

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selain membutuhkan investasi modal besar, proyek di sektor minyak dan gas juga memiliki banyak potensi, seperti potensi risiko yang tinggi, keterlibatan banyak pihak, Penggunaan teknologi yang kompleks dan potensi ancaman terhadap lingkungan menjadi tantangan utama dalam industri minyak dan gas. Perusahaan di sektor ini terus menghadapi tingkat risiko dan bahaya yang tinggi. Jika tidak dikelola secara optimal, risiko tersebut dapat mengakibatkan kerugian finansial, kecelakaan kerja, atau bahkan bencana yang membahayakan manusia, material, peralatan, serta lingkungan sekitar tempat kerja. Berbagai operasi di industri migas juga memiliki potensi menimbulkan risiko dalam berbagai bentuk.[1]

Distribusi produk minyak dan gas melalui sistem perpipaan merupakan metode yang sangat efisien dan efektif, khususnya untuk transportasi jarak jauh melalui laut dan darat. Namun, sistem ini tidak terlepas dari ancaman bahaya seperti kebocoran, tumpahan, ledakan, dan dampak pencemaran lingkungan. Beragam faktor, baik internal seperti korosi maupun eksternal seperti kondisi lingkungan atau interaksi dengan masyarakat sekitar, dapat memicu permasalahan tersebut.[2]

Pada 9 Juli 2023, PT. Hulu Kalimantan mengalami tumpahan minyak di Sungai Kelekar, Prabumulih, Kalimantan. Kebocoran pipa minyak mentah PT Pertamina EP Hulu Rokan Zona 4 menyebabkan insiden ini. Minyak mentah mengalir ke sungai karena kebocoran pipa, yang mencemari air dan menimbulkan bau yang buruk. Pihak Pertamina EP Field Prabumulih segera menangani kejadian tersebut dan memperbaiki titik kebocoran dengan memasang pembatas aliran minyak. Selain itu, masyarakat setempat berpartisipasi dalam penanganan dan laporan kejadian[3]. Faktor-faktor eksternal yang dapat menyebabkan kegagalan pada pipa meliputi kurangnya perawatan dan inspeksi yang memadai, tidak tersedianya sistem pemantauan otomatis, serta absennya sistem peringatan dini. Mengingat besarnya dampak risiko kegagalan pada pipa transmisi minyak mentah sebagaimana terlihat pada kasus sebelumnya, penting bagi setiap individu untuk memahami semua potensi bahaya di tempat kerja, mematuhi prosedur yang berlaku, mengidentifikasi penyebab kecelakaan, dan mengambil langkah-langkah untuk mengurangi risiko tersebut.[2]. Oleh karena itu, diperlukan penilaian risiko yang komprehensif terhadap sistem perpipaan yang digunakan, termasuk pipa transmisi minyak mentah. Penilaian ini bertujuan untuk mendukung langkah-langkah pencegahan dan pengendalian sehingga dapat meminimalkan risiko kerugian, melindungi keselamatan manusia, serta memastikan kelancaran operasi transportasi minyak dan gas bumi melalui pipa transmisi di PT.X.

Dalam upaya untuk meningkatkan faktor keamanan dan mencapai kepuasan, metode mode kegagalan dan analisis dampak digunakan. Studi menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan dalam proses pengelasan adalah waktu mengelas yang lebih pendek antara lapis ke lapis berikutnya, penyebab utama kegagalan dalam proses bentuk yang tidak simetris adalah penempatan pipa yang tidak sesuai, dan penyebab utama kegagalan dalam proses lukisan adalah waktu flash off yang lebih

pendek antara lapis ke lapis berikutnya. Jika perusahaan ingin menjadi tempat atau objek penelitian untuk menghindari kegagalan dalam pembuatan produk, mereka harus mencoba menerapkan kebijakan yang sesuai dengan pengamatan ini. Dengan demikian, pengamatan ini akan bermanfaat bagi perusahaan di masa depan[3].

1.2 Teori

1.2.1 Produk Cacat

Barang yang gagal memenuhi kriteria kualitas yang telah ditetapkan dikenal sebagai barang cacat. Kualitas yang baik, menurut konsumen, berarti barang tersebut dapat digunakan sesuai kebutuhan mereka. Apabila konsumen merasa produk tersebut tidak sesuai dengan kebutuhan, maka barang itu dianggap rusak. Untuk mencegah hal ini, produsen perlu mengidentifikasi dan menyelidiki kesalahan yang terjadi selama proses manufaktur agar dapat menemukan akar masalahnya. Namun, memperbaiki barang yang telah rusak tanpa memperbaiki proses produksinya hanya akan meningkatkan biaya operasional. Barang juga dapat dianggap tidak layak jika tidak aman untuk digunakan atau gagal memenuhi standar keselamatan yang berlaku. Dalam KUH Perdata, istilah cacat merujuk pada kondisi yang secara signifikan mengurangi fungsi suatu benda, sehingga tidak dapat digunakan dengan baik sesuai tujuannya, atau menyebabkan berkurangnya manfaat barang tersebut.[4]

1.2.2 Risiko

Risiko merupakan potensi terjadinya hal yang tidak diinginkan, yang dapat didefinisikan sebagai kombinasi antara kemungkinan kegagalan dengan dampaknya.

Risiko ini dikategorikan menjadi tiga tingkat, yaitu risiko tinggi (high risk), risiko sedang (medium risk), dan risiko rendah (low risk). Risiko tinggi terjadi ketika frekuensi interaksi antara kemungkinan dan konsekuensi sangat sering, sementara risiko rendah terjadi jika interaksi tersebut jarang terjadi. Secara umum, terdapat dua elemen utama yang memicu risiko: sumber risiko dan faktor penyebabnya. Sumber risiko, misalnya, dapat berupa cairan layanan, sedangkan penyebab risiko dapat diilustrasikan oleh adanya korosi pada pipa. Ketika kedua elemen ini saling berinteraksi, risiko akan muncul.[5]

1.2.3 Penilaian Risiko

Proses evaluasi risiko dilakukan untuk mengidentifikasi semua potensi terburuk yang bisa mengancam kesehatan manusia, lingkungan, proses produksi, maupun peralatan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia dan teknologi. Dalam melakukan penilaian risiko, terdapat tiga tahapan yaitu:[6]

- Identifikasi kerusakan melalui analisa apa, bagaimana, dimana dan kapan.
- Pertimbangan kemungkinan dari konsekuensi
- Estimasi risiko untuk membagi kemungkinan kerusakan yang akan terjadi.

Tahap pertama dalam penilaian risiko adalah mengidentifikasi bahaya dan dampaknya, serta siapa atau apa yang akan terpengaruh oleh bahaya tersebut. Langkah selanjutnya adalah menentukan frekuensi terjadinya bahaya atau seberapa besar kemungkinan terjadinya. Hal ini berkaitan dengan seberapa sering peristiwa tersebut

bisa terjadi, karena risiko merupakan kombinasi antara dampak dan kemungkinan. Ada tiga pendekatan umum dalam penilaian risiko, yaitu kuantitatif, kualitatif, dan semi-kuantitatif. Setiap pendekatan memiliki tingkat akurasi yang berbeda-beda. Pemilihan metode ini sangat penting untuk menilai mekanisme kerusakan yang terjadi pada setiap peralatan yang dievaluasi.

1.2.4 Kegagalan

Kegagalan pada salah satu komponen dapat menyebabkan kerusakan yang mempengaruhi seluruh fungsi pipa, yang pada akhirnya mengakibatkan kerugian besar, menjadikannya risiko yang pasti dialami oleh suatu sistem. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis risiko kegagalan yang biasa terjadi pada suatu sistem atau komponen, dalam hal ini komponen sistem perpipaan pada bangunan lepas pantai. Kegagalan dan perbaikan menjadi faktor utama dalam memprediksi perilaku suatu sistem di masa depan serta dampaknya terhadap komponen lain jika komponen tersebut gagal.[7].

1.2.5 Offshore

Eksplorasi minyak dan gas lepas pantai dimulai pada abad ke 19. Sumur minyak lepas pantai pertama dibor dari dermaga panjang ke perairan samudra pasifik, lepas pantai Summerlands, California pada 1890-an. Namun, kelahiran industri lepas pantai umumnya dianggap sebagai pada tahun 1947 ketika Kerr-McGeemenyelesaikan sumur lepas pantai pertama yang sukses di teluk Meksiko dalam 15 kaki (4,6 M) air di Louisiana Burleson, 1991. Derek pengeboran dan gambar pekerjaan didukung sebuah *platform* kayu dengan ketinggian 38 kaki kali 71 kaki (1,6 m kali 21,6 m) yang dibangun diatas 1624 in. (61 cm). Tiang di gerakkan ke kedalaman 104 kaki (31,7 M). Sejak pemasangan *platform* pertama di teluk Meksiko ini lebih dari 50 tahun yang lalu industri lepas pantai telah melihat banyak struktur inovatif, tetap dan mengembang, ditempatkan diperairan yang semakin dalam dan dilingkungan yang menantang dan bermusuhan. Pada tahun 1975, kedalaman air mencapai 475 kaki (144 M). Dalam tiga tahun kedepan kedalaman air secara dramatis melompat dua kali lipat dengan pemasangan *platform* COGNAG yang terdiri dari tiga struktur yang terpisah, satu diatas yang lain, di 1025 ft (312 cm) COGNAC memegang rekor dunia untuk kedalaman air untuk struktur tetap dari 1978 hingga 1991. lima stuktur tetap dibangun dikedalaman air lebih lebih dari 1000 kaki (328 M) pada 1990-an. Salah satu yang paling dalam adalah *platform shell Bullwinkle* pada 1353 kaki (412 M) yang dipasang pada tahun 1991. Perkembangan struktur tetap menjadi peralihan yang lebih dalam hingga tahun 1988. Sejak tahun 1947, lebih dari 10.000 anjungan lepas pantai dari berbagai jenis dan ukuran telah dibangun dan dipasang diseluruh dunia.

1.2.6 Perpipaan

Untuk sistem perpipaan ada dua judul utama yang terdapat yaitu :

- Pipa

Pipa adalah objek berbentuk silinder dengan lubang di tengahnya, terbuat dari logam atau material lainnya, yang digunakan untuk mengalirkan fluida cair atau gas. Sistem perpipaan berfungsi untuk memindahkan fluida cair dan gas dari satu lokasi ke

lokasi lain. Sistem ini memerlukan pompa, fitting, dan komponen lainnya untuk memastikan distribusi fluida berjalan lancar. Terdapat dua jenis sistem perpipaan: sistem perpipaan tunggal, di mana semua komponen terhubung secara seri tanpa percabangan, dan sistem perpipaan majemuk, yang memiliki bagian di mana pipa diparalelkan dari satu jalur menjadi dua jalur atau sebaliknya.[8]

- Sistem Instalasi

Pipa bawah laut dirancang untuk mengangkut fluida seperti minyak, gas, atau air dalam jumlah besar dan jarak yang jauh melalui laut atau daerah lepas pantai. Pipeline beroperasi sepanjang waktu, 24 jam sehari, 365 hari setahun, selama masa pakainya yang bisa mencapai 30 tahun atau lebih. Pemasangan pipa bawah laut melibatkan serangkaian langkah yang rumit untuk memastikan keselamatan, efisiensi, dan stabilitas pipa di dasar laut.

Berikut adalah langkah-langkah utama dalam sistem instalasi pipa bawah laut:

1. Perencanaan : Pemilihan Material dan Desain dan Pengujian
2. Konstruksi Pipa : Inspeksi, Pelabelan dan Pelapisan Korosi serta Proteksi Katodik
3. Metode Instalasi : Metode *S-Lay*, Metode *J-Lay*, *Reel Lay* dan *Tow Method*
4. Penyambungan dan Pengecekan
5. Manajemen Risiko

- Proses pemompaan minyak dan gas

Proses aliran fluida dalam sistem perpipaan minyak dan gas offshore melibatkan beberapa tahap yang kompleks, dari pengambilan fluida di sumur hingga pemisahan dan distribusi. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai proses ini:

1. Pengambilan Fluida

- a. Sumur Produksi : Fluida, yang terdiri dari minyak, gas, dan air, diambil dari sumur produksi. Pada titik ini, tekanan reservoir mempengaruhi laju aliran fluida ke permukaan.
- b. Pompa : Untuk meningkatkan tekanan dan memindahkan fluida ke sistem perpipaan, pompa sering digunakan. Pompa ini dirancang untuk menangani kondisi multifasa (campuran minyak, gas, dan air) yang ada di dalam pipa.

2. Transportasi Melalui Pipa

- a. Flowline : Fluida mengalir melalui flowline yang menghubungkan sumur produksi dengan fasilitas pengolahan. Panjang dan diameter pipa sangat penting dalam menentukan efisiensi aliran dan kehilangan tekanan (pressure drop) di sepanjang sistem.
- b. Pressure Drop : Berbagai faktor mempengaruhi pressure drop, termasuk panjang pipa, diameter, kecepatan aliran, dan gesekan antara fluida dan dinding pipa. Kehilangan tekanan ini harus diminimalkan untuk menjaga laju produksi yang optimal

3. Pemisahan Fluida

a. Gathering Station : Setelah fluida mencapai gathering station, proses pemisahan dimulai. Di sini, campuran fluida dipisahkan menjadi tiga fase: minyak, gas, dan air.

b. Separator : Unit separator digunakan untuk memisahkan gas dari minyak dan air. Gas yang terpisah kemudian dialirkan ke vapor recovery unit untuk pemrosesan lebih lanjut

4. Penyimpanan dan Pengolahan Lanjutan

a. Gas Boot dan Wash Tank : Setelah pemisahan awal, minyak dan air yang tersisa diproses lebih lanjut di wash tank untuk memisahkan air dari minyak secara lebih efektif.

b. Pengolahan Lanjutan : Minyak yang telah dipisahkan dapat disimpan atau dipompa kembali untuk pengolahan lebih lanjut sebelum didistribusikan.

5. Distribusi

a. Transportasi ke Fasilitas Darat : Setelah pemisahan dan pengolahan, minyak dan gas dapat dipindahkan melalui sistem perpipaan darat atau melalui tanker untuk distribusi lebih lanjut.

b. Monitoring Sistem : Seluruh sistem perpipaan harus dimonitor secara terus-menerus untuk mendeteksi kebocoran atau masalah lainnya yang dapat mempengaruhi aliran fluida.

6. Tantangan dalam Aliran Fluida

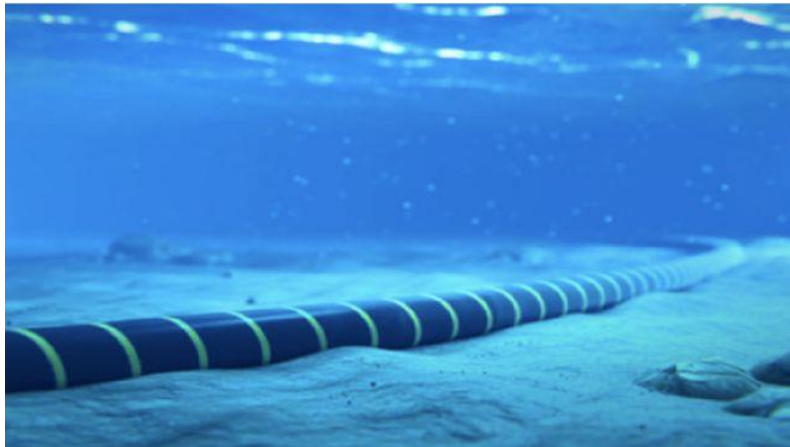
a. Slugging : Dalam aliran multifasa, fenomena slugging dapat terjadi ketika fasa gas mengalir bergantian dengan fasa cair. Hal ini dapat mengurangi efisiensi aliran dan menyebabkan masalah dalam penanganan downstream

b. Hidrat : Pembentukan hidrat (ikatan antara air dan gas) juga merupakan tantangan yang harus diatasi dalam sistem perpipaan offshore. Insulasi termal dan pengaturan suhu serta tekanan diperlukan untuk mencegah pembentukan hidrat

1.2.7 Komponen Sistem Perpipaan Transmisi Minyak

- Pipeline

Pipeline merujuk pada sistem perpipaan besar yang digunakan untuk mentransportasi fluida seperti minyak, gas, atau air dalam jumlah besar dari satu lokasi ke lokasi lainnya, baik melalui darat maupun bawah laut. Dalam konteks ini, pipeline bawah laut adalah sistem pipa yang terletak di dasar laut dan digunakan untuk mengangkut fluida antar fasilitas yang berada di pantai atau antara lokasi lepas pantai yang berbeda. Pipeline bekerja terus-menerus, biasanya dilengkapi dengan pompa dan kontrol untuk menjaga aliran fluida yang stabil dan efisien.



Gambar 1 Pipe 1

Sumber : <https://images.app.goo.gl/VVUqfK8e65Jd2fGr8>

- Valve

Ball valve dan *check valve* adalah *valve* yang paling umum digunakan pada sistem perpipaan *offshore*. *Ball valve* adalah jenis katup yang menggunakan bola dengan lubang di tengahnya sebagai mekanisme pengatur aliran, di mana bola tersebut akan berputar untuk membuka atau menutup aliran fluida dalam pipa. *Ball valve* sering digunakan karena kemampuannya untuk memberikan pengaturan aliran yang cepat dan efisien. *Check valve* adalah jenis katup satu arah yang dirancang untuk memungkinkan aliran fluida hanya dalam satu arah, mencegah aliran balik yang bisa merusak sistem atau menyebabkan kerusakan pada komponen lainnya. Katup ini bekerja secara otomatis dengan menggunakan tekanan aliran fluida untuk membuka dan menutup katup.



Gambar 2 Valve 1

Sumber : <https://images.app.goo.gl/G3mtM3MevRBQBRuRA>

- Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah jenis pompa yang menggunakan energi kinetik dari roda impeller yang berputar untuk mengalirkan fluida. Ketika fluida masuk ke dalam pompa, impeller yang berputar mendorong fluida keluar dengan kecepatan tinggi, kemudian fluida tersebut diarahkan ke saluran keluar pompa melalui desain volute atau diffuser. Pompa sentrifugal banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan aliran fluida yang stabil dan kontinu, seperti di sistem perpipaan, sistem irigasi, dan industri pengolahan air. Pompa ini efisien untuk mengalirkan cairan dengan viskositas rendah hingga sedang.

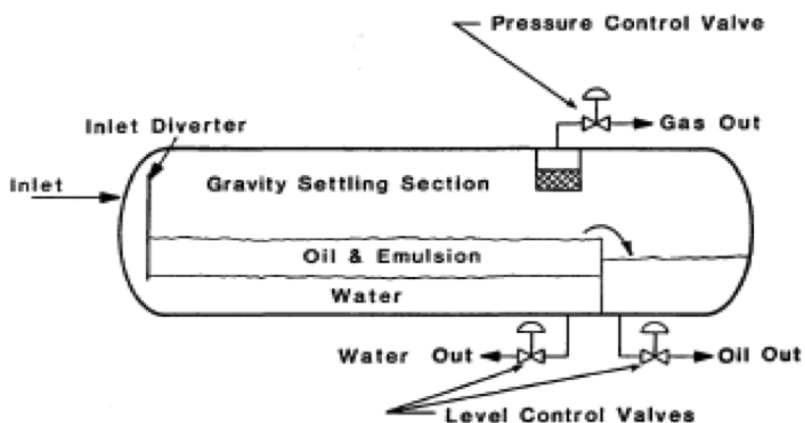


Gambar 3 Pompa Sentrifugal 1

Sumber : <https://images.app.goo.gl/qUPWFkmNKkt9Tyob9>

- Separator 3 Fasa

Separator tiga fasa adalah peralatan yang digunakan untuk memisahkan campuran tiga fase yang umumnya terdiri dari gas, minyak (cairan), dan air dalam industri pengolahan minyak dan gas. Alat ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan densitas antara tiga fase tersebut untuk memisahkannya. Proses pemisahan dilakukan dengan cara gravitasi, di mana campuran fluida yang masuk ke separator akan terpisah menjadi tiga lapisan: gas di bagian atas, minyak di tengah, dan air di bagian bawah. Separator tiga fasa digunakan untuk memastikan bahwa masing-masing fase tersebut dapat diproses lebih lanjut atau dibuang dengan cara yang sesuai. Alat ini sangat penting dalam industri minyak dan gas untuk meningkatkan kualitas produksi dan mengurangi kontaminasi.

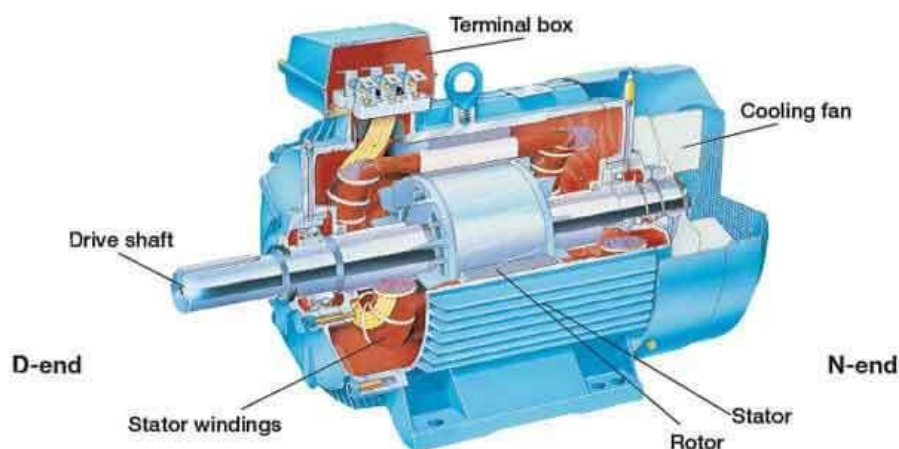


Gambar 4 Separator 3 Fasa 1

Sumber : <https://images.app.goo.gl/4AVqvvQNwHs5nsWTA>

- Motor Induksi Listrik

Motor induksi listrik adalah jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Motor ini mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan cara menghasilkan medan magnet yang berputar di dalam kumparan stator. Ketika arus listrik mengalir melalui stator, medan magnet yang dihasilkan akan menginduksi arus pada rotor, yang kemudian menghasilkan gerakan putar pada rotor tersebut. Motor induksi dibagi menjadi dua jenis utama: motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Motor induksi tiga fasa adalah yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri karena efisiensinya yang tinggi dan daya yang lebih besar. Keunggulan motor induksi adalah konstruksinya yang sederhana, perawatan yang rendah, serta daya tahan yang baik. Motor ini sering digunakan dalam berbagai perangkat industri, mulai dari pompa, kompresor, hingga conveyor.



Gambar 5 Motor Induksi Listrik 1

Sumber : <https://images.app.goo.gl/XyXQdJZrFdPjv83w5>

1.2.8 Teknik Analisa

Teknik analisa yang digunakan pada skripsi saya yaitu :

- Analisa Kuantitatif

metode analisis yang mengandalkan pengukuran data dalam bentuk angka atau kuantitas. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan data yang dapat diukur dan dihitung untuk mengevaluasi fenomena atau masalah secara objektif. Teknik ini sering digunakan untuk memperoleh hasil yang lebih pasti dan dapat dibandingkan, seperti dalam perhitungan statistik, pengujian hipotesis, atau model matematis. Contoh teknik analisis kuantitatif termasuk survei dengan pertanyaan tertutup, analisis regresi, dan pemodelan statistik.

- Analisa Kualitatif

Dalam teknik analisis data kualitatif, lebih fokus pada pemahaman mendalam terhadap fenomena atau masalah melalui data non-numerik. Teknik ini berfokus pada proses interpretasi dan pemahaman, seperti wawancara mendalam, diskusi kelompok, atau analisis teks. Hasilnya lebih bersifat naratif dan deskriptif, yang membantu menjelaskan konteks, perilaku, atau perasaan orang dalam situasi tertentu. Teknik ini sering digunakan dalam penelitian sosial, psikologi, dan bidang lain yang memerlukan pemahaman yang lebih holistik dan kontekstual terhadap data.

1.2.9 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Menurut penjelasan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* merupakan FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis potensi kegagalan yang dapat terjadi pada suatu sistem, produk, atau proses, serta dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan tersebut. FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi potensi risiko secara dini,

menilai tingkat keparahan dan kemungkinan terjadinya kegagalan, serta mengembangkan langkah-langkah pencegahan atau perbaikan agar risiko kegagalan dapat diminimalkan atau bahkan dihindari. Analisis ini sangat penting dilakukan di berbagai industri, termasuk otomotif, manufaktur, penerbangan, minyak dan gas, serta bidang lainnya, untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem atau produk yang dihasilkan. FMEA memiliki banyak manfaat dalam berbagai aspek manajemen risiko dan pengendalian kualitas. Salah satunya adalah meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem atau produk dengan cara mencegah atau mengurangi potensi kegagalan yang dapat berdampak buruk. Dengan menggunakan FMEA, organisasi dapat mendeteksi masalah sejak dini, sebelum kegagalan tersebut terjadi dalam tahap produksi atau operasional. Hal ini memungkinkan tindakan perbaikan dilakukan lebih awal, yang akan mengurangi biaya dan kerugian yang mungkin timbul akibat kegagalan yang tidak terduga. Selain itu, FMEA membantu dalam pengambilan keputusan dengan cara memberikan gambaran yang jelas mengenai potensi risiko yang ada pada sistem atau produk. Dengan adanya analisis ini, tim dapat fokus pada area yang memiliki potensi kegagalan yang lebih besar, dan dapat merancang solusi yang lebih efektif untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan demikian, FMEA juga berperan dalam meningkatkan kualitas produk, meningkatkan efisiensi operasional, serta memberikan rasa aman bagi pengguna dan pelanggan. Tujuan utama FMEA adalah untuk memitigasi risiko dengan cara yang terstruktur dan terukur. FMEA memungkinkan organisasi untuk mengidentifikasi dan mengurangi kemungkinan kegagalan sebelum produk atau sistem diluncurkan ke pasar atau digunakan dalam operasi. Ini juga membantu dalam memastikan bahwa desain produk dan proses manufaktur sudah mempertimbangkan segala potensi masalah yang mungkin timbul, sehingga mengurangi kemungkinan adanya kegagalan pasca-produksi. Dalam konteks industri yang sangat bergantung pada keselamatan dan keandalan, seperti penerbangan dan energi, FMEA menjadi alat yang tak ternilai untuk memastikan bahwa produk dan sistem yang dikembangkan benar-benar memenuhi standar keselamatan dan kualitas yang tinggi. FMEA tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga melindungi investasi perusahaan dengan mencegah kerusakan yang lebih besar yang dapat terjadi akibat kegagalan sistem atau produk.[9].

- Tipe FMEA

FMEA adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan atau proses, serta mengurangi atau mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan, FMEA merupakan *living* FMEA adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan atau proses, serta mengurangi atau mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan, FMEA merupakan *living document* sehingga dokumen perlu di update secara teratur agar dapat digunakan untuk mencegah dan mengantisipasi terjadinya kegagalan.

- Tujuan Implementasi FMEA adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA yaitu sebagai berikut:

- FMEA bertujuan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi risiko kegagalan pada tahap desain atau produksi, sebelum produk atau sistem digunakan oleh konsumen atau pelanggan.
- FMEA membantu untuk mengurangi dampak negatif dari kegagalan, baik terhadap keselamatan, kualitas, atau kinerja produk dan sistem.
- Salah satu tujuan utama dari FMEA adalah untuk meningkatkan keselamatan produk atau sistem, dengan cara mengidentifikasi dan mencegah potensi kegagalan yang dapat membahayakan pengguna.
- Dengan mengidentifikasi dan memperbaiki masalah sebelum terjadi, FMEA membantu perusahaan mengurangi biaya perbaikan, downtime, dan kerugian yang disebabkan oleh kegagalan produk atau sistem.
- FMEA membantu dalam merancang produk dan proses yang lebih andal dan berkualitas tinggi dengan mengurangi kemungkinan kegagalan dan meningkatkan efisiensi operasional.
- FMEA memberikan panduan dalam memprioritaskan kegagalan berdasarkan tingkat keparahan dan kemungkinan terjadinya, yang membantu tim fokus pada masalah yang paling kritis.

- Keuntungan Implementasi FMEA

Implementasi FMEA tersebut maka terdapat beberapa keuntungan diantaranya yaitu sebagai berikut:

- Dengan mengidentifikasi dan menangani potensi masalah sejak dini, FMEA membantu menciptakan produk atau sistem yang lebih tahan lama dan dapat diandalkan.
- FMEA berfokus pada pengurangan risiko keselamatan, sehingga dapat mencegah kecelakaan dan insiden yang disebabkan oleh kegagalan produk atau sistem.
- Mengatasi masalah sebelum produk diluncurkan atau digunakan dapat mengurangi biaya yang terkait dengan perbaikan dan penggantian yang seringkali mahal setelah produk dioperasikan.
- Dengan menggunakan RPN (Risk Priority Number), FMEA membantu dalam memprioritaskan kegagalan yang harus segera ditangani, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan risiko.
- Dengan melakukan analisis menyeluruh terhadap kemungkinan kegagalan, FMEA berkontribusi pada peningkatan kualitas produk dengan mengurangi cacat atau masalah yang dapat muncul selama penggunaan.
- FMEA menyediakan informasi berbasis data yang memungkinkan tim manajemen dan pengembangan untuk membuat keputusan yang lebih tepat dan terarah dalam merancang dan memperbaiki produk atau sistem.
- Proses FMEA menciptakan catatan yang terstruktur dan terdokumentasi dengan baik tentang risiko dan langkah-langkah mitigasi yang diambil, yang dapat digunakan sebagai referensi di masa depan.

- Proses Implementasi FMEA

Proses implementasi FMEA merupakan sebuah teknik analisis yang digunakan oleh tim manufaktur yang bertanggung jawab untuk meyakinkan bahwa untuk memperluas kemungkinan dalam mencari penyebab kegagalan yang berkaitan, yang telah dipertimbangkan, dan dituangkan ke dalam bentuk form yang tepat. Proses implementasi FMEA yaitu sebagai berikut:

- Mengidentifikasi produk yang potensial yang berkaitan dengan kegagalan proses.
- Memperkirakan efek bagi konsumen yang potensial yang disebabkan oleh kegagalan.
- Mengidentifikasi sebab yang potensial pada proses perakitan dan mengidentifikasi variabel pada proses yang berguna untuk memfokuskan pada pengendalian untuk mengurangi kegagalan atau mendeteksi kegagalan.
- Mengembangkan sebuah daftar peringkat dari jenis kegagalan yang potensial, hal ini untuk menetapkan sebuah sistem prioritas sebagai pertimbangan untuk melakukan tindakan perbaikan.
- Mendokumentasikan hasil dari proses produksi atau proses perakitan Terpadat

Langkah dasar dalam proses implementasi FMEA yaitu sebagai berikut:

- Mengidentifikasi potensial failure mode pada proses produksi seperti jenis *defect*, QTC, Persentase *Defect Cumulative* dan Diagram Pareto
- Mengidentifikasi potensi efek dan penyebab kegagalan produksi menggunakan *fishbone diagram*
- Menentukan rating terhadap *Severity*, *Occurrence*, *Detection* dan RPN (*Risk Priority Number*) pada proses produksi.
- Usulan Perbaikan.

- *Fishbone diagram*

Fishbone Diagram atau yang sering disebut *Ishikawa Diagram* adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengeksplorasi, dan memvisualisasikan berbagai penyebab potensial dari suatu masalah atau efek tertentu. Diagram ini menyerupai tulang ikan, di mana "tulang utama" mewakili masalah atau efek yang ingin dianalisis, sementara "tulang-tulang kecil" di sisi kiri mewakili kategori penyebab yang berkontribusi terhadap masalah tersebut. Diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Kaoru Ishikawa, seorang ahli manajemen kualitas asal Jepang, yang bertujuan untuk membantu tim dalam analisis akar penyebab masalah. Fishbone Diagram sering digunakan dalam konteks perbaikan kualitas, manajemen risiko, dan pemecahan masalah dalam berbagai industri. Struktur Fishbone Diagram:

- Tulang Utama: Biasanya di bagian kanan diagram, mewakili masalah atau efek yang ingin dianalisis.

- Tulang-Tulang Kecil: Menunjukkan kategori penyebab masalah yang dibagi menjadi beberapa kategori umum. *Man* (Sumber Daya Manusia), *Machine* (Mesin atau Peralatan), *Method* (Metode atau Proses) dan *Material* (Bahan atau Material)
- **Sub-tulang:** Mewakili penyebab spesifik dalam masing-masing kategori yang dapat menyebabkan masalah atau efek yang sedang dianalisis.

Fishbone Diagram membantu tim untuk melihat semua kemungkinan penyebab secara sistematis dan mendorong pemikiran yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil atau kinerja suatu proses. Dengan memetakan penyebab secara visual, tim dapat lebih mudah memahami hubungan antara berbagai faktor yang berkontribusi terhadap masalah dan merumuskan solusi yang lebih tepat dan efektif.

1.2.10 Variabel FMEA

Dalam FMEA, terdapat tiga variabel utama yang digunakan, yaitu Severity, Occurrence, dan Detection. Ketiga variabel ini berfungsi untuk memberikan penilaian terhadap tingkat keseriusan dari potensi kegagalan yang mungkin terjadi. Berikut adalah penjelasan mengenai ketiga variabel utama dalam FMEA:

- *Severity* (Fatal) *severity* digunakan untuk mengidentifikasi dampak yang mungkin timbul dari suatu kegagalan, dengan cara memberikan peringkat sesuai dengan efek yang dihasilkan. Peringkat severity berkisar antara 1 hingga 10, di mana peringkat 1 menunjukkan tingkat keseriusan yang sangat rendah (resiko kecil) dan peringkat 10 menunjukkan tingkat keseriusan yang sangat tinggi (resiko besar). Penjelasan mengenai tingkat severity untuk masing-masing peringkat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Severity 1

Efek	Kriteria	Rating
Berbahaya tanpa adanya peringatan	Dapat membahayakan tidak adanya peringatan	10
Berbahaya dengan adanya peringatan	Dapat membahayakan adanya peringatan	9
Sangat tinggi	Pipa tidak dapat berproses dengan semestinya	8
Tinggi	Kinerja pipa sangat terpengaruh tapi masih dapat diproses	7
Sedang	Penurunan Kinerja Pipa tapi masih dapat berproses	6
Rendah	Terdapat efek sedang dan pipa memerlukan perbaikan	5
Sangat Rendah	Terdapat efek pada pipa namun tidak memerlukan perbaikan	4

Kecil	Pipa dapat berproses dengan adanya efek kecil	3
Sangat Kecil	Pipa masih dapat berproses dengan adanya efek sangat kecil	2
Tidak ada	Tidak ada pengaruh terhadap Pipa dan Fluida	1

- *Occurrence* (Kejadian) Occurrence merujuk pada kemungkinan terjadinya penyebab kegagalan selama penggunaan produk. Penilaian terhadap occurrence dilakukan dengan memberikan peringkat mulai dari 1 hingga 10, di mana peringkat 1 menunjukkan kemungkinan kegagalan yang sangat rendah (jarang terjadi), sementara peringkat 10 menunjukkan kemungkinan kegagalan yang sangat tinggi (sering terjadi). Penjelasan mengenai frekuensi kegagalan untuk masing-masing peringkat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Occurance 1

Akibat	Skala	Kriteria
Tidak pernah	1	Sejarah menunjukkan tidak ada kegagalan
Jarang	2	Kemungkinan Kegagalan sangat langka (0.05-0.1 insiden per tahun)
Sangat kecil	3	Kemungkinan kegagalan sangat sedikit (0.1-0.2 insiden per tahun)
Sedikit sekali	4	Beberapa kemungkinan kegagalan (0.2 insiden per tahun)
Rendah	5	Kemungkinan kegagalan ada (inside sekali dalam setahun)
Sedang	6	Kemungkinan kegagalan sedang (2 insiden dalam lima tahun)
Cukup tinggi	7	Kemungkinan kegagalan cukup tinggi (2-3 insiden dalam lima tahun)
Tinggi	8	Tingginya jumlah kegagalan (3 sampai 5 insiden per lima tahun)
Sangat tinggi	9	Jumlah sangat tinggi dari kemungkinan kegagalan (5 insiden per lima tahun)
Pasti	10	Kegagalan hampir pasti ada (Lebih dari 5 kali per lima tahun)

- *Detection* (Temuan) Detection merujuk pada metode, prosedur, tes, atau analisis yang digunakan untuk mendeteksi kegagalan sebelum mencapai tahap

servis, proses, atau pelanggan. Penilaian terhadap detection dilakukan dengan memberi peringkat dari 1 hingga 10, di mana peringkat 1 menunjukkan tingkat pengendalian yang sangat baik dalam mendeteksi kegagalan (selalu dapat mendeteksi), sedangkan peringkat 10 menunjukkan tingkat pengendalian yang sangat buruk dalam mendeteksi kegagalan (tidak dapat mendeteksi). Penilaian tingkat pendeteksian untuk masing-masing peringkat dapat dilihat pada tabel Detection.

Tabel 3 Detection 1

Deteksi	Kriteria	Rating
Hampir tidak terdeteksi	Tidak ada kendali untuk mendeteksi kegagalan	10
Sangat kecil terdeteksi	Sangat sedikit kendali untuk mendeteksi kegagalan	9
Kecil kemungkinan terdeteksi	Kecil terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	8
Sangat rendah	Sangat rendah terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	7
Rendah	Rendah kemungkinan terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	6
Sedang	Sedang kemungkinan terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	5
Sangat Sedang	Sangat sedang kemungkinan terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	4
Tinggi	Tinggi kemungkinan terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	3
Sangat Tinggi	Sangat tinggi kemungkinan terdapat kendali untuk mendeteksi kegagalan	2
Hampir Pasti	Pasti adanya pengendalian untuk mendeteksi kegagalan dalam proses	1

1.2.11 Risk Priority Number (RPN)

Sebuah alat dalam *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* yang digunakan untuk mengukur dan memprioritaskan risiko yang terkait dengan potensi kegagalan dalam suatu sistem, produk, atau proses. RPN dihitung dengan mengalikan tiga variabel utama dalam FMEA, yaitu *Severity (Keseriusan)*, *Occurrence (Kejadian)*,

dan *Detection (Temuan)*. Ketiga variabel ini memberi gambaran tentang seberapa besar dampak kegagalan, seberapa sering kegagalan dapat terjadi, dan seberapa mudah kegagalan tersebut dapat terdeteksi.

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \dots\dots\dots(2.1)$$

RPN memberikan prioritas pada potensi kegagalan yang memerlukan perhatian segera berdasarkan kombinasi dari dampak, kemungkinan terjadinya, dan kemampuan untuk mendeteksinya. RPN memberikan angka yang membantu tim manajemen dan insinyur dalam mengidentifikasi area yang paling kritis dalam sistem atau proses mereka. Dengan menggunakan RPN, organisasi dapat memfokuskan sumber daya mereka untuk mengurangi atau menghilangkan potensi kegagalan yang memiliki RPN tinggi, karena ini menunjukkan risiko yang lebih besar.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi dan menganalisis kegagalan yang berpotensi pada Sistem Instalasi Perpipaan *Offshore*.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor risiko terjadinya kegagalan pada Sistem Instalasi Perpipaan *Offshore*.
3. Memberikan alternatif solusi perbaikan untuk mengurangi terjadinya kegagalan pada Sistem Instalasi Perpipaan *Offshore*.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi data kegagalan dan ketersediaan pada setiap system perpipaan *offshore*
2. Dapat dijadikan opsi atau perbandingan dalam melakukan proses perawatan system perpipaan *offshore*
3. Bagi penelitian selanjutnya, penelitian ini dapat dijadikan acuan atau perbandingan untuk penelitian selanjutnya

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Bangunan Laut Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian ini terhitung mulai dari bulan April 2024 sampai selesai.

2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan menggunakan teknik analisa Kuantitatif dan Kualitatif.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Jenis data dalam penelitian ini adalah primer yang berasal dari data instalasi perpipaan *offshore* dan data sekunder melalui wawancara dan kuisioner.

2.4 Metode Pengolahan Data

Untuk mendukung penelitian tugas akhir ini, memerlukan data untuk diolah pada bab selanjutnya. Data diambil berupa kegagalan-kegagalan pada system perpipaan selama beberapa tahun dan melakukan pengolahan data yaitu :

- Identifikasi Jenis *Defect*

Pada tahap ini, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi jenis-jenis cacat yang ada pada pipa dengan menggunakan grafik *histogram*. Grafik histogram ini digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan faktor-faktor yang menyebabkan cacat pada pipa. Dalam diagram histogram, jenis cacat yang terjadi pada pipa dapat ditampilkan dengan jelas, serta frekuensi atau jumlah cacat yang terjadi pada setiap periode waktu tertentu. Dalam hal ini, histogram akan menunjukkan distribusi cacat pipa yang terjadi dalam kurun waktu lima tahun, yaitu dari tahun 2017 hingga 2021. Dengan cara ini, kita bisa melihat pola atau tren cacat yang terjadi dalam periode tersebut, sehingga dapat mengidentifikasi cacat yang paling sering muncul, serta faktor-faktor penyebabnya yang mungkin berulang selama periode yang dianalisis.

- Identifikasi *Critical to Quality (CTQ)*

Agar penelitian ini lebih fokus pada permasalahan yang perlu diperbaiki, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan *Critical to Quality (CTQ)* dari produk atau proses yang ada. CTQ adalah karakteristik kunci yang dapat diukur dari sebuah produk atau proses yang harus memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Setelah CTQ teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah memilih satu CTQ yang paling berpengaruh terhadap perbaikan kualitas. Pemilihan CTQ ini dilakukan dengan menganalisis jumlah defect yang terjadi pada CTQ selama periode tahun 2017-2021.

- Identifikasi Diagram Pareto

Pada tahap ini, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mencari kegagalan potensial yang dapat terjadi dalam proses sistem perpipaan offshore. Kegagalan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti manusia, mesin, metode,

material, alat-alat, dan lingkungan. Semua faktor ini dapat mempengaruhi kualitas dan kinerja pipa secara signifikan. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dan menganalisis setiap kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi dalam sistem perpipaan offshore. Jenis-jenis kegagalan yang biasa terjadi pada pipa antara lain berupa korosi, degradasi material, kesalahan pengelasan, serta faktor pihak ketiga. Setiap jenis kegagalan ini memiliki dampak yang berbeda terhadap integritas dan operasional pipa, yang dapat mengarah pada kerusakan serius jika tidak ditangani dengan benar. Setelah mengidentifikasi jenis-jenis kegagalan potensial, langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data terkait banyaknya kegagalan yang terjadi pada setiap jenis.

- Identifikasi Penyebab Kegagalan Potensial Dengan Diagram Sebab Akibat

Membuat diagram sebab-akibat (*fishbone diagram*), dengan cara mengidentifikasi akar penyebab terjadinya kecacatan produk dengan menggunakan diagram sebab-akibat (*fishbone diagram*). Berikut langkah- langkah untuk membuat diagram sebab-akibat:

- Menentukan kecacatan yang sering terjadi
- Mengidentifikasi permasalahan utama pada proses yang hendak ditindak lanjuti
- Mengidentifikasi penyebab mayor dan meletakkannya pada diagram utama
- Mengidentifikasi penyebab minor dan meletakkannya di penyebab mayor

- Menghitung Nilai RPN

Menghitung nilai RPN dari setiap mode kegagalan. Nilai RPN digunakan sebagai acuan untuk memprioritaskan penanganan potensial yang akan muncul. Rumus perhitungan RPN dari masing-masing *failure mode* sebagai berikut:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \dots\dots\dots(3.1)$$

- Penyusunan Alternatif Solusi Perbaikan

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan solusi alternatif yang paling layak untuk diterapkan di perusahaan. Pemilihan solusi yang layak berarti memilih opsi yang dapat diimplementasikan dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan yang ada, seperti sumber daya perusahaan, biaya, waktu, serta kriteria lainnya.

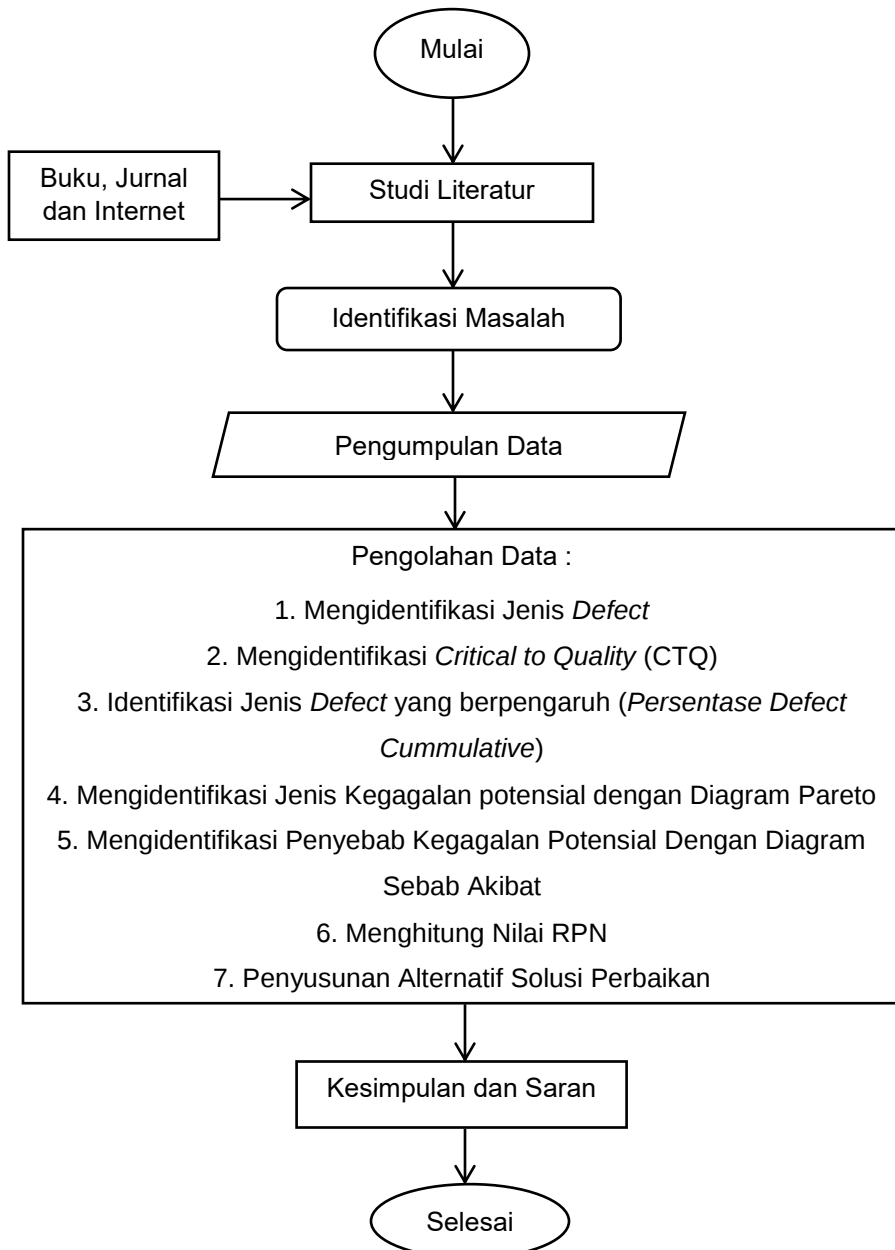
- Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir ini dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan. Hasil kesimpulan ini merupakan jawaban dari seluruh tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Selain itu, peneliti juga memberikan masukan

berupa saran untuk perusahaan dan juga terkait penelitian selanjutnya agar dapat dikembangkan dengan lebih baik.

2.5 Kerangka Pikir

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada gambar



Gambar 6 Kerangka Pikir 1