

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia dikelilingi dan dipisahkan oleh perairan yang luas, menjadikannya negara dengan potensi maritim yang sangat besar. Potensi kelautan yang dimiliki Indonesia berkaitan erat dengan kebutuhan sarana transportasi yang mampu beroperasi di atas air (Ummah, 2019). Sebagai sarana transportasi perairan yang utama, kapal memiliki peran vital dan pembangunannya perlu didukung, terutama dari aspek keselamatan dan keamanan. Kedua aspek ini merupakan faktor krusial dalam industri pelayaran (Nugroho et al., 2024).

Stabilitas sistem kelistrikan memegang peranan penting dalam menjamin kelancaran operasional kapal karena menyokong berbagai peralatan krusial seperti sistem navigasi, komunikasi, propulsi, dan sistem pendukung lainnya yang berkaitan dengan keamanan dan keselamatan kapal. Di antara berbagai gangguan kelistrikan, blackout merupakan ancaman paling serius, yaitu situasi ketika semua suplai listrik mendadak terputus. Kejadian blackout dapat mengakibatkan kerusakan berat pada mesin utama, membahayakan keselamatan pelayaran, serta berpotensi menyebabkan kecelakaan dan kerugian finansial yang signifikan (Utomo et al., 2024)

Kapal KT. Sungai Saddang adalah jenis kapal tugboat yang digunakan untuk membantu kapal-kapal yang ingin sandar ke dermaga dan keluar dari Pelabuhan. Kapal tersebut milik PT. Pelindo Jasa Maritim (SPJM) yang beroperasi di Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar. Dimana saat melakukan observasi secara langsung, KKM KT. Sungai Saddang mengatakan bahwa pada saat beroperasi kapal mengalami beberapa kali kejadian blackout yang diindikasikan berasal dari kegagalan *auxiliary engine*, yang merupakan sumber penggerak generator utama dalam sistem kelistrikan kapal. *Auxiliary engine* berfungsi sebagai penyedia energi listrik untuk mendukung operasi seluruh peralatan kapal. Penyebab terjadinya blackout dapat bersifat kompleks dan melibatkan interaksi berbagai faktor, mulai dari kegagalan mekanis pada komponen mesin, seperti sistem bahan bakar, pelumasan, dan pendinginan, hingga malfungsi sistem kontrol otomatis, serta kesalahan dalam prosedur operasional dan pemeliharaan.

Untuk memahami penyebab blackout, diperlukan suatu metode yang efektif untuk mengidentifikasi dan mengelola potensi permasalahan tersebut. Salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan adalah *Metode Urgency, Seriousness, Growth (USG)* yang dapat digunakan untuk menyusun skala prioritas isu yang harus diselesaikan dengan cara menentukan tingkat urgensi, keseriusan, dan perkembangan isu dengan menentukan skala nilai 1-5 atau 1-10. Dan *Fault Tree Analysis (FTA)* digunakan untuk mengidentifikasi dan memodelkan penyebab kegagalan dengan struktur hierarkis yang menunjukkan bagaimana berbagai kondisi dasar dapat memicu kejadian yang tidak diinginkan. Metode ini membantu memvisualisasikan jalur kegagalan secara sistematis dan memberikan wawasan untuk merancang langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab utama terjadinya blackout pada *auxiliary engine* di kapal KT. Sungai Saddang menggunakan pendekatan Metode *Urgency, Seriousness, Growth (USG)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Dengan memetakan komponen-komponen kunci dan proses operasional yang terkait, diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai akar penyebab kegagalan, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memecahkan masalah blackout yang spesifik pada KT. Sungai Saddang, tetapi juga diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi pengembangan manajemen risiko dan keandalan *Auxiliary engine* kapal. Berdasarkan permasalahan diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS TERJADINYA BLACKOUT PADA AUXILIARY ENGINE KAPAL DENGAN PENERAPAN METODE FAULT TREE ANALISYS (FTA) DAN URGENCY, SERIOUSNESS, GROWTH (USG)”**

1.2 Teori

1.2.1 *Auxiliary engine*

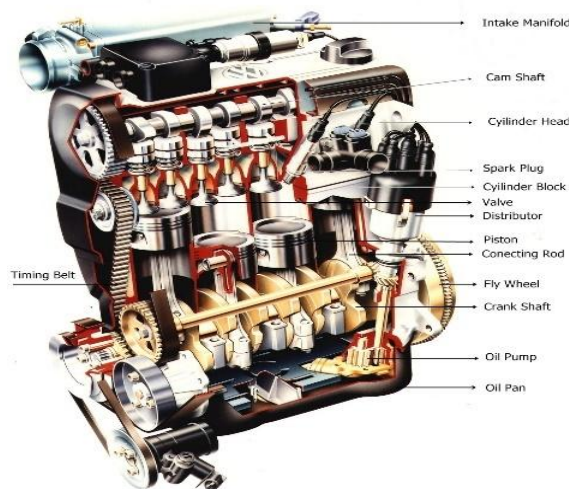
Generator Set atau *Auxiliary engine (AE)* merupakan peralatan bantu kapal yang berfungsi memenuhi kebutuhan listrik di atas kapal (Purba et al., 2015). Istilah generator set mengacu pada kombinasi dua perangkat berbeda yang bekerja Bersama. Mesin diesel yang berfungsi sebagai penggerak dan generator atau alternator yang berperan sebagai pembangkit listrik. Menurut Utomo (2020) engine dapat berupa mesin diesel berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sementara menurut Saputro (2017) generator atau alternator terdiri dari kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (berputar kumparan) (Darwis et al., 2021 dalam Kristianto et al., 2023). Pada kapal biasanya digunakan generator AC atau lebih dikenal dengan istilah alternator.



Gambar 1. *Auxiliary engine* Kapal
Sumber : Hasil Dokumentasi Lapangan

1.2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel merupakan motor bakar dengan pembakaran internal (*internal combustion engine*) yang dikenal sebagai mesin diesel memiliki karakteristik khas dalam proses pembakarannya. Prinsip kerjanya berdasarkan pemampatan (*kompresi*) udara murni dalam ruang pembakaran (*silinder*) hingga mencapai tekanan dan suhu yang sangat tinggi. Pada kondisi ini, bahan bakar diinjeksikan atau dikabutkan ke dalam ruang bakar, yang kemudian langsung memicu proses pembakaran tanpa memerlukan alat penyalan tambahan (Samlawi, 2012). Untuk mencapai proses pembakaran yang optimal, diperlukan perbandingan campuran antara bahan bakar dan oksigen yang *stokiometri* (secara tepat seimbang) dalam ruang pembakaran (Maksum et al., 2012). Pada *Auxiliary engine* kapal, mesin diesel digunakan untuk menggerakkan Generator untuk menghasilkan tenaga Listrik di kapal.



Gambar 2. Mesin diesel

Sumber : <https://kostruksi+mesin+bensin+Am.jpg>

1.2.3 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Prinsip kerja motor diesel yaitu beroperasi dengan mengkonversi energi kimia menjadi energi mekanis (gerak). Energi kimia dihasilkan ketika terjadi pembakaran antara bahan bakar dan oksigen di dalam ruang bakar (Situmorang et al., 2023). kerja pada motor diesel empat langkah adalah menyelesaikan satu siklus atau rangkaian proses kerja untuk menghasilkan pembakaran dan satu kali langkah usaha melalui empat tahap pergerakan piston (Yani, 2022). Berikut prinsip kerja dari mesin 4 langkah :

a. Langkah Hisap (*Intake Stroke*)

Piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB). Saat katup hisap terbuka dan katup buang tertutup, pergerakan piston ke bawah menciptakan tekanan rendah (*vacuum*) di dalam silinder, sehingga udara murni terhisap masuk ke dalam silinder.

b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

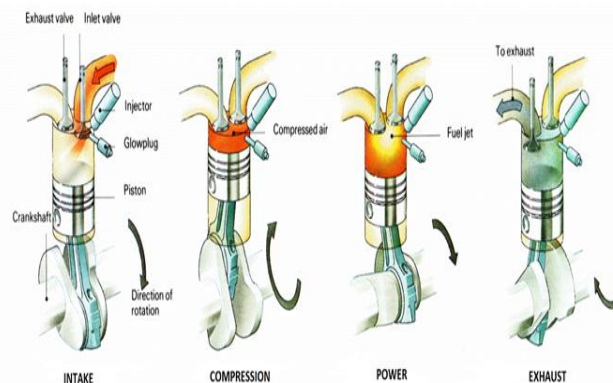
Dalam kondisi kedua katup, yaitu katup masuk dan katup buang masing-masing tertutup, piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) untuk mengompresi udara murni di dalam silinder. Proses kompresi ini meningkatkan tekanan dan suhu udara di dalam silinder. Pada akhir langkah kompresi, bahan bakar disemprotkan melalui lubang kecil dengan tekanan tinggi, sehingga memicu pembakaran yang menghasilkan ledakan.

c. Langkah Usaha/kerja (*Power Stroke*)

Langkah yang menghasilkan tenaga pada motor adalah proses pembakaran dan ekspansi. Pada tahap ini, kedua katup (katup masuk dan katup buang) berada dalam kondisi tertutup. Pembakaran yang terjadi di dalam silinder mengakibatkan peningkatan tekanan dan ekspansi gas yang merupakan campuran udara dan bahan bakar. Piston terdorong dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB) akibat tekanan tersebut. Proses pembakaran ini menyebabkan tekanan meningkat hingga 80-110 kg/cm² dan suhu mencapai 600-900 °C (Centre, 2016).

d. Langkah Pembuangan (*Exhaust Stroke*)

Pada tahap ini, piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA). Katup buang terbuka sementara katup masuk tetap dalam keadaan tertutup. Gas sisa pembakaran dikeluarkan melalui katup buang oleh gerakan piston yang melaju dari TMB ke TMA.



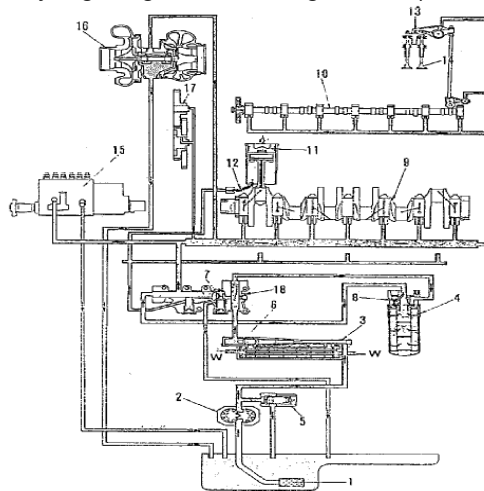
Gambar 3. Siklus kerja motor diesel 4 langkah
Sumber : (Centre, 2016)

1.2.4 Sistem Penunjang pada Mesin Diesel

1. Sistem Pelumasan (*Lubricating Oil System*)

Pada dasarnya, sistem pelumasan mesin diesel memiliki kesamaan dengan mesin bensin. Namun karena mesin diesel menghasilkan lebih banyak karbon selama proses pembakaran, diperlukan filter oli dengan desain khusus. Sistem pelumasan pada mesin diesel juga dilengkapi dengan oil cooler yang berfungsi untuk mendinginkan oli pelumas, mengingat mesin diesel beroperasi pada suhu kerja yang tinggi dan memiliki komponen berputar dengan beban kerja yang lebih berat (Sudarsono, 2019).

Fungsi utama pelumasan adalah mencegah kontak langsung antara dua permukaan yang saling bergesekan. Dengan pelumasan yang baik, mesin dapat memiliki umur pakai (*life time*) yang lebih panjang. Ini menjelaskan mengapa setiap produsen mesin mengatur spesifikasi khusus untuk interval pergantian oli pada setiap mesin yang mereka produksi. Ketentuan ini didasarkan pada prediksi tingkat terjadinya yang terjadi pada mesin selama pengoperasian. Untuk mencegah keausan mesin, pelumas harus konsisten berfungsi sebagai lapisan pelindung antara komponen-komponen mesin yang bergerak dan bergesekan (Maksum et al., 2012).



Gambar 4. Sistem Pelumasan pada Mesin

Sumber : (Centre, 2016)

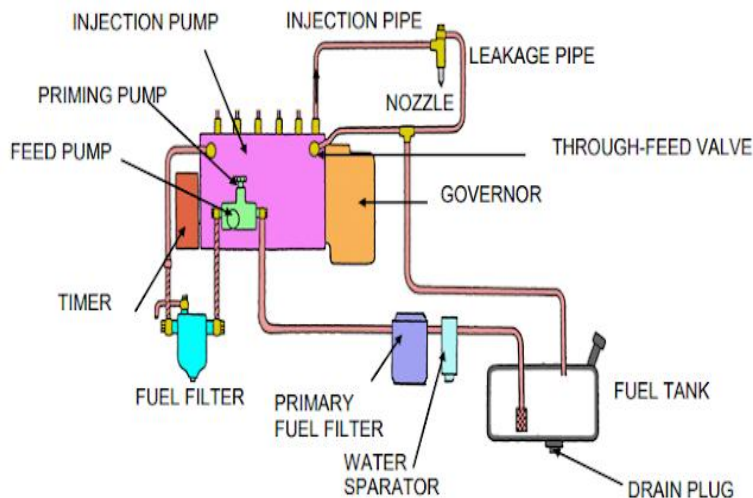
Keterangan :

- | | | |
|--------------------|----------------------------|--------------------|
| 1. Oil Strainer. | 8. Valve. | 14. Intake and |
| 2. Oil Pump. | 9. Crankshaft. | 15. Fuel Injection |
| 3. Oil Cooler. | 10. Camshaft. | 16. Turbocharger. |
| 4. Oil Filter. | 11. Piston. | 17. Timing Gear. |
| 5. Main Relief. | 12. Piston cooling nozzle. | 18. Adapter. |
| 6. Thermostat. | 13. Rocker Arm. | W : cooling Water |
| 7. Regulator Valve | | |

2. Sistem Bahan Bakar Mesin

Komponen yang berperan sebagai saluran distribusi bahan bakar dari tangki penyimpanan ke ruang pembakaran disebut sistem bahan bakar pada mesin. Sistem ini dirancang dengan karakteristik operasional tertentu untuk memastikan bahwa proses penyaluran bahan bakar ke dalam ruang pembakaran memenuhi rasio yang sesuai dengan kebutuhan kerja mesin (Maksum et al., 2012)

Sistem bahan bakar mesin diesel dimulai dengan feed pump yang menarik bahan bakar dari tangki penyimpanan. Bahan bakar kemudian disaring oleh filter bahan bakar, fuel sedimenter berfungsi mengeliminasi kandungan udara dalam bahan bakar. *Injection pump assembly* mencakup beberapa komponen yaitu *injection pump, governor, timer, dan feed pump*. Pompa injeksi sendiri terbagi menjadi dua tipe: tipe distributor dan tipe in-line. Ketika digerakkan oleh mesin, pompa injeksi memberikan tekanan pada bahan bakar dan mengalirkannya melalui delivery line menuju injection nozzle, yang kemudian menginjeksikan bahan bakar ke dalam silinder sesuai dengan urutan pengapian (Sudarsono, 2019)



Gambar 5. Sistem Bahan Bakar Mesin Diesel

Sumber : https://www.siswaotomotif.com/2021/11/sistem-bahan-bakar-mesin-diesel.html#google_vignette

3. Sistem Pendingin (*Cooling System*)

Fungsi sistem pendingin adalah mempertahankan suhu mesin pada level tertentu sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan, sehingga mesin diesel dapat beroperasi secara kontinyu. Ketika mesin diesel bekerja, terjadi pembentukan panas dengan suhu tinggi. Sistem pendingin terdiri dari berbagai komponen yang tidak hanya berfungsi mendinginkan blok mesin,

tetapi juga mendinginkan pelumas, scavange air, dan waterjacket (Julianto, 2019).

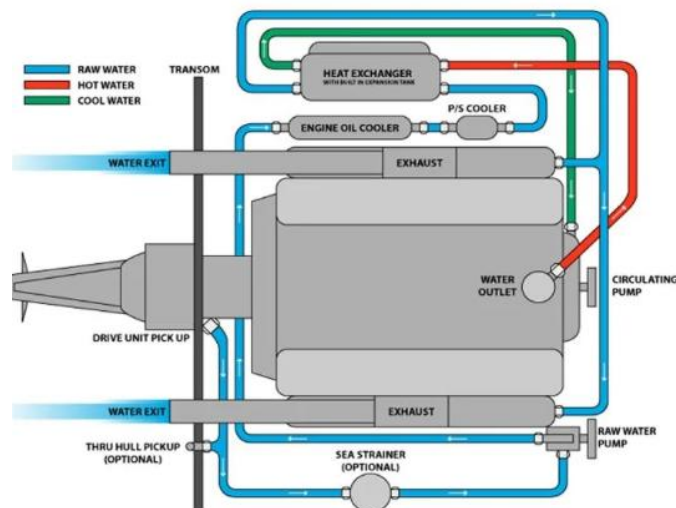
Jenis pendingin mesin mengacu pada metode pelaksanaan proses pendinginan yang diterapkan selama mesin berjalan dalam kondisi stabil dan aman. Cara kerja pendinginan mesin yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a. Sistem Pendingin Terbuka

Sistem ini memanfaatkan air tawar atau air laut sebagai media pendingin. Air pendingin dipompa dari sumber seperti sungai, danau, tangki penampungan, atau laut ke dalam mesin. Setelah proses pendinginan selesai, air tersebut dikembalikan ke sumber asalnya.

b. Sistem Pendingin Tertutup

Sistem ini memanfaatkan air tawar atau air laut sebagai media pendingin, yang kemudian di dinginkan kembali menggunakan udara atau air tawar maupun air laut.



Gambar 6. Sirkulasi Sistem Pendingin Tertutup Mesin Kapal

Sumber : <https://www.eonchemicals.com/artikel>

4. Sistem Starting

Mesin pembangkit tenaga, khususnya mesin diesel, tidak mampu beroperasi secara mandiri tanpa adanya energi awal. Oleh karena itu, diperlukan suatu usaha awal untuk memulai pengoperasiannya melalui sistem start yang memanfaatkan motor starter. Proses penghidupan mesin diesel membutuhkan torsi awal yang besar serta kecepatan putar tertentu agar poros engkol dapat berputar secara efektif.

Sistem start pada mesin diesel terdiri dari berbagai jenis, namun pada prinsipnya memiliki fungsi yang sama, yaitu memutar poros engkol sehingga torak bergerak dengan kecepatan yang memadai. Perputaran ini

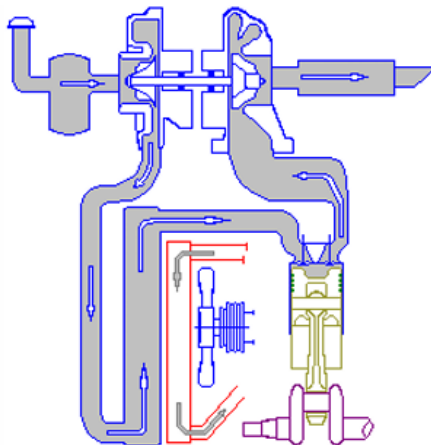
bertujuan untuk meningkatkan temperatur dan tekanan di dalam ruang bakar hingga mencapai kondisi yang memungkinkan terjadinya pembakaran. Kecepatan putar yang dihasilkan oleh sistem start sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses start, karena menentukan besarnya temperatur dan tekanan kompresi yang pada akhirnya memudahkan bahan bakar untuk terbakar secara stabil (Samlawi, 2012). Berikut jenis sistem start yang umum dipakai yaitu :

- a. Engkol (Slenger)
- b. Motor Listrik (Electrical)
- c. Motor Bantu (Motor Bensin)
- d. Pegas (Spring)
- e. Udara (Pneumatic)

5. Sistem Pemasukan Udara & Gas Buang (*Intake and Exhaust System*)

Sistem udara masuk dan gas buang berfungsi sebagai media pengaliran udara ke setiap silinder serta penyaluran gas sisa hasil pembakaran dari masing-masing silinder agar proses kerja mesin berlangsung secara optimal. Kinerja sistem ini, khususnya kelancaran dan pemerataan distribusi udara masuk serta gas buang, sangat berpengaruh terhadap kualitas pembakaran. Kondisi pembakaran yang baik secara langsung menentukan kemampuan mesin dalam menghadapi variasi beban operasi (Samlawi, 2012). Adapun peralatan sistem udara masuk & gas buang sebagai berikut :

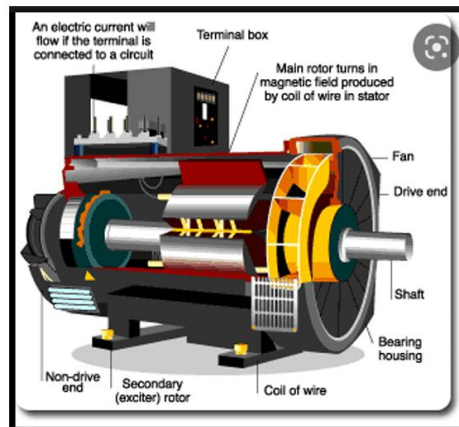
- a. Saringan udara masuk (Air Filter)
- b. Pendingin udara masuk (Inter Cooler)
- c. Turbo Charger
- d. Peredam Gas Buang (Selencer)



Gambar 7. Sirkulasi Udara Masuk dan Gas Buang
Sumber : (Samlawi, 2012)

1.2.5 Generator

Suatu sistem permesinan listrik yang berfungsi mengubah energi mekanis menjadi energi yang disebut generator. Alat ini dapat menghasilkan arus listrik searah atau arus listrik bolak-balik, bergantung pada tipe generator yang digunakan (Sunarlik dalam Utomo et al., 2024). Generator arus bolak balik sering disebut juga generator sinkron.

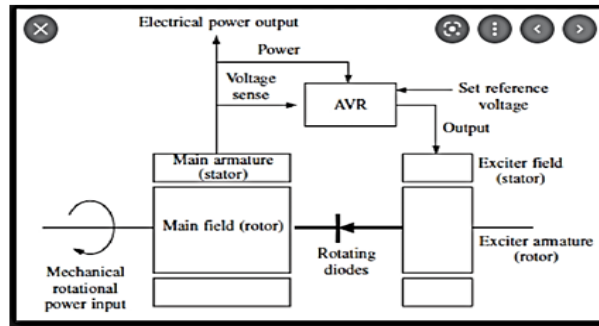


Gambar 8. Bentuk Real Generator
Sumber : (Ahfas, 2020)

1.2.6 Prinsip Kerja Generator

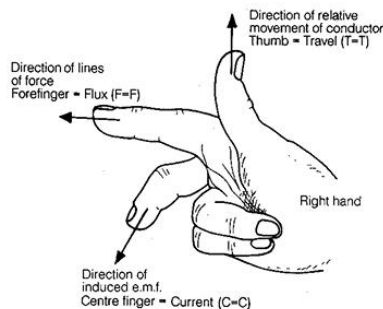
Gambar 9. menunjukkan bahwa sistem digerakkan oleh mekanisme penggerak, sehingga seluruh rangkaian ikut berputar pada poros rotor. Kumparan medan yang terpasang pada rotor turut berputar, begitu pula kumparan penguat jangkar yang berada di sisi belakang. Interaksi antara kumparan medan pada stator dan kumparan jangkar yang berputar pada rotor menghasilkan tegangan. Tegangan ini kemudian dialirkan ke AVR (Automatic Voltage Regulator). Perangkat AVR menyediakan suplai tegangan kepada penguat jangkar pada rotor dan memungkinkan pengaturan terhadap batas tegangan keluaran yang diinginkan.

Dengan proses tersebut, generator mampu menghasilkan tegangan sesuai kebutuhan. Kinerja generator akan optimal apabila penggerak yang dikopel memiliki kapasitas yang sepadan dengan kapasitas terpasang generator. Banyak generator menggunakan prinsip kerja mesin sinkron, di mana performa terbaik dicapai ketika kecepatan putar kumparan medan pada rotor sejalan dengan kecepatan putar kumparan jangkar pada stator.



Gambar 9. Prinsip Kerja Generator
Sumber : (Ahfas, 2020)

Pada prinsipnya, generator bekerja berdasarkan Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik yang menjadi dasar fenomena pada generator. Menurut Hukum Faraday, ketika terjadi perubahan gaya magnet pada kumparan kawat, akan terbentuk Gaya Gerak Listrik (GGL) pada kawat tersebut. Apabila kumparan kawat tersebut dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka arus listrik akan mengalir dalam rangkaian tersebut. Dalam memahami Hukum Faraday, kita perlu mengenal Kaidah tangan kanan yang diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming (Sultan et al., 2024).



Gambar 10. Kaidah Tangan Kanan
Sumber : (Ummah, 2019)

Kaidah tangan kanan Fleming merupakan teknik mnemonic yang membantu dalam menentukan arah vektor dari tiga komponen Hukum Faraday: arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, dan arah arus listrik. Dengan menurunkan posisi jari tangan kanan, jari ibu menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk mengarah ke medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik. Secara struktural, generator terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor (Sultan et al., 2024).

1.2.7 Konstruksi Dasar Generator

Konstruksi generator adalah sistem yang mengubah kerja mekanis dari mesin generator ke dinamo untuk menghasilkan energi listrik. Konstruksi listrik pada generator terdiri dari beberapa komponen utama, di antaranya :

a. Stator

Stator merupakan komponen generator yang tidak bergerak dan berfungsi menangkap medan magnet yang dihasilkan oleh rotor. Komponen ini berperan dalam menampung medan magnet terinduksi yang kemudian dikonversi menjadi tegangan dan arus listrik. (Utomo et al., 2024). Stator mencakup rangka generator berbahan baja yang berfungsi melindungi komponen internal, dilengkapi dengan kotak terminal serta name plate. Bagian inti stator dibuat dari material ferromagnetik berlapis-lapis yang memiliki alur sebagai tempat pemasangan lilitan stator. Lilitan inilah yang berperan sebagai penghasil tegangan (Tu et al., 2003)

b. Rotor

Rotor adalah bagian generator yang bergerak (berputar) dan mengandung magnet di dalamnya. Fungsi rotor utama adalah menciptakan perubahan medan magnet yang diperlukan dalam proses pembangkitan daya listrik melalui prinsip elektromagnetik (Utomo et al., 2024). rotor berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*rotor silinder*).

c. Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi berperan dalam menyuplai arus listrik searah (DC) ke kumparan medan yang terdapat pada rotor untuk membentuk medan magnet. Keberadaan medan magnet ini merupakan syarat utama terjadinya proses induksi tegangan listrik pada kumparan stator. Oleh karena itu, sistem eksitasi memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin keberlangsungan pasokan energi listrik serta menjaga kestabilan tegangan pada sistem kelistrikan kapal.

Pada umumnya, sistem eksitasi generator sinkron tersusun atas komponen *exciter*, penyearah (*rectifier*), dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). AVR berfungsi mengendalikan besarnya arus eksitasi sebagai respons terhadap perubahan beban listrik, sehingga tegangan keluaran generator dapat dipertahankan dalam rentang operasi yang diperkenankan. Ketika terjadi peningkatan beban, AVR akan menaikkan arus eksitasi untuk menstabilkan tegangan, sedangkan pada kondisi beban menurun, arus eksitasi dikurangi guna mencegah terjadinya tegangan berlebih. Hal ini menunjukkan bahwa sistem eksitasi tidak hanya bertugas membentuk medan magnet, tetapi juga berfungsi sebagai sistem pengendalian tegangan yang bekerja secara dinamis.

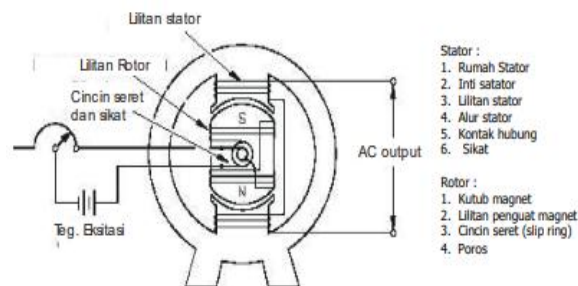
d. Bearings

Bearings adalah komponen yang berfungsi untuk menopang poros rotor generator agar dapat berputar dengan lancar dan stabil. Bearings

membantu mengurangi gesekan dan panas yang dihasilkan selama pengoperasian generator (Farisi & Paundra, 2024).

e. *Air Cooling*

Air Cooling merupakan bagian dari sistem pendingin generator. Sesuai dengan namanya, air cooling berfungsi untuk mendinginkan bagian generator dengan cara mensirkulasikan udara pada ruang generator dengan menggunakan media pendingin. Umumnya, media pendingin yang digunakan pada air cooling generator adalah air. (Farisi & Paundra, 2024)



Gambar 11. Konstruksi Generator Arus Bolak Balik
Sumber : (Tu et al., 2003)

1.2.8 Pengertian *Blackout*

Blackout adalah situasi ketika mesin bantu dan peralatan lainnya tidak dapat beroperasi karena tidak adanya pasokan listrik, yang disebabkan oleh kegagalan dalam sistem kelistrikan. Ketika terjadi pemadaman listrik, generator utama tidak berfungsi sehingga generator darurat akan memberikan suplai listrik sementara (Utomo et al., 2024). *Blackout* dapat terjadi karena beban yang berlebihan dan penggunaan peralatan listrik yang melebihi kapasitas (Sa et al., 2023). Terdapat dua jenis *blackout*: (i) kelebihan tegangan dan (ii) kekurangan tegangan. Saat terjadi pemadaman listrik, seluruh peralatan listrik tidak dapat berfungsi dengan baik (Zega et al., n.d.)

1.2.9 Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

FTA atau *Fault Tree Analysis* merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai faktor penyebab suatu kejadian yang tidak diinginkan (yang disebut sebagai "kejadian puncak"). Metode ini bekerja secara deduktif untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab, yang kemudian disusun secara logistik dan divisualisasikan dalam bentuk diagram pohon. Diagram tersebut menunjukkan hubungan logistik antara faktor-faktor penyebab dan kejadian puncak yang terjadi. (Nasional, 2017).

Fault Tree Analysis adalah metodologi yang sangat efektif untuk mengidentifikasi akar permasalahan, karena metode ini menggunakan

pendekatan sistematis untuk memastikan bahwa kejadian yang tidak diinginkan tidak berasal dari satu titik kegagalan saja. Metode ini menggunakan pendekatan top-down, dimulai dengan mengasumsikan kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (top event), kemudian dilanjutkan dengan menganalisis secara rinci penyebab-penyebab dari kejadian puncak tersebut hingga menemukan kegagalan dasar. Dalam konstruksi FTA, terdapat penggunaan gerbang logika seperti gerbang AND dan gerbang OR. Setiap kegagalan yang terjadi dapat divisualisasikan dalam bentuk pohon analisis kegagalan dengan mengkonversi komponen kegagalan ke dalam bentuk simbol (*logic transfer components*) dan diagram FTA (Kristiansen,2005).

Menurut Dwi et al (2024:208) manfaat dari metode *Fault Tree Analysis* (FTA) antara lain :





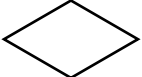

- 1 FTA memberikan visualisasi yang jelas tentang faktor-faktor penyebab dan kejadian yang dapat mengakibatkan kegagalan sistem, sehingga mempermudah pemahaman mengenai hubungan kompleks antar komponen dalam sistem.
- 2 Metode ini membantu dalam mengukur probabilitas kegagalan, memperbaiki proses pengambilan keputusan dan pengelolaan risiko, serta mendorong waktu untuk melakukan tindakan perbaikan secara proaktif.
- 3 Analisis kegagalan pohon memungkinkan tim untuk bekerja secara terstruktur ketika melakukan penilaian tingkat sistem dan analisis dampak secara metode, karena metode ini hanya dapat menganalisis satu output kejadian pada satu waktu.
- 4 FTA dapat mengidentifikasi kegagalan-kegagalan yang paling sering terjadi, sehingga membantu tim dalam menentukan masalah mana yang perlu diprioritaskan untuk ditangani..

Dalam proses pengembangan diagram FTA, tahapan-tahapan yang harus diikuti untuk memastikan bahwa diagram dapat disusun dengan baik sebagai peta pohon kegagalan. Secara umum, ada beberapa langkah penting dalam metodologi FTA yang perlu diterapkan, yaitu:

- a) Identifikasi kejadian puncak (top event), yaitu kondisi kegagalan utama yang akan diteliti.
- b) Desain dan konstruksi pohon kegagalan. Setelah menentukan kejadian utama, langkah berikutnya adalah mengembangkan hierarki awal untuk menyusun pohon kegagalan. Dalam proses perancangan dan penyusunan ini, semua aspek terkait kegagalan pohon harus dipertimbangkan dengan cermat.
- c) Melakukan analisis terhadap pohon kegagalan yang telah disusun.
- d) Diagram FTA menggunakan simbol-simbol standar, di mana setiap simbol memiliki makna yang berbeda satu sama lain, yang berfungsi

dalam pengembangan pohon kegagalan. Simbol-simbol FTA merepresentasikan hierarki dan interkoneksi yang menunjukkan hubungan antara peristiwa dan tingkat tertentu (Kurniawan & Cahyana, 2023).

Tabel 1. Simbol *Event* pada *Fault Tree Analysis*

Simbol	Nama	Keterangan
	<i>Top Event</i>	Kejadian yang memerlukan pembahasan mendalam biasanya akan ditandai dengan gerbang logika untuk memetakan rangkaian peristiwa selanjutnya.
	<i>Logic Event OR</i>	Risiko dapat terjadi jika satu atau lebih kejadian input yang berada di bawah muncul.
	<i>Logic Event AND</i>	Peristiwa berisiko dapat timbul apabila semua kejadian input yang mendasarinya terjadi.
	<i>Transferred Event</i>	Kejadian yang masih memerlukan penelitian tambahan, di luar dari risiko utama yang sedang dijelaskan.
	<i>Undeveloped Event</i>	Peristiwa yang tidak dapat dijelaskan secara mendalam karena keterbatasan data atau informasi.
	<i>Basic Event</i>	Penyebab dari suatu kejadian berisiko yang tidak memerlukan analisis tambahan.

Sumber : (Yagturi & Hartati, 2023)

1.2.10 Metode *Urgency, Seriousness, Growth (USG)*

USG (*Urgency, Serious, and Growth*) merupakan teknik untuk memprioritaskan permasalahan yang perlu ditangani. Metode ini dilakukan dengan memberikan nilai 1-5 pada tiga aspek: tingkat kegentingan, tingkat keseriusan, dan potensi masalah perkembangan. Persoalan dengan jumlah nilai tertinggi akan ditetapkan sebagai prioritas utama untuk diselesaikan. (Zhang, 2012). Penentuan tingkat prioritas masalah, total skor USG pada metode ini berada pada kisaran 3 hingga 15, yang berasal dari penilaian terhadap tiga parameter, yaitu Urgency (U), Seriousness (S), dan Growth (G), masing-masing dengan nilai 1 sampai 5. Berdasarkan sebaran skor yang diperoleh, kategori tingkat risiko kemudian dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu: tinggi untuk skor 12 ke atas, sedang untuk skor 9 hingga

11, dan rendah untuk skor 8 ke bawah. Penetapan rentang tersebut merujuk pada pendekatan umum dalam metode penilaian risiko semi-kuantitatif, di mana skor total digunakan sebagai dasar penentuan prioritas risiko, sebagaimana dijelaskan dalam literatur manajemen risiko (Stamatis, 2003). Untuk lebih jelasnya, pengertian urgency, seriousness, dan growth dapat diuraikan sebagai berikut :

1. *Urgency (U)*

Tingkat urgensi menunjukkan seberapa cepat isu tersebut harus ditangani, dengan mempertimbangkan ketersediaan waktu dan tekanan yang ada untuk menyelesaikan masalah yang menyebabkan isu tersebut.

2. *Seriousness (S)*

Tingkat keseriusan mengacu pada pentingnya isu untuk dibahas, dikaitkan dengan dampak yang akan timbul jika penyelesaian masalah tertunda atau konsekuensi lain yang mungkin muncul jika akar permasalahan tidak terselesaikan.

3. *Growth (G)*

Tingkat perkembangan yang menggambarkan potensi isu yang semakin besar, terkait dengan kemungkinan masalah penyebab akan semakin memburuk jika tidak segera ditangani.

Tabel 2. Prioritas Masalah Metode USG

No	Masalah	Nilai USG			Skor	Rangking
		<i>Urgency (U)</i>	<i>Seriousness (S)</i>	<i>Growth (G)</i>		
1	Masalah A	5	5	5	15	I
2	Masalah B	4	5	5	14	II
3	Masalah C	5	4	3	12	III
4	Masalah D	3	4	4	11	IV

1.2.11 Uji Keabsahan Instrumen Penelitian

Sebuah alat ukur atau instrumen penelitian yang baik harus memenuhi dua kriteria utama, yaitu validitas dan reliabilitas. Jika instrumen tidak valid atau tidak reliabel, maka hasil yang diperoleh bisa menyesatkan karena tidak mencerminkan kondisi sebenarnya dari subjek yang diteliti. Akibatnya, keputusan yang diambil berdasarkan data tersebut dapat menjadi keliru karena didasari oleh informasi yang tidak tepat. Oleh karena itu, instrumen penelitian harus memiliki tingkat validitas dan reliabilitas yang tinggi agar data yang dikumpulkan dapat dipercaya dan akurat. Dengan demikian, validitas dan reliabilitas merupakan syarat esensial untuk memastikan bahwa hasil penelitian benar-benar dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

1. Uji Validitas

Uji validitas merupakan suatu prosedur yang digunakan untuk menilai sejauh mana suatu instrumen penelitian memiliki tingkat keabsahan atau ketepatan. Sebuah instrumen dianggap valid apabila mampu mengukur variabel yang memang menjadi tujuan pengukuran. (Meivira et al., 2022). Uji validitas kuesioner dinyatakan terpenuhi apabila setiap butir pertanyaan mampu berfungsi sebagai alat untuk mengungkap dan mengukur aspek yang menjadi tujuan penelitian. Suatu kuesioner dianggap valid ketika nilai r hitung pada masing-masing item melebihi nilai r tabel. Dengan demikian, jika hasil perhitungan validitas untuk setiap respons yang diperoleh setelah penyebaran kuesioner menunjukkan nilai r hitung lebih besar daripada r tabel, maka butir pertanyaan tersebut dapat dikategorikan valid (Prososial, 2021). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai r hitung disajikan sebagai berikut.

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (1)$$

Dimana :

r_{xy} = Koefisien korelasi antara skor butir (x) dan total skor (y)

n = Jumlah Responden

$\sum xy$ = Jumlah Perkalian antara skor item (x) dan total skor (y)

$\sum x$ = Jumlah Skor Item

$\sum y$ = Total Skor

2. Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas merupakan prosedur yang digunakan untuk menilai sejauh mana suatu instrumen penelitian mampu menghasilkan data yang konsisten apabila pengukuran dilakukan berulang kali terhadap gejala atau variabel yang sama dengan instrumen yang sama. Instrumen dikatakan reliabel apabila menunjukkan tingkat kestabilan hasil yang tinggi dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, apabila suatu instrumen digunakan secara berulang untuk mengukur variabel yang sama dan menghasilkan hasil yang relatif tetap, maka instrumen tersebut dapat dianggap memiliki reliabilitas yang baik (*reliable*). (A.A. Istri & Rizki Fadila, 2023). Selain itu, tingkat reliabilitas yang tinggi mengindikasikan bahwa instrumen penelitian memiliki tingkat kestabilan dan konsistensi yang baik dalam mengukur konstruk yang ditetapkan. Dalam penelitian kuantitatif, pengujian reliabilitas umumnya dilakukan dengan menghitung koefisien reliabilitas, seperti *Cronbach's Alpha*, yang berfungsi untuk menilai sejauh mana butir-butir pernyataan dalam instrumen saling berhubungan dan membentuk suatu kesatuan yang konsisten secara internal. Menurut Eisingerich dan Rubera (2010) nilai tingkat keandalan Cronbach's Alpha minimum adalah 0,70, dengan menggunakan nilai keandalan Cronbach's Alpha minimum 0,70 dapat memberikan dukungan untuk konsistensi

internal. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai reliabilitas sebagai berikut.

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right) \quad (2)$$

Dimana :

- α = Koefisien reliabilitas instrument (*Cronbach's Alpha*)
- k = Jumlah Item Pertanyaan
- $\sum \sigma_b^2$ = Jumlah varian butir
- σ_t^2 = Varian total skor

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Apa penyebab terjadinya blackout pada *auxiliary engine* kapal menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA)?
2. Apa prioritas resiko tertinggi yang terjadi menggunakan metode *Urgency, Seriousness, Growth* (USG)?
3. Apa dampak dan Upaya yang dilakukan mencegah terjadinya blackout pada *auxiliary engine* kapal?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada kapal KT. Sungai Saddang
2. Data catatan historis kegagalan *auxiliary engine* kapal berfokus pada kapal tugboat dengan merek *auxiliary engine* caterpillar
3. Penelitian ini dibatasi hanya pada dua komponen utama *auxiliary engine*, yaitu Mesin diesel dan generator.

1.5 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya *blackout* pada *auxiliary engine* kapal.
2. Mengetahui prioritas utama yang terjadi menggunakan metode *Urgensi, Seriousness, Growth* (USG)
3. Mengetahui dampak dan upaya yang harus dilakukan untuk mencegah terjadinya blackout pada *auxiliary engine* kapal.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai acuan pada awak kapal mengenai faktor penyebab *blackout* pada kapal KT. Sungai Saddang
2. Dapat memberikan informasi mengenai prioritas risiko permasalahan yang terjadi saat *Auxiliary engine* kapal mengalami *Blackout*.
3. Memberikan informasi mengenai penyebab, dampak, dan upaya dari permasalahan yang terjadi pada saat kapal mengalami *Blackout*.
4. Dapat dijadikan sebagai acuan atau perbandingan untuk penelitian selanjutnya.

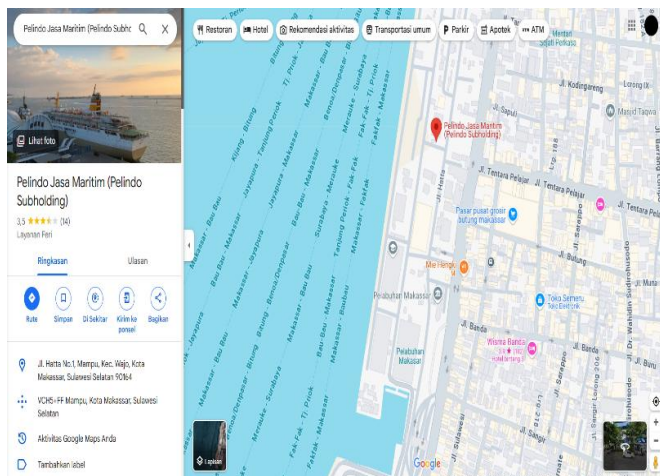
BAB II

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah landasan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan dianalisis atau diselesaikan. Dalam metode penelitian ini mencakup semua tindakan atau cara atau susunan yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan di PT. Pelindo Jasa Maritim (SPJM) Area Sulawesi I, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Dan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Permesinan Kapal, Departemen Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin. Adapun pelaksanaan kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Maret 2025 hingga Selesai.



Gambar 12. Lokasi penelitian
Sumber : *Google maps*

2.2 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan adalah penelitian Kualitatif dan Kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya blackout *auxiliary engine* atau generator dan menentukan prioritas permasalahan. Data dikumpulkan melalui observasi, studi literatur, kuesioner, catatan historis kapal yang diteliti dan wawancara dengan narasumber yang mengetahui informasi yang terkait dengan hal yang diteliti.

2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data difokuskan pada tema penelitian yaitu *Auxiliary engine* atau Generator pada Kapal. pengumpulan data dilakukan melalui observasi secara langsung, wawancara, dan membagikan kuesioner kepada crew kapal

atau yang bertanggung jawab langsung dalam pemeliharaan mesin-mesin pada kapal.



Gambar 13. Proses wawancara Crew Engine KT. Sungai Saddang
Sumber : Hasil Dokumentasi Lapangan

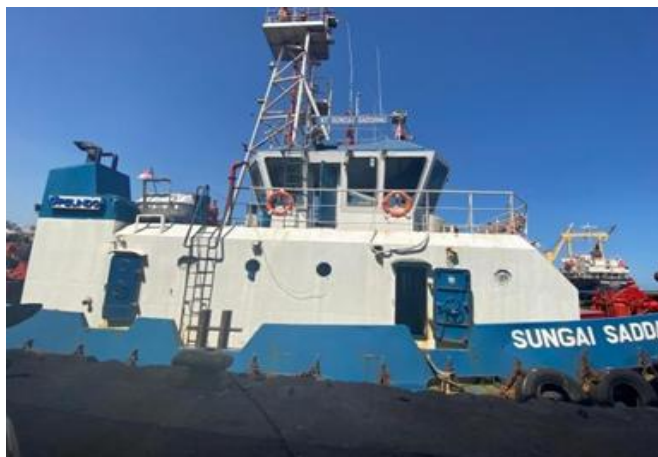
adapun penyajian data penelitian setelah melakukan observasi dan wawancara secara langsung sebagai berikut :

1. Data Kapal

Dalam penelitian ini, kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah KT. Sungai Saddang yang merupakan kapal milik PT. Pelindo Jasa Maritim (SPJM) yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal lain dalam proses sandar, berlayar keluar, atau memindahkan kapal seperti kapal tanker, kapal cargo, kapal container, dan kapal penumpang di wilayah pelabuhan. Berikut adalah data kapal yang digunakan sebagai objek penelitian :

Tabel 3. Data Kapal KT. Sungai Saddang

Nama Kapal	:	KT. Sungai Saddang
Tipe	:	Tugboat
Length Over All (LOA)	:	26,40 meter
Breadth (B)	:	7,50 meter
Draught (T)	:	3,06 meter
Depth (H)	:	3,76 meter
Gross Tonnage	:	207 ton



Gambar 14. KT. Sungai Saddang
Sumber : Hasil Dokumentasi Lapangan

2. Data Auxiliary engine

Tabel 4. Data Utama Auxiliary engine (Starboard)

Item	Description
Makers	: Caterpillar
Model	: Acert C6.6
Serial Number	: C6T00989
Year	: 2011
Power (kW)	: 130.5 KW
Power (HP)	: 175 HP
Full Load (Rpm)	: 1500 Rpm
No. Of Cylinder	: 6
Rotation	: CCW

Tabel 5. Data Utama Auxiliary engine (Portside)

Item	Description
Makers	: Caterpillar
Model	: Acert C6.6
Serial Number	: SAX01178
Year	: 2018
Power (kW)	: 155 KW
Power (HP)	: 208 HP
Full Load (Rpm)	: 1500 Rpm
No. Of Cylinder	: 6
Rotation	: CCW



Gambar 15. *Auxiliary engine* KT. Sungai Saddang
Sumber : Hasil Dokumentasi Lapangan

2.4 Metode Pengolahan Data

Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan analisa data. Dalam pengolahan data digunakan analisa kualitatif untuk mendapatkan nilai probabilitas setiap kegagalan. Kegiatan mengolah data ini terdiri dari beberapa tahapan, secara garis besar sebagai berikut:

2.4.1 Analisis Kualitatif

pada tahapan ini, dilakukan identifikasi hubungan sebab-akibat yang menyebabkan Blackout pada *Auxiliary engine* kapal. Kemudian dilanjutkan dengan penggambaran Diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) dimulai dari peristiwa utama (*top event*) terlebih dahulu kemudian diuraikan ke dalam kejadian-kejadian penyebabnya (*basic event*). Analisis kualitatif, diperlukan pemahaman tentang sistem dan penyebab kegagalan. kemudian dilanjutkan dengan menghitung dan mengevaluasi tingkat risiko dari masing-masing masalah atau peristiwa dengan menggunakan tiga kriteria utama metode (USG) yaitu, *Urgency* (U) yang mengukur kebutuhan untuk penanganan segera, *Seriousness* (S) yang menilai tingkat keparahan dampak, dan *Growth* (G) yang menilai potensi risiko jika masalah tidak segera diatasi. Setiap kriteria diberi nilai kuantitatif berdasarkan skala 1-5.

2.4.2 Pembuatan dan penyebaran Kuesioner

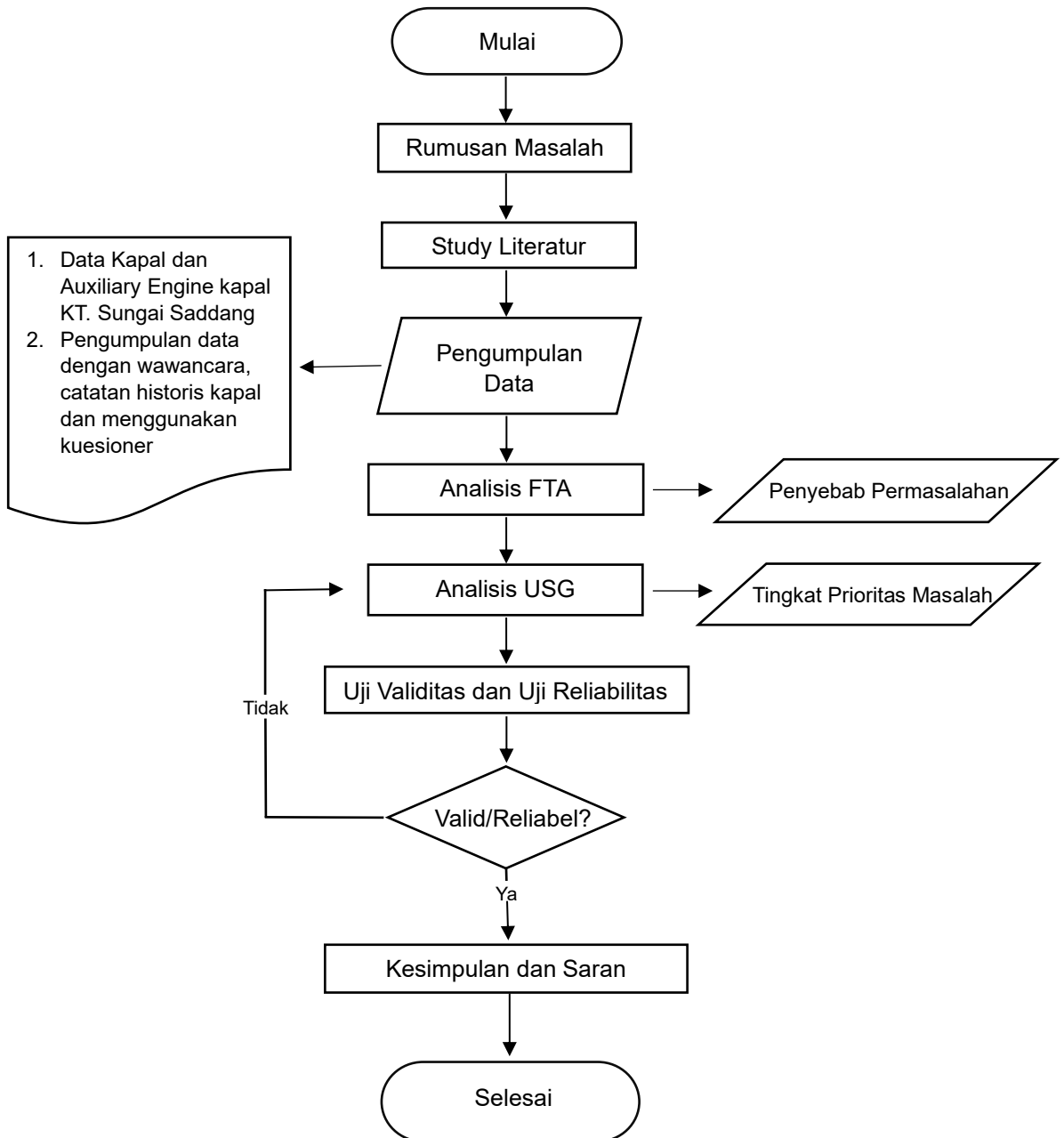
Mengacu pada tahapan-tahapan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Urgency*, *Seriousness*, *Growth* (USG) dalam pembuatan dan penyebaran kuesioner penelitian sebagai berikut :

- Untuk menyusun kuesioner mengenai penyebab terjadinya blackout pada *Auxiliary engine* kapal. Peneliti mengidentifikasi permasalahan yang biasa ditemukan pada *auxiliary engine* dengan metode FTA.

- Setelah itu, masalah-masalah yang telah diidentifikasi disusun dalam tabel kuesioner yang mencakup kategori *Urgency, Seriousness, Growth* (USG).
- Selanjutnya, kuesioner disebarluaskan melalui dua metode: secara langsung dan online. Metode penyebaran secara langsung melibatkan interaksi langsung antara responden dan penulis. Sedangkan penyebaran online menggunakan platform digital untuk menjangkau audiens yang lebih luas.
- Setelah pengumpulan data selesai, dilakukan perengkingan untuk menentukan prioritas masalah menggunakan metode *USG* yang sesuai untuk memperoleh hasil penelitian.

2.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun alur dalam penelitian ini dari dimulainya penelitian sampai akhir dari penelitian yang digambarkan melalui flowchart penelitian sebagai berikut:



Gambar 16. Kerangka Alir Penelitian