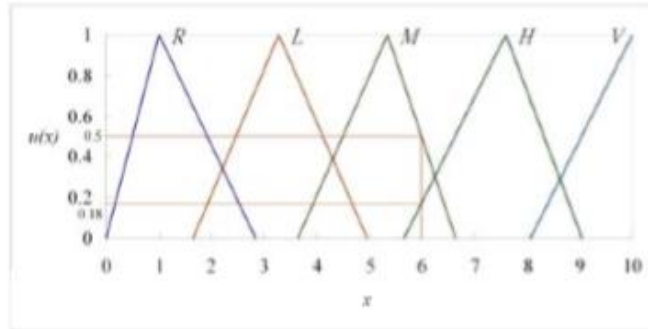
3. Fuzzy Inference Process

Minimum inferensi digunakan untuk menggabungkan aturan IF – THEN *fuzzy* dalam basis aturan *fuzzy* dan melibatkan kesimpulan *fuzzy*. Minimum inferensi menggunakan :

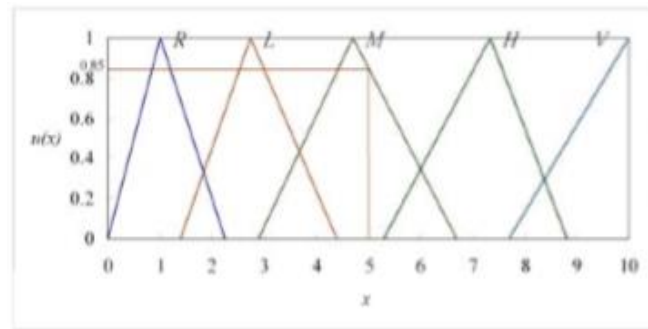
1. Operator minimum untuk “dan” di bagian IF aturan dan operator maks untuk átau´dibagian aturan IF

2. Kombinasi gabungan “operator maks” untuk menggabungkan konsekuensi dari aturan individu

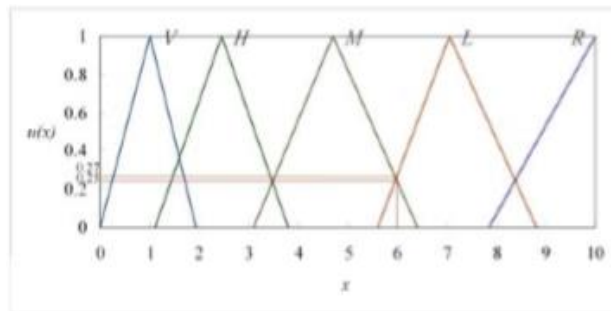
Berikut ini ada contoh untuk menjelaskan proses minimum inferensi, anggap ada mode kegagalan dengan peringkat *severity* 6, *occurrence* 5, *detection* 6.



Gambar 2. 18 *Membership Function for Severity*



Gambar 2. 19 *Membership Function for Occurrence*



Gambar 2. 20 *Membership Function for Detection*

Tabel 2. 5 Membership Number for Example

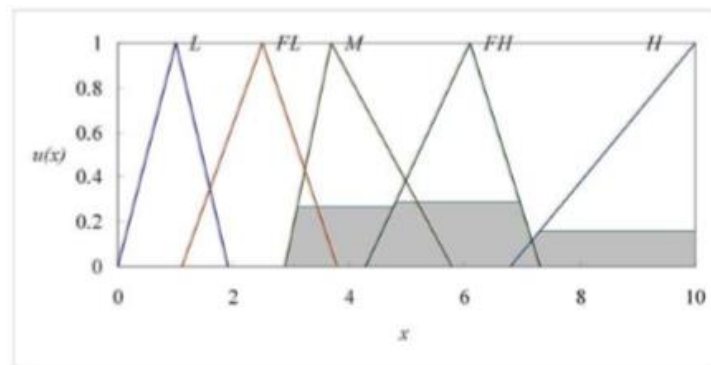
Linguistic Var.	Linguistic Term	MF Value
Severity	M	0.5
	H	0.18
Occurrence	M	0.85
Detection	M	0.25
	L	0.27

Tabel diatas menurut Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei. (2007) aturan, bagian IF adalah titik pertemuan dari *severity* = M, *occurrence* = M, dan *detection* = M dengan angka membership masing – masing adalah 0,5;0,85;0,25. Dengan demikian kesimpulan risikonya adalah M dengan angka minimum membership $(0,5;0,85;0,25) = 0,25$.

4. Defuzzification

Ada beberapa algoritma *defuzzification* yang telah dikembangkan. Rata – rata pusat *defuzzification* akan diadopsi karena kelebihanannya yang masuk akal, kesederhanaan, dan kontinuitas. Dalam pendekatan rata – rata pusat Y_i adalah pusat dari himpunan *fuzzy* ke-*i* dan W_i adalah ketinggian dari himpunan *fuzzy* ke-*i* . rata – rata pusat mirip dengan angka rata – rata variabel acak, dan itu menentukan titik nyata Y^* dengan rumus yaitu :

$$y^* = \frac{\sum_i \bar{y}_i w_i}{\sum_i w_i} \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2. 21 Output dari fuzzy

(Sumber : Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei. 2007)

Pada contoh sebelumnya, kesimpulan *fuzzy* dapat diilustrasikan dalam output fungsi keanggotaan pada gambar 2.9. Dalam gambar 2.9, area bayangan merupakan kesimpulan *fuzzy*. Ketinggian *fuzzy* M, FH, H adalah 0,25;0,27;0,18 (ketinggian area bayangan). Dengan menggunakan persamaan 2.3 angka rata –

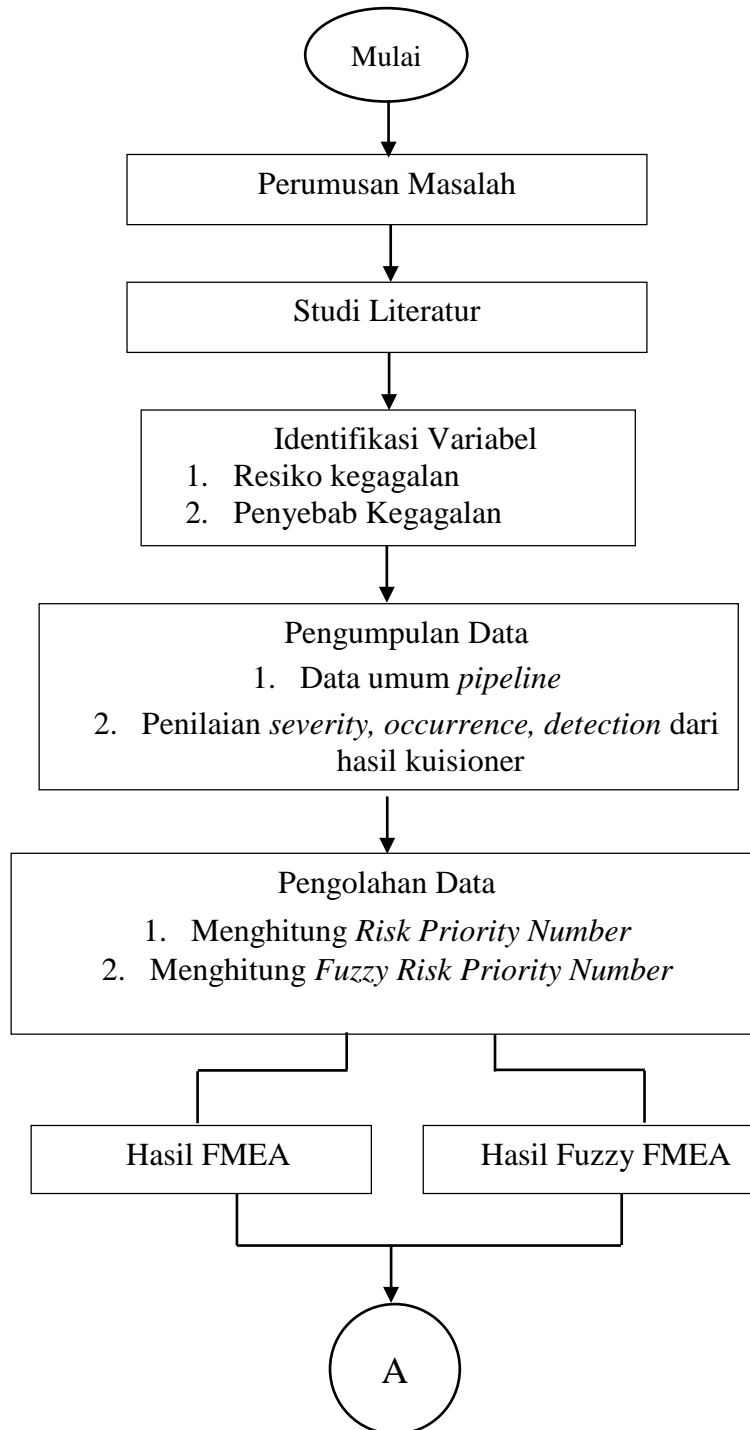
rata defuzzification $Y^* = 6,24$ mewakili risiko kegagalan.

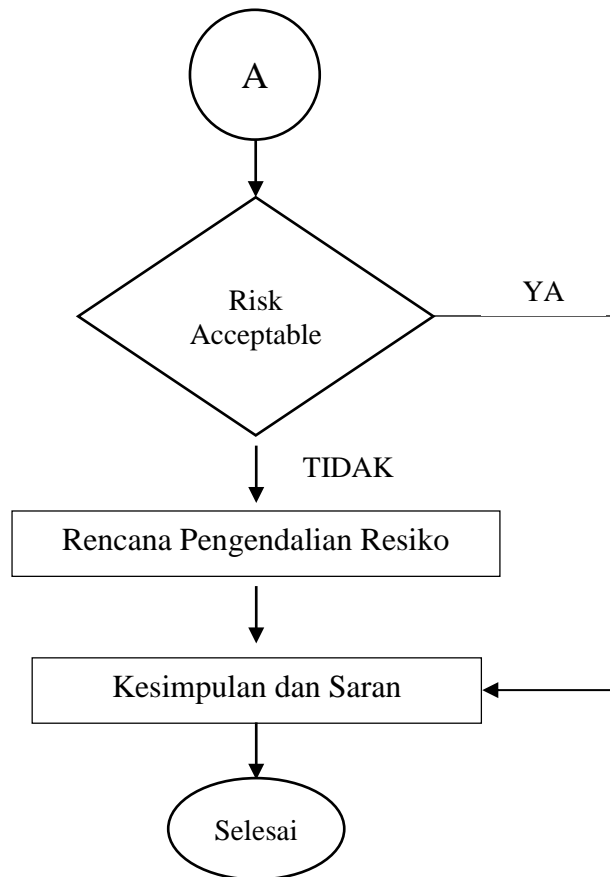
Tabel 2.6 *The Fuzzy Conclusion for Example*

IF			THEN
Sev.	Occ.	Det.	Risk
$M(0.5)$	$M(0.85)$	$M(0.25)$	$M(0.25)$
$M(0.5)$	$M(0.85)$	$L(0.27)$	$FH(0.27)$
$H(0.18)$	$M(0.85)$	$M(0.25)$	$FH(0.18)$
$H(0.18)$	$M(0.85)$	$L(0.27)$	$H(0.18)$

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah ini dilakukan untuk mencari rumusan masalah apa saja yang ingin di bahas dari identifikasi masalah yang telah ditentukan dan menentukan tujuan penelitian ini dengan diskusi bersama dosen pembimbing.

3.2.2 Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan – bahan referensi yang digunakan untuk acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur ini akan dilakukan dengan mencari, mempelajari, serta memahami laporan tugas akhir, buku – buku, dan jurnal yang berkaitan dengan rumusan

masalah tugas akhir ini. Adapun studi yang diperlukan sebagai berikut :

- a. Studi mengenai Analisa resiko
- b. Studi mengenai *Fuzzy Failure and Mode Effect Analysis*
- c. Studi mengenai *Failure and Mode Effect Analysis*

3.2.3 Identifikasi Variabel

Dalam studi ini akan mencari kegiatan – kegiatan yang menyebabkan kegagalan, mempelajari kegiatan – kegiatan yang menyebabkan kegagalan, dan memahami kegiatan – kegiatan yang menyebabkan kegagalan. Serta mencari resiko dari kegagalan setiap kegiatan – kegiatan tersebut.

3.2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data berfungsi untuk menentukan data apa saja yang dibutuhkan dalam melaksanakan Tugas Akhir ini, data yang diperlukan pada penelitian ini antara lain :

- a. Data umum *pipeline*

Tabel 3. 1 Data Umum

Parameter	Unit	A -B Pipeline
Design Pressure	psig	260
Operating Pressure	psig	65
Hydrotest Pressure	psig	325
Mechanical Design Temperature	°F	160
Operating Temperature	°F	85.9
Outer Diameter	mm	273.05
Material	-	Carbon Steel, API 5L Grade X52
Seam	-	SMLS, HFW
Specified Minimum Yield Strength	MPa (psi)	360 (52200)
Specified Minimum Tensile Strength	MPa (psi)	460 (66700)
Steel Density	kg/m ³	7850
Young Modulus	MPa	2.07 x 10 ⁵
Thermal Expansion Coefficient	1/°C	1.1x10 ⁻⁵
Poisson Ratio	-	0.3
Wall thickness	mm	12.7
Density	kg/m ³	910.5
Service	-	MOL

- b. Data penilaian *severity, occurrence, detection* dari hasil kuisisioner.

3.2.5 Pengolahan Data

- a. Tahap FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)
 1. Menentukan penyebab dari setiap aktivitas yang terjadi di lapangan

pada saat pipa beroperasi.

2. Melakukan penilaian *severity* (S), *occurrence* (O), *detection* (D) dari setiap kegiatan kegagalan yang teridentifikasi. Penilaian ini dilakukan dengan cara penyebaran kuisioner kepada responden yang telah berpengalaman.
 3. Melakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN)
- b. Tahap *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis*
1. Menentukan penyebab dari setiap aktivitas yang terjadi di lapangan saat pipa beroperasi
 2. Melakukan penilaian *fuzzy severity* (Si), *fuzzy occurrence* (Oi), *fuzzy detection* (Di) dari setiap kegiatan kegagalan yang teridentifikasi. Penilaian ini dilakukan dengan cara penyebaran kuisioner kepada responden yang telah berpengalaman.
 3. Melakukan perhitungan *Fuzzy Risk Priority Number* (FRPN)

3.2.6 Pengendalian Resiko

Pada pengendalian resiko ini dilakukan tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak kejadian dari variabel resiko yang berada pada zona merah, sedangkan pada zona hijau tidak dilakukan pengendalian resiko karena dampaknya masih dapat ditoleransi. Upaya untuk meminimalisasi resiko ini dilakukan dengan menerapkan langkah – langkah yang diarahkan pada hasil penilaian data yang diperoleh dari proses Analisa resiko. Hal ini dilakukan dengan cara mengembangkan opsi – opsi dan menentukan aksi untuk menambah kesempatan dan mengurangi ancaman terhadap tujuan proyek.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian ini akan menghasilkan kesimpulan yang dapat berguna untuk pembaca dalam menemukan hasil penelitian analisa resiko yang telah dilakukan. Selain itu saran yang diberikan dapat bermanfaat untuk pembaca, maupun peneliti selanjutnya.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

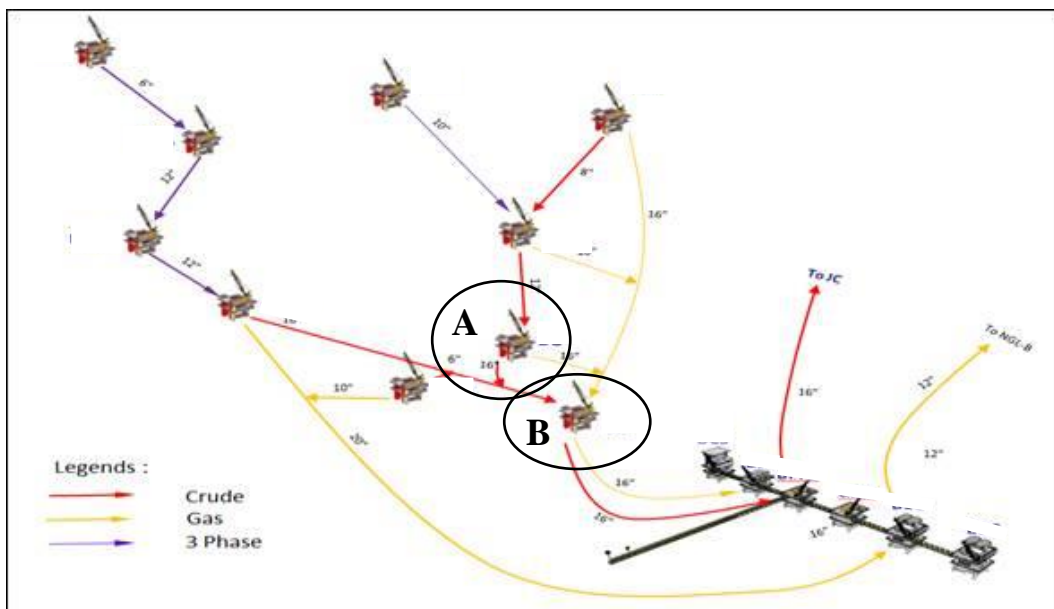
4.1 Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini pipa penyalur minyak (*Mail Oil Line*) yang digunakan bertipe pipa bawah laut 10” dari MOL A – B. Pada saat ini pipa 10” MOL A - B berfungsi sebagai pipa utama penyalur produksi minyak dari anjungan. Total produksi minyak yang mengalir melalui pipa ini kurang lebih 3.600 BOPD. Oleh karena itu, ketersediaan pipa MOL A – B sangat penting. Lokasi pipa ini terletak pada koordinat 106 30’BT – 109 BT dan 5 30’ LS – 6 30’ LS. Lokasi pipa ini terletak di lepas pantai laut Jawa, terbentang dari Kepulauan Seribu sampai utara Indramayu seluas 17.895 km², berjarak sekitar 20 – 75 mil dari garis pantai utara. Di wilayah tersebut terdapat fasilitas produksi yang terbagi menjadi dua aset yaitu wilayah West dan wilayah East. Fasilitas produksi sekarang meliputi 468 *production strings*, 171 *platform*, dan 40 fasilitas servis dan proses. Lebih dari ribuan mil jalur pipa terkoneksi ke fasilitas produksi. Juga terdapat fasilitas *Crude Oil Storage Barge*.

Setelah mendapatkan data pipa bawah laut, maka langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi risiko apa saja yang mungkin terjadi pada pipa ketika pipa sedang beroperasi. Setelah mengidentifikasi risiko langkah selanjutnya adalah mencari angka *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* pada setiap risiko yang diperoleh dari kuisioner yang di bagikan kepada responden.

Tabel 4. 1 Data Desain Pipeline

Parameter	Unit	A -B Pipeline
Design Pressure	Psig	260
Operating Pressure	Psig	65
Hydrotest Pressure	Psig	325
Mechanical Design Temperature	°F	160
Operating Temperature	°F	85.9
Outer Diameter	Mm	273.05
Material	-	Carbon Steel, API 5L Grade X52
Seam	-	SMLS, HFW
Specified Minimum Yield Strength	MPa (psi)	360 (52200)
Specified Minimum Tensile Strength	MPa (psi)	460 (66700)
Steel Density	kg/m ³	7850
Young Modulus	Mpa	2.07 x 10 ⁵
Thermal Expansion Coefficient	1/°C	1.1x10 ⁻⁵
Poisson Ratio	-	0.3
Wall thickness	Mm	12.7
Density	kg/m ³	910.5
Service	-	MOL



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Pipeline

4.2 Identifikasi Risiko

Dalam proses mengidentifikasi kegagalan pada *offshore pipeline* saat kondisi beroperasi menggunakan acuan codes DNV RP F107. Setelah mengikuti acuan codes DNV RP F107 dilakukan proses wawancara langsung dengan praktisi akademi atau ahli yang berpengalaman dalam *Pipeline* untuk mencocokkan kegagalan yang sesuai dengan kondisi lapangan pada PT. X. Setelah melakukan wawancara akhirnya didapatkan beberapa variabel kegagalan pada *offshore pipeline* pada saat kondisi operasi. Berikut adalah hasil identifikasi kegagalan pada table dibawah ini :

Tabel 4. 2 Identifikasi Kegagalan

No.	Failure Mode	
1	Bocor	<i>Free Span</i>
		Buckling
		Eksternal Korosi
		Internal Korosi
		<i>Scouring</i>
		Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform
		Kejatuhan Jangkar
		Kapal Tenggelam
		Alat Tangkap Ikan
		Gempa Bumi
		Jenis Fluida yang Mengalir
2	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>
		Kerak di Dalam Pipa
		<i>Back Pressure</i>

Dari acuan *International Codes* DNV RP F107 dan wawancara dengan praktisi lapangan, terdapat beberapa kegagalan ketika pipa sedang beroperasi. Kegagalan yang paling sering ditemukan dilapangan dan adalah pipa mengalami kebocoran dan tersumbat. Dari dua penyebab tersebut langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi kegagalan apa saja yang menyebabkan pipa mengalami kebocoran dan tersumbat. Ada 11 faktor yang menyebabkan pipa mengalami kebocoran diantaranya *Buckling*, Internal Korosi, Jenis Fluida yang Mengalir dll. Ada 3 faktor yang

menyebabkan pipa mengalami tersumbat *Tools Stucked*, Kerak di Dalam Pipa, *Back Pressure*.

4.3 Analisa Risiko dengan Metode FMEA

FMEA merupakan salah satu program peningkatan dan pengendalian kualitas yang dapat mencegah terjadinya kegagalan dalam suatu produk atau proses. Berikut adalah beberapa definisi FMEA, yaitu :

1. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut Pande, FMEA adalah sekumpulan petunjuk, sebuah proses, dan form untuk mengidentifikasi dan mendahulukan masalah – masalah kegagalan.
2. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut Chrysler, FMEA merupakan metodologi analisa yang digunakan untuk memastikan potensial pada produk dan proses pertimbangan dan dialamatkan secara menyeluruh melalui perbaikan proses.
3. Dalam Emi Rusmiati (2016), menurut McDermott, FMEA merupakan suatu metode yang sistematis dalam mengidentifikasi dan mencegah masalah yang terjadi pada produk dan proses.
4. Dalam Suhartini dan Ziko Djefrianto (2013), menurut Hanafi, FMEA adalah metodologi untuk menganalisa potensi masalah keandalan atau peristiwa yang tidak diinginkan di awal siklus pengembangan yang lebih mudah untuk mengambil tindakan dan untuk mengatasi masalah, dengan demikian meningkatkan keandalan melalui desain.
5. Menurut Liu (2008), dalam Fattahi dan Khalilzadeh, FMEA adalah metode pencegahan dimana sekelompok orang ditunjuk untuk menganalisa struktur produk, serta proses pembuatannya untuk mengidentifikasi semua lokasi dan area dimana potensi kesalahan, cacat, dan kegagalan dapat muncul, kemudian menentukan tindakan yang bertujuan untuk menghilangkan kegagalan – kegagalan tersebut.

Berdasarkan definisi diatas, dapat disimpulkan bahwa FMEA adalah suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa potensi kegagalan dan akibatnya yang bertujuan untuk merencanakan proses

produksi secara baik dan dapat menghindari kegagalan proses produksi dan kerugian yang tidak diinginkan.

Dalam proses mengidentifikasi kegagalan pada *offshore pipeline* saat kondisi beroperasi menggunakan acuan codes DNV RP F107. Setelah mengikuti acuan codes DNV RP F107 dilakukan proses wawancara langsung dengan praktisi akademi atau ahli yang berpengalaman dalam *Pipeline* untuk mencocokkan kegagalan yang sesuai dengan kondisi lapangan pada PT. X. Setelah melakukan wawancara akhirnya didapatkan beberapa variabel kegagalan pada *offshore pipeline* pada saat kondisi operasi. Metode FMEA juga menganalisa bagaimana dampak yang ditimbulkan dari kegagalan, selain itu FMEA juga menganalisa penyebab dan pencegahan dari mode kegagalan tersebut. Berikut adalah Analsia mode kegagalan dengan metode FMEA.

Tabel 4. 3 Identifikasi Mode Kegagalan

No.	Tipe Kegagalan	Mode Kegagalan	<i>Effect</i>	Penyebab Terjadinya Kegagalan	<i>Current Control</i>
1	Bocor	<i>Free Span</i>	Bending sebagian pada pipa	Bentangan antara pipa terhadap dasar laut	Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan
		<i>Buckling</i>	Pipa mengalami bengkok pada satu titik	Adanya internal pressure yang menyebabkan pipa bocor	Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (<i>Pressure Control System</i>)
		Eksternal Korosi	Bagian luar pipa mengalami korosi disebabkan oleh lingkungan	Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan	Menggunakan metode <i>Cathodic Protection</i>
		Internal Korosi	Bagian dalam pipa mengalami penipisan wall thickness	Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S	Ditambah <i>Internal Coating</i>
		<i>Scouring</i>	Pipa dapat mengalami kebocoran	Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning	Pemasangan sand bag atau grout bag

No.	Tipe Kegagalan	Mode Kegagalan	<i>Effect</i>	Penyebab Terjadinya Kegagalan	<i>Current Control</i>
1	Bocor	Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	Pipa menjadi retak dan berpotensi mengalami kebocoran	Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa	Dilakukan <i>briefing</i> sebelum aktifitas dimulai
		Kejatuhan Jangkar	Pipa akan patah karena kejatuhan jangkar	Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut	Menentukan zona batas pelayaran
		Kapal Tenggelam	Pipa berpotensi mengalami bengkok	Tabrakan antar kapal dan <i>grounding</i>	Menentukan zona batas pelayaran
		Alat Tangkap Ikan Tersangkut	Pipa mengalami retak hingga bengkok	Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa	Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum
		Gempa Bumi	Pipa mengalami retak hingga bengkok	Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa	Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi
		Jenis Fluida yang Mengalir	Pipa mengalami kebocoran akibat fluida	Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran	1. Menggunakan internal coating untuk mencegah terjadinya kebocoran 2. Mengganti pipa menggunakan <i>Fiberglass Reinforced Plastic</i>

No.	Tipe Kegagalan	Mode Kegagalan	Effect	Penyebab Terjadinya Kegagalan	Current Control
2	Tersumbat	<i>Tools Stucked</i>	Aliran pipa tersumbat akibat adanya peralatan didalam pipa	Adanya peralatan didalam pipa	Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi
		Kerak di Dalam Pipa	Kerak yang menumpuk berpotensi menyumbat aliran pipa	Terdapat endapan yang dihasilkan dari fluida yang mengalir pada pipa	Dibersihkan menggunakan metode <i>pigging</i>
		<i>Back Pressure</i>	Aliran pipa tidak terkendali sehingga mengakibatkan pipa tersumbat	Perbedaan pada ukuran diameter pipa antar platform	Memberikan <i>Maximum Allowable Pressure</i> pada perhitungan

4.3.1 Penilaian Risiko

Setelah tabel FMEA jadi, maka langkah selanjutnya adalah menyebarkan kuisioner untuk dilakukan perhitungan risiko dari masing – masing tingkat yaitu keparahan (*severity*), kejadian (*occurrence*), deteksi (*detection*). Setelah itu akan mendapatkan *Risk Priority Number*.

1. Keparahannya (*Severity*)

Angka tingkat keparahan dari akibat yang ditimbulkan konsumen maupun terhadap kelangsungan proses selanjutnya yang secara tidak langsung juga merugikan. Semakin parah efek yang ditimbulkan maka semakin tinggi ranking *severity* nya. Tingkat keparahan risiko hanya dipertimbangkan dalam pengaruhnya, untuk mengurangi penurunan risiko yang hanya dapat dilakukan melalui perubahan dalam proses dan cara melakukan kegiatannya. Tingkat keparahan dari segi Bisnis dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 4. 4 Kriteria Tingkat Keparahan (*Severity*)

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

(Sumber : Ford , 2011)

Dalam proses perhitungan untuk mendapatkan hasil pada setiap variable, setiap variable memiliki kategori yang berbeda – beda. Sehingga dilakukan perhitungan menggunakan *severity index* dengan persamaan seperti dibawah ini :

$$S. I = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i n_i}{10N} \times 100\%$$

Dimana a_i merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara n_i merupakan jumlah hasil yang diberikan oleh responden dan N merupakan jumlah responden yang mengisi kuisisioner.

2. Kejadian (*Occurrence*)

Kejadian adalah probabilitas munculnya sebab atau mekanisme tertentu. Dengan kata lain, probabilitas kejadian menentukan bahwa kesalahan potensial terjadi dengan frekuensi apa. Survei lapangan, dokumen sebelumnya, dan pemeriksaan proses kontrol dapat membantu. Angka kemungkinan ini diberikan untuk setiap penyebab kegagalan yang terdiri dari tabel dibawah ini.

Tabel 4. 5 Kriteria Tingkat Kejadian (*Occurrence*)

Occurrence			
Rating	Effect	Kriteria	Likely Failure Rates Over Design Life
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan	< 0,01 per thousand items
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi	0,1 per thousand items
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan	0,5 per thousand items
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan	1 per thousand items
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi	2 per thousand items
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium	5 per thousand items
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi	10 per thousand items
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi	20 per thousand items
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi	50 per thousand items
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi	>100 per thousand items

(Sumber : Ford , 2011)

Dalam proses perhitungan untuk mendapatkan hasil pada setiap variable, setiap variable memiliki kategori yang berbeda – beda. Sehingga dilakukan perhitungan menggunakan *occurrence index* dengan persamaan seperti dibawah ini:

$$O.I = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i n_i}{10N} \times 100\%$$

Dimana a_i merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara n_i merupakan jumlah hasil angka yang diberikan oleh responden dan N merupakan jumlah responden yang mengisi kuisioner.

3. Deteksi (*Detection*)

Deteksi adalah jenis identifikasi yang ada untuk mengidentifikasi penyebab atau mekanisme risiko. Tim harus menggunakan kriteria evaluasi dan sistem penilaian bahkan jika beberapa perubahan diperlukan dalam kasus – kasus khusus. Kemungkinan lolosnya mode kegagalan dari alat kontrol yang sudah dipasang atau dilakukan saat ini. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi maka semakin tinggi ranking *detection* nya.

Tabel 4. 6 Kriteria Tingkat Deteksi (*Detection*)

RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

(Sumber : Ford , 2011)

Dalam proses perhitungan untuk mendapatkan angka pada setiap variable, setiap variable memiliki kategori yang berbeda – beda. Sehingga dilakukan perhitungan menggunakan *detection index* dengan persamaan seperti dibawah ini:

$$D. I = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i n_i}{10N} \times 100\%$$

Dimana a_i merupakan rating pada setiap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Sementara n_i merupakan jumlah hasil yang diberikan oleh responden dan N merupakan jumlah responden yang mengisi kuisisioner.

4.3.2 Perhitungan Risk Priority Number

Setelah melakukan penyebaran kuisisioner kepada responden langkah selanjutnya adalah mengelompokkan setiap angka pada kategori *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Pengelompokkan ini berguna untuk memudahkan dalam proses perhitungan *Risk Priority Number*. Berikut adalah hasil pengelompokkan dari hasil kuisisioner.

Tabel 4. 7 Hasil Pengelompokkan Kuisisioner

No.	Risiko Kegagalan	Severity										Occurrence										Detection									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Bocor	<i>Free Span</i>	1	2	1	1							3	1	1								1	3	1						
2		<i>Buckling</i>				3	1	1							3	2								2	1	1	1				
3		Eksternal Korosi						1	2	1	1						1	3	1					1			4				
4		Internal Korosi						1		2	2					1		1	3								2	2	1		
5		<i>Scouring</i>				4		1							1	2	1	1					1		1	1	1	1			
6		Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform		1	1	1	1	1						1	2	1	1						1	1	2	1					
7		Kejatuhan Jangkar			1		1	3						1		1	1	2							1	1		3			
8		Kapal Tenggelam		1			2	2						3	2									2	2				1		
9		Alat Tangkap Ikan		1	2	2							1	3	1								3	1	1						
10		Gempa Bumi		2			1	2					2	3									2	3							
11		Jenis Fluida yang Mengalir						1	3	1						1		4								1			3	1	
12	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>		1	1	1	1	1					1	1	2	1								1	3	1					
13		Kerak di Dalam Pipa			2	2	1						1		2	1	1							2	1	1	1				
14		<i>Back Pressure</i>		1	3	1								1		3		1						1	2	1	1				

Setelah dilakukan pengelompokkan pada setiap kategori, lalu langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung pada setiap kategori menjadi angka index dengan rumus yang tertera diatas. Berikut merupakan contoh perhitungan pada mode kegagalan *Buckling*, pada mode kegagalan ini didapatkan 3 responden memilih tingkat *severity* 4, 1 responden memilih tingkat *severity* 5, 1 responden memilih tingkat *severity* 6,. Maka perhitungan *severity index* adalah 46%

$$S.I = \frac{(3 \times 4) + (1 \times 5) + (1 \times 6)}{10 \times 5} \times 100\% = 46\%$$

Dan berikut merupakan hasil perhitungan menjadi persentase index.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Index

No.	Risiko Kegagalan		INDEX		
			S	O	D
1	Bocor	<i>Free Span</i>	24%	26%	30%
2		<i>Buckling</i>	46%	44%	52%
3		Eksternal Korosi	74%	70%	66%
4		Internal Korosi	80%	72%	78%
5		<i>Scouring</i>	44%	44%	38%
6		Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	40%	34%	26%
7		Kejatuhan Jangkar	52%	46%	50%
8		Kapal Tenggelam	48%	24%	34%
9		Alat Tangkap Ikan	32%	20%	16%
10		Gempa Bumi	42%	16%	16%
11		Jenis Fluida yang Mengalir	70%	56%	58%
12	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	40%	36%	40%
13		Kerak di Dalam Pipa	38%	42%	42%
14		<i>Back Pressure</i>	30%	40%	34%

Perhitungan RPN dilakukan berdasarkan *rating index severity, occurrence, detection*. Ketiga index ini didapatkan dari hasil kuisisioner oleh responden yang merupakan praktisi yang sudah berpengalaman dibidangnya. Nilai index tersebut mengacu pada (Davis dan Cosenza, 1988) seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 9 Tabel Persentase Index

Angka Index	
Rating	Index
1	0 %- 10%
2	11% - 20%
3	21% - 30%
4	31% - 40%
5	41% - 50%
6	51% - 60%
7	61% - 70%
8	71% - 80%
9	81% - 90%
10	91% - 100%

(Sumber : Al – Hammad, 2003)

Sebagai contoh penggolongan pada tabel diatas, pada mode kegagalan *buckling* memiliki *severity index* 46%, dari hasil tersebut dapat digolongkan bahwa *severity* pada mode kegagalan *buckling* termasuk pada rank 5 ($41\% < I \leq 50\%$). Dari hasil index diatas dapat dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* menggunakan rumus dibawah ini:

Ouput dari hasil perhitungan RPN berupa angka tertinggi sampai angka terendah dari suatu kegagalan. Dari hasil perhitungan tertinggi selanjutnya dilakukan tindakan yang tepat untuk mengurangi efek tersebut hingga batas wajar. Contoh perhitungan pada mode kegagalan *buckling*:

$$\mathbf{RPN = severity \times occurrence \times detection}$$

$$\begin{aligned} RPN &= S (severity) \times O (occurrence) \times D (Detection) \\ &= 5 \times 5 \times 6 \\ &= 150 \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil perhitungan RPN pada analisa *offshore pipeline* ketika kondisi operasi.

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan RPN

Risiko Kegagalan		INDEX			RPN			RPN
		S	O	D	S	O	D	
Bocor	<i>Free Span</i>	24%	26%	30%	3	3	3	27
	<i>Buckling</i>	46%	44%	52%	5	5	6	150
	Eksternal Korosi	74%	70%	66%	8	7	7	392
	Internal Korosi	80%	72%	78%	8	8	8	512
	<i>Scouring</i>	44%	44%	38%	5	5	4	100
	Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	40%	34%	26%	4	4	3	48
	Kejatuhan Jangkar	52%	46%	50%	6	5	5	150
	Kapal Tenggelam	48%	24%	34%	5	3	4	60
	Alat Tangkap Ikan	32%	20%	16%	4	2	2	16
	Gempa Bumi	42%	16%	16%	5	2	2	20
Jenis Fluida yang Mengalir	70%	56%	58%	7	6	6	252	
Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	40%	36%	40%	4	4	4	64
	Kerak di Dalam Pipa	38%	42%	42%	4	5	5	100
	<i>Back Pressure</i>	30%	40%	34%	3	4	4	48

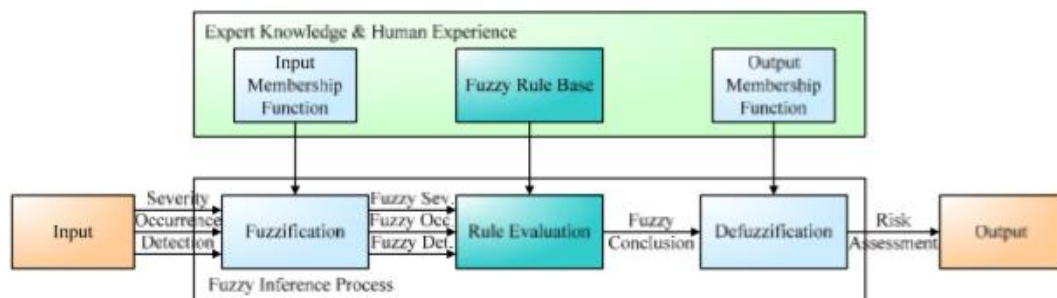
Dari hasil perhitungan FMEA terdapat beberapa mode kegagalan yang memiliki RPN paling besar dan sama. RPN paling besar menunjukkan bahwa mode kegagalan tersebut merupakan mode kegagalan yang paling tinggi atau dominan. Internal korosi dan eksternal korosi merupakan salah satu penyebab utama kegagalan pipa bawah laut ketika sedang beroperasi yang memiliki RPN sebesar 512 dan 392. Mode kegagalan jenis fluida yang mengalir menempati peringkat selanjutnya dengan RPN 252. Pada urutan selanjutnya adalah mode kegagalan kejatuhan jangkar dan buckling dengan RPN 150. Mode kegagalan yang memiliki RPN paling besar diperlukan penanganan untuk mengurangi dampak dari mode kegagalan tersebut, sedangkan beberapa mode kegagalan yang memiliki RPN sama dilakukan perhitungan kembali menggunakan metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* dimana metode ini menghindari dari hasil RPN yang sama pada beberapa mode kegagalan. Dibawah ini ada tabel peringkat dari hasil perhitungan *Failure Mode and Effect Analysis*.

Tabel 4. 11 Ranking Perhitungan Metode FMEA

Risiko Kegagalan		RPN			RPN	RANK
		S	O	D		
Bocor	<i>Free Span</i>	3	3	3	27	9
	<i>Buckling</i>	5	5	6	150	4
	Eksternal Korosi	8	7	7	392	2
	Internal Korosi	8	8	8	512	1
	<i>Scouring</i>	5	5	4	100	5
	Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	4	4	3	48	8
	Kejatuhan Jangkar	6	5	5	150	4
	Kapal Tenggelam	5	3	4	60	7
	Alat Tangkap Ikan	4	2	2	16	11
	Gempa Bumi	5	2	2	20	10
Jenis Fluida yang Mengalir	7	6	6	252	3	
Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	4	4	4	64	6
	Kerak di Dalam Pipa	4	5	5	100	5
	<i>Back Pressure</i>	3	4	4	48	8

4.4 Analisa Risiko dengan Metode Fuzzy FMEA

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Sistem *fuzzy* adalah sistem yang berbasis pengetahuan yang dibangun dari keahlian dan pengalaman dalam bentuk aturan IF – THEN *fuzzy*. Melalui pembangunan model berbasis pengetahuan, pengetahuan ahli dan penilaian dapat dimanfaatkan untuk membuat metode penilaian FMEA lebih masuk akal dan nyaman. Struktur keseluruhan untuk menggunakan teori *fuzzy* ditunjukkan pada gambar dibawah ini

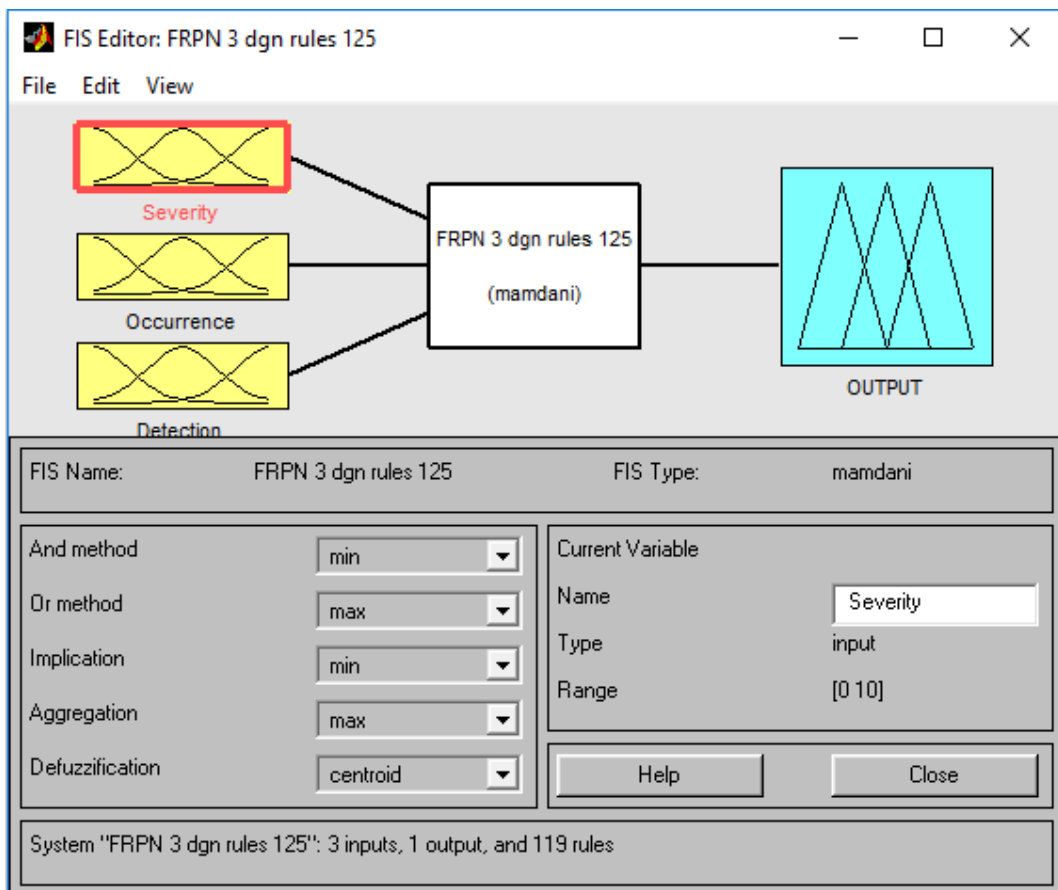


Gambar 4. 2 Struktur FMEA berdasarkan teori *fuzzy*

(Sumber : Yeh, Ruey dan Hsieh, Mei, 2007)

4.4.1 Fuzzification

Dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan input *fuzzy set* yang ditentukan oleh keahlian tiga parameter yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* dapat diubah menjadi input *fuzzy*. Pendekatan ini menggunakan variabel linguistic untuk mewakili tingkat keparahan, kejadian, deteksi setiap risiko kegagalan. Setiap variabel linguistic memiliki lima istilah linguistic untuk menggambarannya. Istilah linguistic ini adalah *None*, *Low*, *Medium*, *High*, *Very High*.



Gambar 4. 3 Input dan output fuzzy

Tabel 4. 12 Data Input fuzzification

INPUT	None	Low	Medium	High	Very High
Severity	[0,0,2]	[1,3,4.5]	[3,5,7]	[5,7.25,9]	[7.5,10,10]
Occurrence	[0,0,2]	[1,3,4.5]	[3,5,7]	[5,7.25,9]	[7.5,10,10]
Detection	[0,0,2]	[1,3,4.5]	[3,5,7]	[5,7.25,9]	[7.5,10,10]

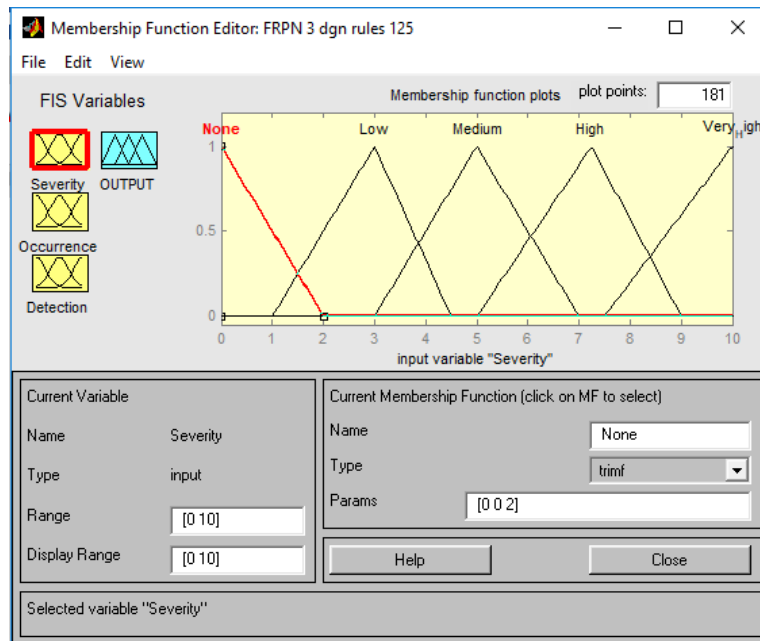
(Sumber : Kumru, Mesut dan Kumru, Pinar. 2013)

Tabel 4. 13 Data Output *fuzzification*

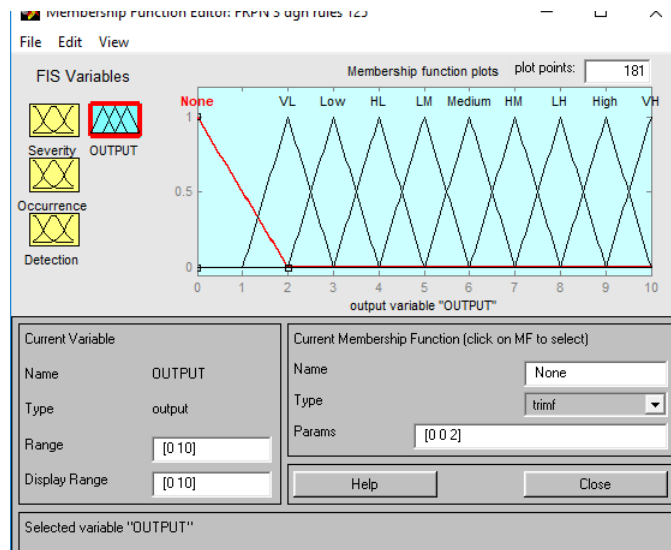
OUTPUT	None	VL	L	HL	LM
	[0,0,2]	[1,2,3]	[2,3,4]	[3,4,5]	[4,5,6]
OUTPUT	Medium	HM	LH	High	VH
	[5,6,7]	[6,7,8]	[7,8,9]	[8,9,10]	[9,10,10]

(Sumber : Kumru, Mesut dan Kumru, Pinar. 2013)

Fungsi input keanggotaan dari lima istilah linguistik untuk kategori keparahan diilustrasikan pada gambar dibawah ini



Gambar 4. 4 Input angka *severity*



Gambar 4. 5 Input angka output

4.4.2 Rule Evaluation

Basis aturan *fuzzy* adalah kumpulan dari aturan IF – THEN yang dibuat dari para ahli. Dalam aturan *fuzzy* IF – THEN bagian if dibandingkan dengan variabel input *fuzzy*, dan konsekuensinya bagian THEN adalah variabel output *fuzzy*. Setiap aturan IF – THEN *fuzzy* dinyatakan sebagai:

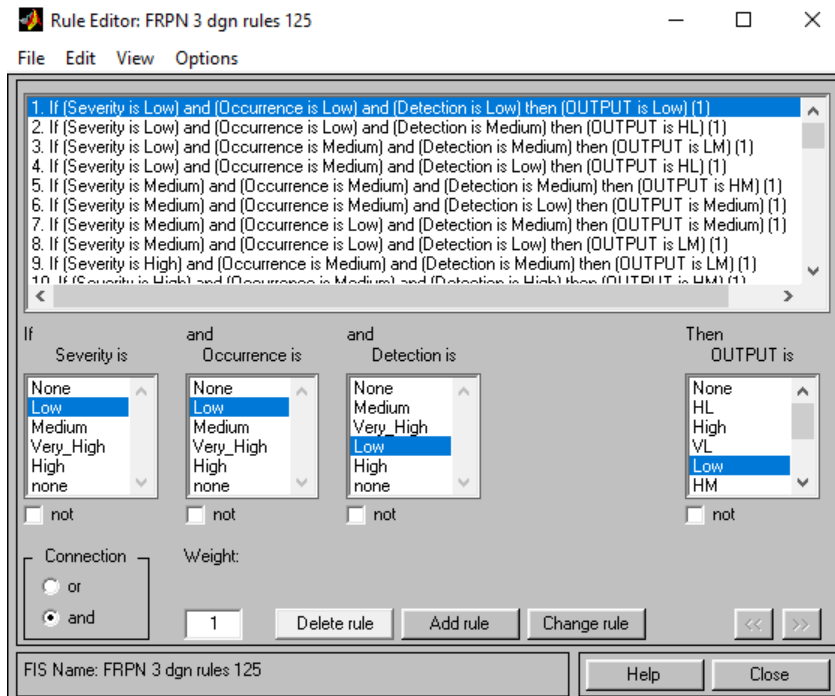
Jika keparahan kecil, dan kejadian kecil, dan deteksi kecil maka risikonya adalah rendah.

Dengan menggunakan aturan *rules* IF – THEN yang didapatkan dari Jurnal Kumru, (2013) dan mengintegrasikannya *kedalam* aturan *fuzzy*, aturan IF – THEN *fuzzy* dalam basis aturan *fuzzy* dapat digabungkan ke dalam pemetaan dari input *fuzzy* ke kesimpulan *fuzzy*. Semua kombinasi harus dikelompokkan untuk menghasilkan basis aturan *fuzzy*. Contoh beberapa aturan dapat dilihat pada tabel dibawah ini menurut Kumru (2013).

Tabel 4. 14 *Rule fuzzy IF - THEN*

No	Occurrence	Severity	Detection	Output
11	None	Medium	None	Very Low
12	None	Medium	Low	Low
16	None	High	None	Low
17	None	High	Low	High Low
21	None	Very High	None	High Low
22	None	Very High	Low	Low Medium
26	Low	None	None	None
27	Low	None	Low	None
66	Medium	High	None	Low
67	Medium	High	Low	High Low

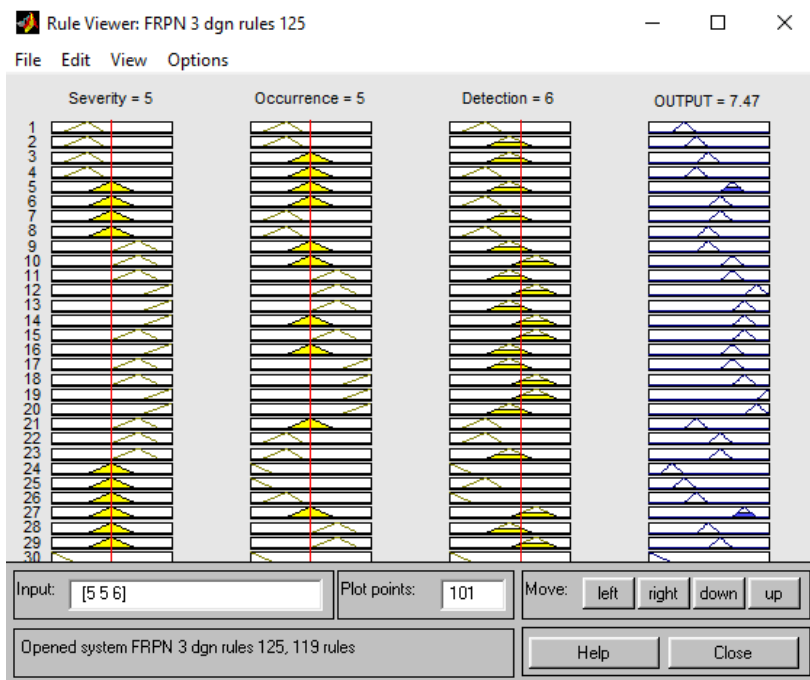
(Sumber : Kumru, Mesut dan Kumru, Pinar. 2013)



Gambar 4. 6 Input rule IF - THEN

4.4.3 Defuzzification

Dengan mendefinisikan fungsi keanggotaan *fuzzy* output dan *defuzzier*, kesimpulan *fuzzy* dapat dikonversi menjadi representasi risiko yang memiliki output angka., angka tersebut disebut juga dengan *fuzzy risk priority number (FRPN)*. Contohnya hasil kesimpulan *fuzzy* dapat diilustrasikan dalam output fungsi keanggotaan gambar 4.9. Dimana dalam gambar 4.9 dapat dilihat angka pada kategori *severity* adalah 5, *occurrence* adalah 5, dan *detection* adalah 6. Dengan memasukkan angka tersebut kedalam MATLAB maka akan mendapatkan angka output 7,47.



Gambar 4. 7 Ouput hasil *deffuzification*

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan *fuzzy* FMEA

Risiko Kegagalan		RPN			FRPN
		S	O	D	
Bocor	<i>Free Span</i>	3	3	3	3
	<i>Buckling</i>	5	5	6	7,47
	Eksternal Korosi	8	7	7	8,28
	Internal Korosi	8	8	8	8,32
	<i>Scouring</i>	5	5	4	6,59
	Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	4	4	3	4,67
Bocor	Kejatuhan Jangkar	6	5	5	6,04
	Kapal Tenggelam	5	3	4	5,59
	Alat Tangkap Ikan	4	2	2	4,15
	Gempa Bumi	5	2	2	5
	Jenis Fluida yang Mengalir	7	6	6	6,51
Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	4	4	4	5,19
	Kerak di Dalam Pipa	4	5	5	6,15
	<i>Back Pressure</i>	3	4	4	4,14

Berdasarkan perhitungan menggunakan software *Matlab* didapatkan

hasil akhir angka *fuzzy risk priority number* (FRPN) dengan angka tertinggi pada Internal korosi yaitu 8,32, dilanjutkan pada urutan kedua yaitu eksternal korosi dengan angka 8,28. Risiko kegagalan *buckling* menempati urutan ketiga dengan angka FRPN sebesar 7,47. Risiko kegagalan *scouring* menempati urutan keempat dengan angka FRPN sebesar 7,47, dilanjutkan pada urutan kelima yaitu jenis fluida yang mengalir dengan angka FRPN 6,51.

Dari proses perhitungan dengan metode FMEA dilanjutkan dengan perhitungan dengan metode *fuzzy* FMEA dengan mengolah hasil *risk priority number* menjadi *fuzzy risk priority number* agar mendapatkan ranking yang lebih spesifik dari setiap risiko kegagalan.

Tabel 4. 16 Perbandingan hasil perhitungan FMEA dengan *fuzzy* FMEA

Risiko Kegagalan		RPN			RPN	RANKING	FRPN	RANKING
		S	O	D				
Bocor	<i>Free Span</i>	3	3	3	27	9	3	14
	<i>Buckling</i>	5	5	6	150	4	7,47	3
	Eksternal Korosi	8	7	7	392	2	8,28	2
	Internal Korosi	8	8	8	512	1	8,32	1
	<i>Scouring</i>	5	5	4	100	5	6,59	4
	Aktifitas <i>Lifting</i> di Platform	4	4	3	48	8	4,67	11
	Kejatuhan Jangkar	6	5	5	150	4	6,04	7
	Kapal Tenggelam	7	3	4	84	6	6,01	8
	Alat Tangkap Ikan	4	2	2	16	11	4,15	12
	Gempa Bumi	5	2	2	20	10	5	10
	Jenis Fluida yang Mengalir	7	6	6	252	3	6,51	5

Risiko Kegagalan		RPN			RPN	RANKING	FRPN	RANKING
		S	O	D				
Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	4	4	4	64	7	5,19	9
	Kerak di Dalam Pipa	4	5	5	100	5	6,15	6
	<i>Back Pressure</i>	3	4	4	48	8	4,14	13

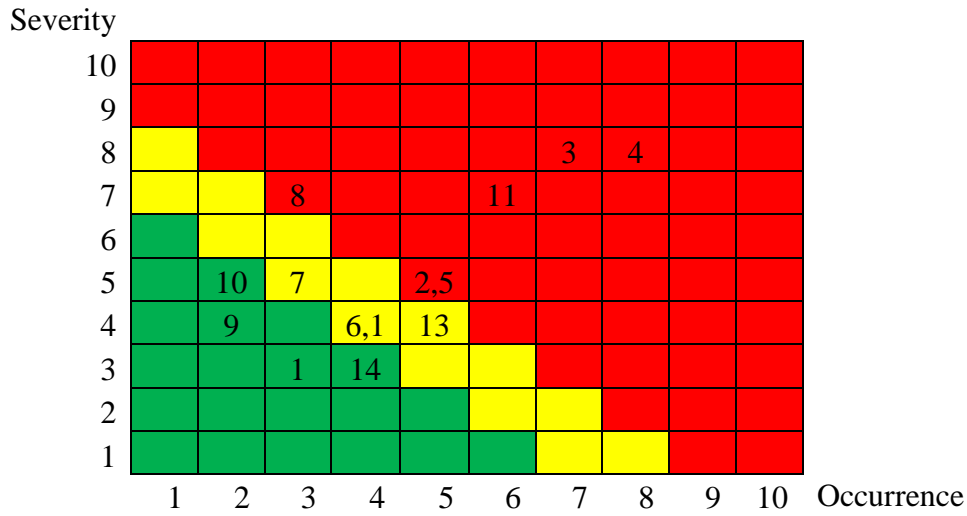
Menurut perhitungan dengan metode *failure mode effect and analysis* risiko kegagalan internal korosi menempati peringkat 1, eksternal korosi menempati peringkat 2, jenis fluida yang mengalir menempati peringkat 3, *buckling* dan kejatuhan jangkat sama sama menempati peringkat 4 dikarenakan memiliki hasil RPN yang sama, dan *scouring* menempati peringkat 5. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *fuzzy failure mode and effect analysis* didapatkan hasil peringkat yang berbeda dimana pada peringkat 1 ditempati oleh internal korosi, lalu pada peringkat 2 ditempati oleh eksternal korosi, peringkat 3 ditempati oleh *buckling*, peringkat 4 ditempati oleh *scouring*, peringkat 5 ditempati oleh jenis fluida yang mengalir.

4.5 Saran Pengendalian Risiko

Upaya untuk meminimalisasi risiko dilakukan dengan menerapkan langkah – langkah yang diarahkan pada hasil perhitungan metode yang diperoleh dari proses analisa risiko. Hal ini dilakukan dengan cara mengembangkan opsi – opsi dan menentukan aksi untuk menambah kesempatan dan mengurangi ancaman terhadap tujuan proyek. Pada penelitian ini dilakukan pengendalian risiko dengan menggunakan teknik mitigasi yang meliputi tindakan – tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi peluang terjadinya risiko kegagalan pada pipa.

Setelah melakukan perhitungan menggunakan metode FMEA, seluruh kategori dari risiko kegagalan harus masuk dalam kategori dapat diterima atau dapat dipertimbangkan. Untuk menentukan kategori dari setiap risiko kegagalan angka *severity* dan angka *occurrence* diplotkan kedalam matriks risiko. Berikut merupakan matriks risiko kegagalan pada kondisi

operasi pada *offshore pipeline*.



Gambar 4. 8 Matriks Risiko

Dari hasil memplotkan risiko kegagalan kedalam matriks risiko, dapat dilihat bahwa dari 14 risiko kegagalan terdapat 4 risiko kegagalan masuk dalam kategori *acceptable*, terdapat 4 risiko kegagalan masuk dalam kategori *consideration*, terdapat 6 risiko kegagalan masuk dalam kategori *need corrective action*. Berikut merupakan saran pengendalian risiko sesuai dengan matriks risiko diatas.

1. *Buckling*

Buckling dapat terjadi karena ada internal pressure fluida yang mengalir terlalu tinggi menyebabkan efek pada pipa yaitu bengkok. Untuk mengurangi terjadinya *buckling* dapat dilakukan tindakan yaitu melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (*Pressure Control System*). Selain itu untuk mencegah internal pressure mengalir dapat menggunakan sistem katup di topside yaitu dengan *Shutdown Valve*.

2. Eksternal Korosi

Terjadinya eksternal korosi dikarenakan adanya oksidasi antara pipa dengan lingkungan air laut oleh karena itu dilakukan tindakan saran pengendalian risiko yaitu, memberikan lapisan *concrete weight coating* pada bagian luar sebagai lapisan pelindung. Untuk mengurangi terjadinya eksternal korosi dapat dilakukan juga dengan menggunakan metode *Coating Cathodic Protection*. *Cathodic Protection* merupakan suatu metode perlindungan

terhadap suatu logam dari serangan korosi. Meskipun demikian, perlindungan katodik hanya dapat menghentikan proses korosi tetapi tidak dapat mengembalikan material yang telah terkorosi sebelumnya.

3. Internal Korosi

Internal korosi terjadi dikarenakan oleh jenis kandungan fluida yang mengalir di dalam pipa yang mengandung CO₂ dan H₂S. Untuk mengurangi terjadinya risiko tersebut dapat dilakukan penambahan *internal coating* untuk memperlambat terjadinya korosi didalam pipa dan menambahkan *inhibitor korosi* karena aliran fluida yang memiliki fasa jamak yang terdiri dari air dan kontaminannya seperti O₂, H₂S, CO₂ akan menyebabkan terjadinya korosi pada internal pipa. Untuk menghambat laju korosi pada internal pipa terjadi dengan cepat, diperlukan pengendalian terhadap korosi tersebut salah satunya dengan pemakaian inhibitor.

4. *Scouring*

Scouring terjadi akibat pengikisan tanah pada sekitar pipeline akibat dari arus dan dapat juga menyebabkan *free span*. Untuk mengatasi *scouring* dapat dilakukan penjadwalan untuk mengecek langsung ke lokasi apakah terjadi *scouring*, jika terjadi *scouring* maka dapat ditambahkan *sand bag* atau *grout bag* pada area yang mengalami *scouring*.

5. Kejatuhan Jangkar

Penyebab terjadinya kejatuhan jangkar pada umumnya disebabkan oleh kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di area operasi pipa. Pengendalian pada risiko kegagalan ini adalah dengan cara menentukan zona zona batas pelayaran pada jalur kapal di area sekitar operasi pipa. Pipa bawah laut dapat dipendam didasar laut untuk melindungi pipa dari pukot atau jaring kapal ikan, dan kejatuhan jangkar. Penguburan pipa sering disyaratkan untuk melindungi pipa terhadap pukulan berulang (*repetitive pounding*) karena aksi gelombang, kejatuhan jangkar, dan juga pukot.

6. Jenis Fluida yang Mengalir

Dikarenakan jenis fluida yang mengalir didalam pipa memiliki sifat zat yang terlalu asam sehingga menyebabkan pipa mengalami kebocoran. Oleh karena itu ditambahkan internal coating untuk memperlambat terjadinya kebocoran pipa yang diakibatkan oleh zat atau fluida yang mengalir. Selain itu dapat juga mengganti jenis material pipa menggunakan pipa berjenis *fiberglass reinforced plastic* yang memiliki bahan utama plastik sehingga tidak terjadi kebocoran yang diakibatkan oleh zat atau fluida.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya, berikut merupakan kesimpulan dari penelitian ini,

1. Setelah melakukan identifikasi dan wawancara pada ahli yang berpengalaman pada bidangnya, didapatkan 14 risiko kegagalan yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada pipa. Diantaranya adalah *free span*, *buckling*, *internal corrosion*, *eksternal corrosion*, dll.
2. Pada perhitungan *Risk Priority Number* didapatkan beberapa mode kegagalan yang memiliki RPN tinggi diantaranya adalah internal korosi, eksternal korosi, dan jenis fluida yang mengalir. Selain itu terdapat juga beberapa mode kegagalan yang memiliki hasil RPN sama yaitu *buckling* dan kejatuhan jangkar dengan hasil RPN 150. Setelah dilakukan perhitungan *fuzzy* hasil akhir perhitungan pada mode *buckling* adalah 7,47 dan pada mode kejatuhan jangkar adalah 6,04.
3. Tindakan mitigasi yang dapat dilakukan pada mode kegagalan Internal Korosi adalah menambahkan *internal coating* untuk menghambat proses laju korosi pada bagian internal pipa. Selain itu pada mode kegagalan *buckling* tindakan mitigasi yang dilakukan adalah melengkapi sistem dengan *Pressure Control System*. Selain itu dapat juga menggunakan sistem katup pada *topside* yaitu dengan *Shutdown Valve*.

5.2 Saran

Pada tugas akhir ini yang berjudul Penerapan *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* dalam Analisa Risiko Operasi *Offshore Pipeline* ini diharapkan bisa dilanjutkan dengan menambahkan data *historical* kejadian agar lebih detail dan harapanya dapat menambahkan atau membandingkan dengan metode lain agar semakin lengkap perhitungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahrami, Mahdi, dkk. 2012. *Innovation and Improvements In Project Implementation and Management Using FMEA Technique*. Elsevier. Iran.
- Chrysler LLC. (2008). *Potential Failure Mode and Effect Analysis*. Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- CNBC. Contoh Pipa Kejatuhan Jangkar. Diakses pada tanggal 24 April 2019 <https://www.cnbcindonesia.com/news/20180423195004-4-12179/hantaman-jangkar-diduga-penyebab-patah-pipa-pertamina>
- Colli, Alessandra. 2015. *Failure Mode and Effect Analysis for Photovoltaic Systems*. Science Direct. USA.
- Det Norske Veritas. 2017. *DNVGL-RP-F107: Risk Assessment of Pipeline Protection*. Norway.
- Djefrianto, Ziko dan Suhartini. 2013. *Analisa Resiko Kegagalan Produksi di PDAM dengan Metode Fuzzy FMEA*. Indonesia.
- Eonchemical. Eksternal Korosi pada Pipeline. Diakses pada 14 Mei 2019 <http://article.eonchemicals.com/uji-coba-external-pipe-coating/>
- Fattahi, R., Khalilzadeh, M. 2018. *Risk Evaluation Using a Novel Hybrid Method Based on FMEA, Extended Miltimoor, and AHP Methods Under Fuzzy Environment*. Science Direct. Iran.
- Feili, Hamid, dkk. 2013. *Risk Analysis of Geothermal Power Plants Using Failure Mode and Effect Analysis Technique*. Science Direct. Iran.
- Inilah. Akibat Gempa Bumi. Diakses pada tanggal 24 April 2019 <https://foto.inilah.com/read/detail/89387/kondisi-pangkalan-angkatan-laut-palu-usai-dilanda-gempa-dan-tsunami>
- Kang, Jichuan, dkk. 2017. *Risk Assessment of Floating Offshore Wind Turbine Based on Correlation FMEA*. Elsevier. China.
- Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari. 2002. *Analisis & Desain Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Liu, Yongkui, dkk. 2018. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for The Security of The Supply Chain System of The Gas Station in China*. Science Direct. China.
- McDermott dan E, Robin. 2009. *The Basic of FMEA Edisi 2*. CRC Press. USA.

- Ngsuyasa. Aktifitas Lifting di Platform. Diakses pada tanggal 24 April 2019
<https://ngsuyasa.wordpress.com/2018/03/01/introduction-on-lifting-operation-management-system-loms/>
- Northeast Supply Enhancement. Contoh Back Pressure. Diakses pada tanggal 24 April 2019
<https://northeastsupplyenhancement.com/video/offshore-pipeline-tie-in/>
- Pande, Peter S., dkk. 2002. *The Six Sigma Way Edisi 1*. McGraw-Hill. USA.
- Pipeline. Buckling pada Pipeline. Diakses pada tanggal 20 Juli 2019
<http://pipeline1261.blogspot.com/2016/02/pipeline-global-buckling.html>
- Pipingengineer. Internal Korosi pada Pipeline. Diakses pada 24 April 2019
<https://www.pipingengineer.org/pipeline-internal-corrosion-protection-and-monitoring/>
- Republika. Penggunaan Pukat Harimau. Diakses pada tanggal 24 April 2019
<https://www.republika.co.id/berita/ekonomi/makro/17/12/14/p0year383-susi-pukat-harimau-harus-berhenti-beroperasi-2018>
- Rrcmellc. Aktifitas Pigging pada Pipeline. Diakses pada tanggal 24 April 2019
<http://rrcmellc.ae/service/pipeline-pigging-for/>
- Rusmiati, Emi. 2016. *Penerapan Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis dalam Mengidentifikasi Kegagalan pada Proses Produksi di PT. Daesol Indonesia*. Science Direct. Indonesia.
- Santosa, Budi. 2009. *Manajemen Proyek: Konsep dan Implementasi*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Stellarpipeliner. Kerak didalam Pipeline. Diakses pada tanggal 24 April 2019
<http://stellarpipeliner.blogspot.com/2015/02/pig-trap-pig-launcherintelligent-pig.html>
- Vladvampire. Free Span Bawah Laut. Diakses pada tanggal 20 Juli 2019
<https://vladvampire.wordpress.com/tag/free-span/>
- Wessiani, Naning dan Sarwoko. 2015. *Risk Analysis of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA*. Elsevier. Indonesia.
- Wikipedia. Scouring. Diakses pada tanggal 24 April 2019
https://en.wikipedia.org/wiki/Bridge_scour

LAMPIRAN A
KUISIONER SURVEY

KUESIONER SURVEI UTAMA

Judul Tugas Akhir :

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM
ANALISA RESIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**



Disusun Oleh :

Fachri Kurnia Maradika

04311540000134

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu operasional *pipeline* terdapat beberapa mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat *pipeline* beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan perlu dilakukan tindakan pencegahan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan kegagalan dominan yang dapat terjadi pada kondisi operasi *Offshore Pipeline* dengan serive MOL (*Main Oil Line*)

2. TUJUAN SURVEI

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data tingkat keparahan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan tingkat kemungkinan lolosnya mode kegagalan (*detection*) dari mode kegagalan operasi sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan operasi pada pipa.

3. RESPONDEN

Kuesioner pada survei utama ini ditujukan kepada *Pipeline Engineering* yang sudah berpengalaman dalam bidangnya.

4. KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner survey pendahuluan ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/ Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

5. PROFIL RESPONDEN

- | | | |
|---|------------------------|---|
| 1 | Nama | : Jona Johari |
| 2 | Alamat | : Indonesia Stock Exchange Building, Tower 1, 18 th fl.
Jl. Jendral Sudirman Kav ,52 Jakarta. 12190 |
| 3 | No. Telp. | : 021-50806629 |
| 4 | Jabatan | : Pipeline Construction Supply |
| 5 | Pendidikan
Terakhir | : S2 |
| 6 | Lama Bekerja | : 14 Tahun |

6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Dalam pengisian kuisisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda (X) pada kolom yang telah tersedia. Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.

Keterangan skala untuk tingkat keparahan (*severity*) sebagai berikut :

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Keterangan skala untuk tingkat kejadian sebagai berikut:

Occurrence		
Rating	Effect	Kriteria
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi

Keterangan skala untuk tingkat deteksi sebagai berikut:

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																		
1	Bocor	Free Span			X									Bentangan antara pipa terhadap dasar laut		X																	Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan			X																
2		Buckling	Pipa mengalami bengkok pada satu titik				X							Adanya internal pressure yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan					X														Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)					X														
3		Eksternal Korosi	Bagian luar pipa mengalami korosi disebabkan oleh lingkungan										X	Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan									X											Menggunakan metode Cathodic Protection												X						
4		Internal Korosi	Bagian dalam pipa mengalami penipisan wall thickness										X	Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S						X													Ditambah Internal Coating													X						
5		Scouring	Pipa dapat mengalami keretakan hingga kebocoran				X							Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning							X												Pemasangan sand bag atau grout bag						X													
6		Aktifitas Lifting di Platform	Pipa menjadi retak dan berpotensi mengalami kebocoran							X				Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa							X												Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai			X																
7		Kejatuhan Jangkar	Pipa akan patah karena kejatuhan jangkar							X				Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut		X																	Menentukan zona batas pelayaran			X																
8		Kapal Tenggelam	Pipa berpotensi mengalami bengkok										X	Tabrakan antar kapal dan grounding		X																	Menentukan zona batas pelayaran		X																	
9		Alat Tangkap Ikan	Pipa mengalami retak hingga bengkok				X							Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa					X														Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum	X																		
10		Gempa Bumi	Pipa mengalami retak hingga bengkok							X				Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa		X																	Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi			X																
11		Jenis Fluida yang Mengalir	Pipa mengalami kebocoran akibat fluida									X		Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran							X												Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic					X														

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																																								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																															
12	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>					X													X																Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi					X																								
13		Kerak di Dalam Pipa					X													X																	Dibersihkan menggunakan metode pigging							X																					
14		<i>Back Pressure</i>			X																																	Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan											X																

KUESIONER SURVEI UTAMA

Judul Tugas Akhir :

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS
DALAM ANALISA RESIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**



Disusun Oleh :

Fachri Kurnia Maradika

04311540000134

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2019**

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu operasional *pipeline* terdapat beberapa mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat *pipeline* beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan perlu dilakukan tindakan pencegahan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan kegagalan dominan yang dapat terjadi pada kondisi operasi *Offshore Pipeline* dengan serive MOL (*Main Oil Line*)

2. TUJUAN SURVEI

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data tingkat keparahan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan tingkat kemungkinan lolosnya mode kegagalan (*detection*) dari mode kegagalan operasi sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan operasi pada pipa.

3. RESPONDEN

Kuesioner pada survei utama ini ditujukan kepada *Pipeline Engineering* yang sudah berpengalaman dalam bidangnya.

4. KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner survey pendahuluan ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/ Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

5. PROFIL RESPONDEN

- | | | |
|---|------------------------|--------------------------------|
| 1 | Nama | : Januar Adi Murdani |
| 2 | Alamat | : PHE Tower, Jakarta Selatan |
| 3 | No. Telp. | : 081331472407 |
| 4 | Jabatan | : Pipeline Project Engineering |
| 5 | Pendidikan
Terakhir | : S1 |
| 6 | Lama Bekerja | : >10 Tahun |

6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Dalam pengisian kuisisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda (X) pada kolom yang telah tersedia. Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.

Keterangan skala untuk tingkat keparahan (*severity*) sebagai berikut :

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Keterangan skala untuk tingkat kejadian sebagai berikut:

Occurrence		
Rating	Effect	Kriteria
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi

Keterangan skala untuk tingkat deteksi sebagai berikut:

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Bocor	Free Span		X										Bentangan antara pipa terhadap dasar laut		X											Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan			X							
		Buckling						X						Adanya internal pressure yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan				X									Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)							X			
		Eksternal Korosi								X				Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan					X								Menggunakan metode Cathodic Protection					X					
		Internal Korosi										X		Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S								X					Ditambah Internal Coating							X			
		Scouring				X								Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning			X										Pemasangan sand bag atau grout bag			X							
		Aktifitas Lifting di Platform				X								Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa		X											Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai	X									
		Kejatuhan Jangkar						X						Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut					X								Menentukan zona batas pelayaran				X						
		Kapal Tenggelam								X				Tabrakan antar kapal dan grounding			X										Menentukan zona batas pelayaran		X								
		Alat Tangkap Ikan			X									Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa	X												Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum	X									
		Gempa Bumi		X										Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa	X												Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi		X								
Jenis Fluida yang Mengalir								X				Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran						X							Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic								X				

No.	Failure Mode		Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	Aliran pipa tersumbat akibat adanya peralatan didalam pipa		X										Adanya peralatan didalam pipa				X								Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi				X						
		Kerak di Dalam Pipa	Kerak yang menumpuk berpotensi menyumbat aliran pipa					X							Terdapat endapan yang dihasilkan dari fluida yang mengalir pada pipa		X										Dibersihkan menggunakan metode pigging						X				
		<i>Back Pressure</i>	Aliran pipa tidak terkendali sehingga mengakibatkan pipa tersumbat		X										Perbedaan pada ukuran diameter pipa antar platform				X								Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan			X							

KUESIONER SURVEI UTAMA

Judul Tugas Akhir :

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM
ANALISA RESIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**



Disusun Oleh :

Fachri Kurnia Maradika

04311540000134

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu operasional *pipeline* terdapat beberapa mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat *pipeline* beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan perlu dilakukan tindakan pencegahan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan kegagalan dominan yang dapat terjadi pada kondisi operasi *Offshore Pipeline* dengan serive MOL (*Main Oil Line*)

2. TUJUAN SURVEI

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data tingkat keparahan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan tingkat kemungkinan lolosnya mode kegagalan (*detection*) dari mode kegagalan operasi sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan operasi pada pipa.

3. RESPONDEN

Kuesioner pada survei utama ini ditujukan kepada *Pipeline Engineering* yang sudah berpengalaman dalam bidangnya.

4. KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner survey pendahuluan ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/ Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

5. PROFIL RESPONDEN

- | | | |
|---|--------------|--|
| 1 | Nama | : Angga Prianata |
| 2 | Alamat | : Jakarta Pusat |
| 3 | No. Telp. | : 081386377299 |
| 4 | Jabatan | : Senior Pipeline Installation Engineering |
| 5 | Pendidikan | : S2 |
| | Terakhir | |
| 6 | Lama Bekerja | : 7 Tahun |

6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Dalam pengisian kuisisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda (X) pada kolom yang telah tersedia. Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.

Keterangan skala untuk tingkat keparahan (*severity*) sebagai berikut :

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Keterangan skala untuk tingkat kejadian sebagai berikut:

Occurrence		
Rating	Effect	Kriteria
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi

Keterangan skala untuk tingkat deteksi sebagai berikut:

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
1	Bocor	Free Span	Bending sebagian pada pipa	X											Bentangan antara pipa terhadap dasar laut			X											Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan		X												
2		Buckling	Pipa mengalami bengkok pada satu titik				X								Adanya internal pressure yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan				X										Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)				X										
3		Eksternal Korosi	Bagian luar pipa mengalami korosi disebabkan oleh lingkungan							X					Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan								X						Menggunakan metode Cathodic Protection										X				
4		Internal Korosi	Bagian dalam pipa mengalami penipisan wall thickness								X				Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S								X					Ditambah Internal Coating										X					
5		Scouring	Pipa dapat mengalami keretakan hingga kebocoran				X								Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning				X									Pemasangan sand bag atau grout bag								X							
6		Aktifitas Lifting di Platform	Pipa menjadi retak dan berpotensi mengalami kebocoran			X									Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa			X										Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai				X											
7		Kejatuhan Jangkar	Pipa akan patah karena kejatuhan jangkar				X								Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut					X								Menentukan zona batas pelayaran								X							
8		Kapal Tenggelam	Pipa berpotensi mengalami bengkok		X										Tabrakan antar kapal dan grounding		X											Menentukan zona batas pelayaran			X												
9		Alat Tangkap Ikan	Pipa mengalami retak hingga bengkok		X										Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa		X											Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum			X												
10		Gempa Bumi	Pipa mengalami retak hingga bengkok		X										Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa	X												Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi	X														
11		Jenis Fluida yang Mengalir	Pipa mengalami kebocoran akibat fluida						X						Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran							X						Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic								X							

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																		
12	Tersumbat	Tools Stuck					X													X															Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi				X													
13		Kerak di Dalam Pipa				X														X														Dibersihkan menggunakan metode pigging					X													
14		Back Pressure			X																	X													Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan				X													

KUESIONER SURVEI UTAMA

Judul Tugas Akhir :

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM
ANALISA RESIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**



Disusun Oleh :

Fachri Kurnia Maradika

04311540000134

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu operasional *pipeline* terdapat beberapa mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat *pipeline* beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan perlu dilakukan tindakan pencegahan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan kegagalan dominan yang dapat terjadi pada kondisi operasi *Offshore Pipeline* dengan serive MOL (*Main Oil Line*).

2. TUJUAN SURVEI

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data tingkat keparahan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan tingkat kemungkinan lolosnya mode kegagalan (*detection*) dari mode kegagalan operasi sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan operasi pada pipa.

3. RESPONDEN

Kuesioner pada survei utama ini ditujukan kepada *Pipeline Engineering* yang sudah berpengalaman dalam bidangnya.

4. KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner survey pendahuluan ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/ Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

5. PROFIL RESPONDEN

- | | | |
|---|--------------|-------------------------------|
| 1 | Nama | : Bagus Bagaskara Putra |
| 2 | Alamat | : Nusa Loka, BSD |
| 3 | No. Telp. | : 081224800858 |
| 4 | Jabatan | : Senior Pipeline Engineering |
| 5 | Pendidikan | : S2 |
| | Terakhir | |
| 6 | Lama Bekerja | : 6 Tahun |

6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Dalam pengisian kuisisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda (X) pada kolom yang telah tersedia. Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.

Keterangan skala untuk tingkat keparahan (*severity*) sebagai berikut :

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Keterangan skala untuk tingkat kejadian sebagai berikut:

Occurrence		
Rating	Effect	Kriteria
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi

Keterangan skala untuk tingkat deteksi sebagai berikut:

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																																																									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																
1	Bocor	Free Span		X													X																							Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan				X																																						
2		Buckling					X											X																						Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)				X																																						
3		Eksternal Korosi										X								X																					Menggunakan metode Cathodic Protection																					X																				
4		Internal Korosi							X												X																				Ditambah Internal Coating																																		X							
5		Scouring				X													X																						Pemasangan sand bag atau grout bag				X																																					
6		Aktifitas Lifting di Platform					X												X																						Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai		X																																							
7		Kejatuhan Jangkar						X													X																				Menentukan zona batas pelayaran							X																																		
8		Kapal Tenggelam					X																X																			Menentukan zona batas pelayaran			X																																					
9		Alat Tangkap Ikan			X																	X																				Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum	X																																							
10		Gempa Bumi				X																X																				Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi		X																																						
11		Jenis Fluida yang Mengalir								X												X																				Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic																																								

No.	Failure Mode		Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection																																								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																															
12	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	Aliran pipa tersumbat akibat adanya peralatan didalam pipa			X																	Adanya peralatan didalam pipa			X																			Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi					X																
13		Kerak di Dalam Pipa	Kerak yang menumpuk berpotensi menyumbat aliran pipa				X																	Terdapat endapan yang dihasilkan dari fluida yang mengalir pada pipa				X																	Dibersihkan menggunakan metode pigging				X																	
14		<i>Back Pressure</i>	Aliran pipa tidak terkendali sehingga mengakibatkan pipa tersumbat			X																		Perbedaan pada ukuran diameter pipa antar platform				X																	Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan		X																			

KUESIONER SURVEI UTAMA

Judul Tugas Akhir :

**PENERAPAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DALAM
ANALISA RESIKO OPERASI OFFSHORE PIPELINE**



Disusun Oleh :

Fachri Kurnia Maradika

04311540000134

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu operasional *pipeline* terdapat beberapa mode kegagalan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada saat *pipeline* beroperasi. Untuk mencegah terjadinya kegagalan perlu dilakukan tindakan pencegahan. Maka pada penelitian tugas akhir ini saya akan meneliti mengenai kemungkinan kegagalan dominan yang dapat terjadi pada kondisi operasi *Offshore Pipeline* dengan serive MOL (*Main Oil Line*).

2. TUJUAN SURVEI

Survei utama bertujuan untuk memperoleh data tingkat keparahan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan tingkat kemungkinan lolosnya mode kegagalan (*detection*) dari mode kegagalan operasi sehingga hasil variabel tersebut dapat menjadi acuan dalam penentuan tingkat risiko kemungkinan kegagalan operasi pada pipa.

3. RESPONDEN

Kuesioner pada survei utama ini ditujukan kepada *Pipeline Engineering* yang sudah berpengalaman dalam bidangnya.

4. KERAHASIAAN INFORMASI

Data responden dan informasi yang diberikan dalam kuesioner ini dijamin kerahasiaannya dan hanya dipakai untuk keperluan penelitian Tugas Akhir. Sehingga diharapkan kepada para responden untuk dapat mengisi kuesioner ini dengan objektif dan sejujur-jujurnya.

Saya menyampaikan terima kasih atas ketersediaan Bapak/Ibu sebagai responden untuk mengisi kuesioner survey pendahuluan ini. Saya sebagai peneliti berharap Bapak/ Ibu tidak keberatan untuk dihubungi kembali apabila terdapat kekeliruan dalam pengisian kuesioner ataupun apabila peneliti membutuhkan data dan keterangan tambahan sehubungan dengan penelitian ini.

5. PROFIL RESPONDEN

- | | | |
|---|------------------------|-----------------------|
| 1 | Nama | : Agus Wadirman |
| 2 | Alamat | : Bekasi |
| 3 | No. Telp. | : 08118000808 |
| 4 | Jabatan | : Pipeline Specialist |
| 5 | Pendidikan
Terakhir | : S1 Teknik Sipil |
| 6 | Lama Bekerja | : 30 Tahun |

6. PETUNJUK PENGISIAN KUESIONER

Dalam pengisian kuisisioner ini para responden diharapkan untuk memilih pilihan yang ada. Pilihlah pernyataan dengan memberi tanda (X) pada kolom yang telah tersedia. Apabila terdapat variabel yang tidak tercantum dalam daftar, maka diharapkan responden dapat mengisi di kolom kosong yang telah disediakan di bawah poin terakhir.

Keterangan skala untuk tingkat keparahan (*severity*) sebagai berikut :

SEVERITY		
RATING	EFFECT	KRITERIA
10	Hazardous without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation without warning
9	Hazardous with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode effects safe system operation with warning
8	Very high	System inoperable with destructive failure without compromising safety
7	High	System inoperable with equipment damage
6	Moderate	System inoperable with minor damage
5	Low	System inoperable without damage
4	Very low	System operable with significant degradation of performance
3	Minor	System operable with some degradation of performance
2	Very minor	System operable with minimal interference
1	None	No effect

Keterangan skala untuk tingkat kejadian sebagai berikut:

Occurrence		
Rating	Effect	Kriteria
1	Almost Never	Kegagalan tidak mungkin terjadi. Tidak pernah ada rekam jejak terjadinya kegagalan
2	Remote	Kegagalan sangat jarang terjadi
3	Very Slight	Sangat sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
4	Slight	Sedikit kemungkinan terjadinya kegagalan
5	Low	Kejadian kegagalan sesekali terjadi
6	Medium	Intensitas terjadinya kegagalan medium
7	Moderately High	Jumlah kegagalan yang mungkin terjadi cukup tinggi
8	High	Intensitas terjadinya kegagalan tinggi
9	Very High	Intensitas terjadinya kegagalan sangat tinggi
10	Almost Certain	Kegagalan hampir pasti terjadi

Keterangan skala untuk tingkat deteksi sebagai berikut:

DETECTION		
RATING	DETECTION	KRITERIA
10	Absolute uncertainty	Design control cannot detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
9	Very remote	Very remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
8	Remote	Remote chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
7	Very low	Very low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
6	Low	Low chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
5	Moderate	Moderate chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
4	Moderately high	Moderately high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
3	High	High chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
2	Very high	Very high chance the design control will detect potential cause / mechanism and subsequent failure mode
1	Almost certain	Design control will detect potential cause mechanism and subsequent failure mode

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Bocor	Free Span				X							Bentangan antara pipa terhadap dasar laut		X									Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan				X							
2		Buckling				X							Adanya internal pressure yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan				X							Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)								X			
3		Eksternal Korosi	Bagian luar pipa mengalami korosi disebabkan oleh lingkungan										X	Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan								X			Menggunakan metode Cathodic Protection								X		
4		Internal Korosi	Bagian dalam pipa mengalami penipisan wall thickness									X		Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S									X		Ditambah Internal Coating									X	
5		Scouring	Pipa dapat mengalami keretakan hingga kebocoran									X		Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning				X							Pemasangan sand bag atau grout bag				X						
6		Aktifitas Lifting di Platform	Pipa menjadi retak dan berpotensi mengalami kebocoran		X									Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa			X								Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai			X							
7		Kejatuhan Jangkar	Pipa akan patah karena kejatuhan jangkar			X								Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut				X							Menentukan zona batas pelayaran							X			
8		Kapal Tenggelam	Pipa berpotensi mengalami bengkok										X	Tabrakan antar kapal dan grounding		X									Menentukan zona batas pelayaran								X		
9		Alat Tangkap Ikan	Pipa mengalami retak hingga bengkok				X							Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa		X									Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum		X								
10		Gempa Bumi	Pipa mengalami retak hingga bengkok									X		Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa		X									Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi	X									
11		Jenis Fluida yang Mengalir	Pipa mengalami kebocoran akibat fluida										X	Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran									X		Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic							X			

No.	Failure Mode		Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
12	Tersumbat	<i>Tools Stuck</i>	Aliran pipa tersumbat akibat adanya peralatan didalam pipa					X								Adanya peralatan didalam pipa					X								Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi				X						
13		Kerak di Dalam Pipa	Kerak yang menumpuk berpotensi menyumbat aliran pipa			X										Terdapat endapan yang dihasilkan dari fluida yang mengalir pada pipa					X								Dibersihkan menggunakan metode pigging			X							
14		<i>Back Pressure</i>	Aliran pipa tidak terkendali sehingga mengakibatkan pipa tersumbat				X									Perbedaan pada ukuran diameter pipa antar platform				X									Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan				X						

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN FMEA

No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection										INDEX			RPN			RPN											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	S	O	D	S	O	D												
1	Free Span	Bending sebagian pada pipa	1	2	1	1								Bentangan antara pipa terhadap dasar laut		3	1	1									Dilakukan perhitungan maksimum panjang span yang diijinkan		1	3	1											24%	26%	30%	3	3	3	27				
2	Buckling	Pipa mengalami bengkok pada satu titik				3	1	1						Adanya internal pressure yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan				3	2							Melengkapi dengan sistem kontrol tekanan (Pressure Control System)				2	1	1	1									46%	44%	52%	5	5	6	150				
3	Eksternal Korosi	Bagian luar pipa mengalami korosi disebabkan oleh lingkungan						1	2	1	1			Oksidasi pada bagian permukaan dengan lingkungan					1	3	1					Menggunakan metode Cathodic Protection					1	4										74%	70%	66%	8	7	7	392				
4	Internal Korosi	Bagian dalam pipa mengalami penipisan wall thickness						1		2	2			Jenis kandungan fluida yang mengalir seperti CO ₂ dan H ₂ S					1		1	3				Ditambah Internal Coating						2	2	1									80%	72%	78%	8	8	8	512			
5	Scouring	Pipa dapat mengalami keretakan hingga kebocoran				4	1							Pengikisan tanah akibat arus yang mengakibatkan pipa spanning			1	2	1	1						Pemasangan sand bag atau grout bag	1		1	1	1	1												44%	44%	38%	5	5	4	100		
6	Aktifitas Lifting di Platform	Pipa menjadi retak dan berpotensi mengalami kebocoran		1	1	1	1	1						Jatuhnya peralatan yang mengenai pipa		1	2	1	1								Dilakukan briefing sebelum aktifitas dimulai	1	1	2	1														40%	34%	26%	4	4	3	48	
7	Kejatuhan Jangkar	Pipa akan patah karena kejatuhan jangkar			1	1	3							Kesalahan operator kapal dalam melepaskan jangkar di laut		1		1	2								Menentukan zona batas pelayaran			1	1		3												52%	46%	50%	6	5	5	150	
8	Kapal Tenggelam	Pipa berpotensi mengalami bengkok		1			2	2						Tabrakan antar kapal dan grounding		3	2									Menentukan zona batas pelayaran		2	2				1											48%	24%	34%	5	3	4	60		
9	Alat Tangkap Ikan	Pipa mengalami retak hingga bengkok		1	2	2								Alat tangkap ikan tersangkut pada pipa		1	3	1									Penentuan kawasan yang dilarang dilewati oleh masyarakat umum	3	1	1																32%	20%	16%	4	2	2	16

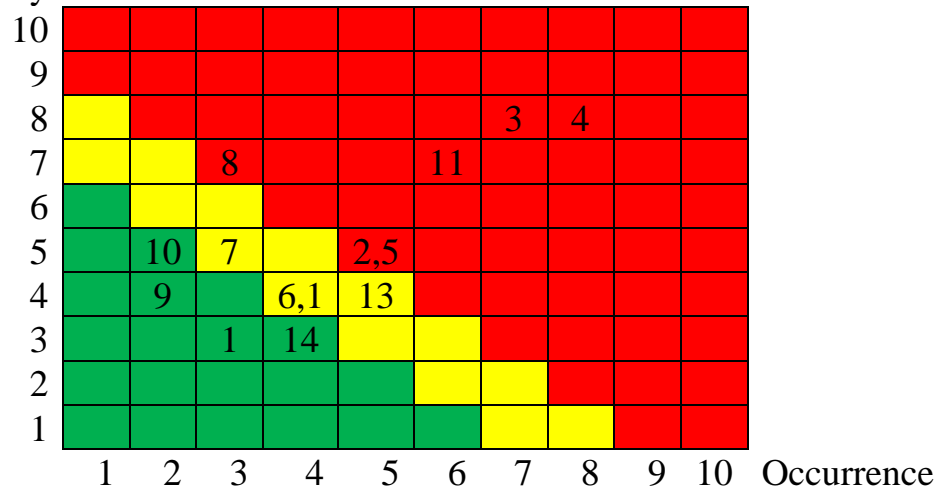
No.	Failure Mode	Effect	Severity										Penyebab Terjadinya Kegagalan	Occurrence										Current Control	Detection										INDEX			RPN			RPN																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	S	O	D	S	O	D																				
10	Gempa Bumi	Pipa mengalami retak hingga bengkok		2			1	2							Pergeseran lempeng yang dapat berpengaruh pada pipa	2	3																Menghindari jalur pipa dari lempengan yang menyebabkan gempa bumi	2	3																	42%	16%	16%	5	2	2	20		
11	Jenis Fluida yang Mengalir	Pipa mengalami kebocoran akibat fluida						1	3	1					Jenis fluida yang terlalu asam menyebabkan pipa mengalami kebocoran				1		4												Mengganti pipa menggunakan Fiberglass Reinforced Plastic				1		3	1												70%	56%	58%	7	6	6	252		
12	Tools Stuck	Aliran pipa tersumbat akibat adanya peralatan didalam pipa		1	1	1	1	1							Adanya peralatan didalam pipa		1	1	2	1															Dilakukan inspeksi sebelum pipa beroperasi			1	3	1														40%	36%	40%	4	4	4	64
13	Tersumbat	Kerak di Dalam Pipa			2	2	1								Terdapat endapan yang dihasilkan dari fluida yang mengalir pada pipa		1		2	1	1													Dibersihkan menggunakan metode pigging			2	1	1	1													38%	42%	42%	4	5	5	100	
14	Back Pressure	Aliran pipa tidak terkendali sehingga mengakibatkan pipa tersumbat		1	3	1									Perbedaan pada ukuran diameter pipa antar platform		1		3		1													Memberikan Maximum Allowable Pressure pada perhitungan		1	2	1	1														30%	40%	34%	3	4	4	48	

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN FUZZY FMEA

No.	Risiko Kegagalan	RPN			RPN	FRPN	
		S	O	D			
1	Bocor	Free Span	3	3	3	27	3
2		Buckling	5	5	6	150	7,47
3		Eksternal Korosi	8	7	7	392	8,28
4		Internal Korosi	8	8	8	512	8,32
5		Scouring	5	5	4	100	6,59
6		Aktifitas Lifting di Platform	4	4	3	48	4,67
7		Kejatuhan Jangkar	6	5	5	150	6,04
8		Kapal Tenggelam	5	3	4	60	6,01
9		Alat Tangkap Ikan	4	2	2	16	4,15
10		Gempa Bumi	5	2	2	20	5
11		Jenis Fluida yang Mengalir	7	6	6	252	6,51
12	Tersumbat	Tools Stuck	4	4	4	64	5,19
13		Kerak di Dalam Pipa	4	5	5	100	6,15
14		Back Pressure	3	4	4	48	4,14

LAMPIRAN D
PENENTUAN KATEGORI RISIKO

Severity



Kategori	Deskripsi
	Acceptable
	Consideration
	Need Corective Action

BIODATA PENULIS



Fachri Kurnia Maradika lahir di Palembang, 22 Maret 1997. Pendidikan formal penulis dimulai di SD Islam Al – Azhar 25 Semarang, SMP Islam Cikal Harapan BSD, dan SMA Islam Al – Azhar BSD. Setelah lulus dari jenjang Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Geologi, Universitas Trisakti. Setelah itu melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi dan kepanitiaan. Dalam bidang organisasi penulis pernah menjadi staf Student Development di National Association of Corrosion Engineers, dan menjadi staff di Komisi Aspirasi dan Informasi, Dewan Perwakilan Mahasiswa BEM FTK. Dalam kepanitiaan penulis pernah menjadi bagian dari kegiatan Ocean Engineering Exhibition and Art Competition (OCEANO), dan menjadi bagian dari Petroleum Integrated Days (PETROLIDA). Pada tahun 2018 penulis mendapatkan kesempatan kerja praktik di PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Jawa dibagian Pipeline Repair and Replacement Project selama 2 bulan. Penulis menyelesaikan Pendidikan jenjang sarjana dengan menulis Tugas Akhir mengenai analisa risiko pada proyek yang berjudul “Penerapan Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis dalam Analisa Risiko Operasi Offshore Pipeline.

Contact Person : fahriikurnia@gmail.com