

## BAB II

### TEORI PENUNJANG DAN KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

Pada BAB ini penulis menjelaskan bagaimana landasan teori yang terkait dan relevan pada Analisa penyebab keretakan *cylinder head main engine* dengan metode *Root Cause Analysis* (RCA) pada studi kasus kapal KM. Gunung Dempo. Hal ini dilakukan agar penulis dapat mempermudah penelitian yang akan di teliti.

##### 2.1.1 Kapal Penumpang



Gambar 2.1 Kapal KM. Gunung Dempo  
Sumber: (Finder, n.d.)

Kapal penumpang adalah jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut manusia sebagai fungsi utamanya, baik untuk perjalanan jarak dekat maupun jarak jauh. Fungsi kapal penumpang sangat krusial, terutama di Indonesia, yang merupakan negara kepulauan dengan lebih dari 17.000 pulau yang tersebar dari Sabang hingga Merauke. Keberadaan kapal penumpang tidak hanya menjadi solusi transportasi bagi masyarakat yang tinggal di berbagai pulau, tetapi juga menjadi sarana penting dalam mendukung perekonomian, mobilitas penduduk, dan distribusi barang.

Jenis-jenis kapal penumpang sangat bervariasi, tergantung pada kebutuhan dan jarak tempuhnya. Kapal feri, misalnya, biasa digunakan

untuk mengangkut penumpang bersama kendaraan mereka pada rute pendek antar pulau. Kapal cepat, di sisi lain, melayani rute jarak menengah hingga jauh dengan waktu tempuh yang lebih singkat, memberikan kemudahan bagi masyarakat yang membutuhkan perjalanan efisien.

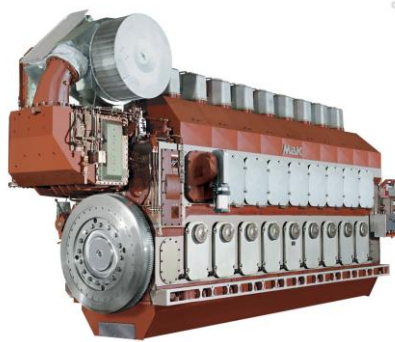
Keberadaan kapal penumpang sangat vital di Indonesia karena banyak daerah, terutama pulau-pulau kecil, yang tidak memiliki akses jalan darat atau jembatan yang menghubungkan dengan pulau lainnya. Kapal penumpang menjadi moda transportasi utama yang memastikan konektivitas antar pulau. Hal ini sangat penting untuk mendukung aktivitas masyarakat.

### **2.1.2 Main Engine**

*Main engine* merupakan alat krusial yang berada diatas kapal. *Mesin induk* adalah sebagai tenaga penggerak utama yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi propeller kapal agar kapal dapat bergerak, dimana dalam pengoperasionalnya mesin induk selalu dalam kondisi running secara terus menerus. Mesin penggerak utama disebut juga mesin induk atau bahasa maritimnya *Main Engine*. (Hendrawan, 2020).

*Mesin induk* adalah mesin panas yang digunakan untuk mengubah panas, yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, menjadi kerja yang berguna, yaitu mengembangkan energi termal dan mengubahnya menjadi energi mekanik. Mesin yang digunakan di atas kapal adalah mesin pembakaran dalam, di mana pembakaran bahan bakar terjadi di dalam *cylinder* mesin dan panas dihasilkan setelah proses pembakaran (raunek, 2019). *Main engine* kapal merupakan pesawat pembakaran dalam memperoleh energi potensial berupa panas dalam pengoperasiannya dibutuhkan pembakaran bahan bakar yang dilakukan pesawat itu sendiri dalam *cylinder* nya (Abdullah, 2021) *main engine* juga mencakup berbagai subsistem pendukung, seperti sistem pelumasan, sistem pendinginan, dan sistem bahan bakar, yang semuanya berfungsi untuk menjaga stabilitas operasi mesin. Dengan demikian, keberadaan mesin induk yang handal

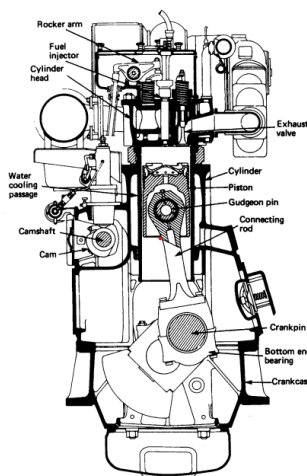
dan terawat dengan baik menjadi syarat mutlak dalam memastikan keberhasilan operasional kapal di lautan.



Gambar 2.2 Mesin M 43 C  
Sumber: (Catterpillar, n.d.)

### 2.1.3 Mesin 4 Tak

Mesin 4 tak atau mesin 4 langkah yaitu mesin yang melalui proses Langkah naik turun piston untuk menghasilkan tenaga, karena mesin tersebut perlu menggunakan 4 langkah kerja untuk satu kali proses (*Pengertian Mesin 4 Langkah*, n.d.) mesin terdiri dari piston yang bergerak naik dan turun dalam *cylinder* yang ditutupi di bagian atas oleh kepala silinder. Injektor bahan bakar, yang melaluinya dimana bahan bakar masuk ke dalam silinder, terletak di kepala silinder. Saluran masuk dan katup buang juga bertempat di kepala silinder dan ditahan oleh pegas. (Taylor, 1990)



Gambar 2.3 Komponen Mesin 4 TAX  
Sumber: (Taylor, 1990)

Berikut adalah komponen-komponen yang berada di dalam mesin 4 tak berdasarkan buku (Taylor, 1990)

1. *Rocker arm*

*Rocker arm* adalah komponen yang berfungsi untuk mentransmisikan gerakan dari camshaft ke katup (*valve*). Ketika *camshaft* berputar, *rocker arm* akan menggerakkan batang penghubung (*push rod*) untuk membuka atau menutup katup, yang mengontrol aliran udara dan bahan bakar ke dalam silinder mesin.

2. *Fuel Injection*

*Fuel injection* adalah sistem yang mengontrol penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar mesin. Sistem ini mengoptimalkan efisiensi pembakaran dengan cara menyuntikkan bahan bakar secara presisi pada waktu dan tekanan yang tepat, memastikan pembakaran yang efisien dan mengurangi emisi gas buang.

3. *Cylinder Head*

*Cylinder head* adalah penutup bagian atas silinder yang berfungsi untuk menutup ruang bakar. Selain itu, komponen ini juga menampung katup, dan saluran masuk serta keluar udara dan gas buang. *Cylinder head* memainkan peran penting dalam efisiensi pembakaran dan aliran udara dalam mesin.

4. *Water cooling passage*

*Water cooling passage* adalah saluran yang terdapat pada mesin untuk mengalirkan air pendingin. Fungsi utamanya adalah untuk mendinginkan mesin dengan mengambil panas yang dihasilkan selama pembakaran. Sistem pendingin ini sangat penting untuk menjaga suhu mesin tetap dalam batas aman agar mesin tidak *overheat*.

5. *Camshaft*

*Camshaft* adalah poros yang berfungsi untuk mengatur gerakan katup dalam mesin. Camshaft berputar seiring dengan putaran mesin dan menggerakkan rocker arm untuk membuka dan menutup katup pada waktu yang tepat selama siklus pembakaran.

#### 6. *Cam*

*Cam* adalah bagian dari *camshaft* yang memiliki bentuk profil khusus yang mengatur kapan katup harus dibuka atau ditutup. Profil *cam* mempengaruhi performa mesin, seperti durasi dan waktu buka-tutup katup.

#### 7. Exhaust valve

*Exhaust valve* adalah katup yang berfungsi untuk mengeluarkan gas buang dari ruang bakar ke saluran pembuangan setelah proses pembakaran selesai. Katup ini bekerja sama dengan intake valve untuk mengontrol aliran udara dan gas dalam dan keluar dari silinder.

#### 8. *Intake valve*

*Intake valve* adalah katup yang mengontrol aliran campuran udara-bahan bakar atau udara (pada mesin diesel) masuk ke dalam ruang bakar saat piston bergerak ke posisi bawah selama siklus intake.

#### 9. *Cylinder*

*Cylinder* adalah bagian dari mesin tempat terjadinya proses pembakaran. Silinder merupakan ruang tempat piston bergerak naik dan turun untuk mengubah energi pembakaran menjadi gerakan mekanik. Setiap silinder dilengkapi dengan piston, katup, dan komponen lainnya untuk mendukung proses pembakaran yang efisien

#### 10. *Piston*

*Piston* adalah komponen yang bergerak naik dan turun di dalam silinder untuk mentransmisikan energi dari pembakaran menjadi tenaga mekanik. Piston berfungsi menekan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar serta menerima tekanan dari ledakan pembakaran untuk menghasilkan gerakan.

#### 11. *Gudgeon pin*

*Gudgeon pin* adalah pin yang menghubungkan piston dengan *connecting rod*. Pin ini memungkinkan pergerakan piston yang bebas namun tetap terhubung erat dengan batang penghubung untuk

mentransfer gerakan linier piston menjadi gerakan rotasi pada crankshaft.

#### 12. *Connecting rod*

*Connecting rod* adalah batang yang menghubungkan piston dengan crankshaft. Ketika piston bergerak naik turun, connecting rod akan mentransfer gerakan tersebut ke crankshaft, yang kemudian mengubah gerakan linier menjadi gerakan rotasi yang digunakan untuk menggerakkan propeller atau sistem lain pada kapal.

#### 13. *Crankshaft*

*Crankshaft* pada mesin diesel berfungsi untuk mengubah gerakan linear piston menjadi gerakan rotasi yang menyalurkan tenaga ke sistem propulsi dan menggerakkan komponen mesin lainnya.

#### 14. *Crankpin*

*Crankpin* adalah bagian dari crankshaft tempat connecting rod dipasang. *Crankpin* memiliki bentuk khusus yang memungkinkan connecting rod bergerak dengan lancar seiring dengan rotasi crankshaft. Ini merupakan komponen vital dalam proses konversi gerakan linier menjadi gerakan rotasi.

#### 15. *Bottom end bearing*

*Bottom end bearing* adalah bantalan yang terletak pada ujung bawah *crankshaft*, di mana crankpin dipasang. Bantalan ini berfungsi untuk mengurangi gesekan antara *crankpin* dan *crankshaft*, serta memberikan dukungan untuk perputaran *crankshaft* yang lancar dan efisien.

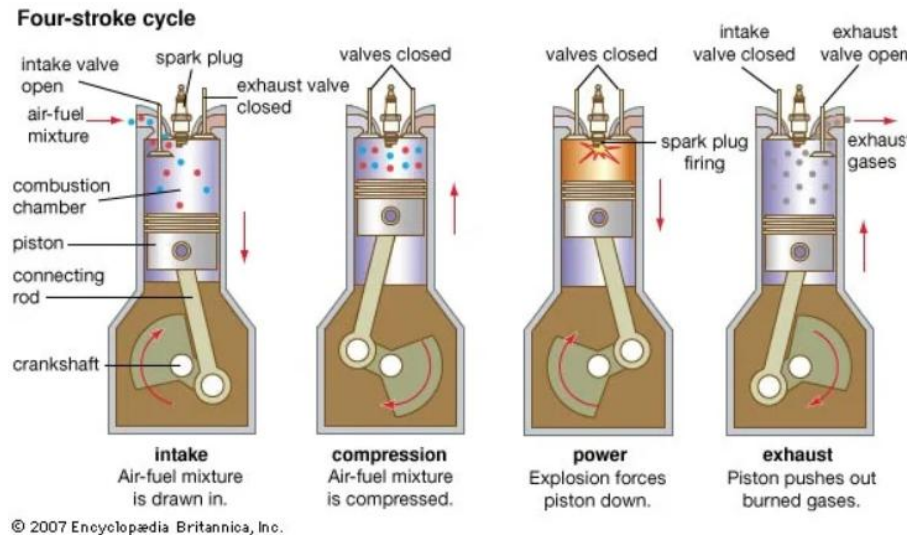
#### 16. *Crankcase*

*Crankcase* adalah bagian dari mesin yang menampung *crankshaft* dan komponen terkait lainnya. *Crankcase* berfungsi untuk melindungi komponen tersebut dari kotoran dan kerusakan, serta menyediakan ruang untuk oli mesin yang digunakan untuk melumasi komponen bergerak dalam mesin. *Crankcase* juga berperan penting dalam

menjaga kestabilan mesin dengan menahan tekanan yang dihasilkan selama proses pembakaran.

#### **2.1.4 Proses Pembakaran**

Proses pembakaran mesin diesel kapal merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam konversi energi, dan merupakan reaksi kimia kompleks yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Proses ini dimulai dengan injeksi solar ke dalam silinder mesin. Injeksi ini dilakukan dengan menggunakan sistem injeksi yang presisi dan memastikan bahwa jumlah bahan bakar yang tepat disemprotkan ke dalam ruang bakar pada waktu yang tepat. Setelah injeksi, bahan bakar diesel bercampur dengan udara yang telah dihisap ke dalam silinder. Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran ini menyebabkan peningkatan tekanan dalam *cylinder*, yang pada gilirannya mendorong piston untuk bergerak ke bawah. Gerakan bolak-balik piston ini adalah inti dari proses konversi energi dalam mesin diesel. Piston yang bergerak ke bawah menggerakkan crankshaft, yang kemudian mengubah gerakan linear menjadi gerakan rotasi. Gerakan rotasi ini digunakan untuk menggerakkan propeller kapal, sehingga menghasilkan dorongan yang diperlukan untuk menggerakkan kapal melalui air. Setelah proses pembakaran, gas hasil pembakaran yang masih memiliki energi termal yang tinggi harus dikeluarkan dari silinder. Proses ini dilakukan melalui langkah exhaust, di mana katup buang terbuka dan gas hasil pembakaran dikeluarkan dari silinder. Setelah gas dibuang, siklus kembali dimulai dengan langkah hisap, di mana udara segar dihisap ke dalam silinder untuk mempersiapkan siklus pembakaran berikutnya. Pembakaran campuran menyebabkan piston melakukan gerakan bolak-balik di dalam *cylinder* (Kondrad Reif, 2015).



Gambar 2.4 Langkah-langkah Pembakaran  
Sumber : (Britannica, n.d.)

### 2.1.5 *Cylinder Head*

*Cylinder head* merupakan salah satu komponen utama yang berperan sangat penting dalam mesin induk kapal yang berfungsi sebagai penutup ruang bakar sekaligus tempat terjadinya proses pembakaran tersebut. Dikarenakan *cylinder head* merupakan tempat pembakaran, Namun sebenarnya pembakaran ini tidak terjadi didalam blok *cylinder*, hal ini karena komponen blok *cylinder* hanya berbentuk kotak dengan rongga berbentuk cylinder. Rongga tersebut digunakan sebagai lintasan piston untuk bergerak naik turun, namun agar pembakaran dapat terjadi maka sisi permukaan atas blok *cylinder* perlu ditutup, penutup tersebut bernama *cylinder head* (Khakim, 2023)

Untuk semua desain mesin diesel, kepala silinder adalah penutup atas ruang bakar. *Cylinder Head* ditahan ke *Cylinder Liner*, *Water jacket assembly*, dan *Crankcase* oleh empat baut stud. (Woodyard, 2009)

### 2.1.6 Perawatan Mesin

Manajemen Perawatan (*Maintenance Management*) adalah pengelolaan aktivitas perawatan yang melibatkan proses perencanaan, pengorganisasian, dan pengendalian operasional untuk memastikan kinerja optimal dari fasilitas industri. Dalam perencanaannya, gagasan

utama yang muncul berfokus pada pemeliharaan yang efisien. Pada sektor industri maupun bengkel otomotif, metode dan prinsip yang diterapkan biasanya menekankan perbaikan segera setelah mesin atau peralatan mengalami kerusakan. (Muslih Nasution, Ahmad Bakhori, 2021) Perawatan mesin kapal merupakan serangkaian tindakan yang dilakukan untuk memastikan mesin kapal berfungsi dengan optimal dan tetap dalam kondisi baik selama beroperasi di laut. Kegiatan perawatan mesin kapal meliputi pemeliharaan rutin seperti pengecekan sistem bahan bakar, pelumasan, pembersihan, penggantian oli, dan pemeriksaan kondisi komponen utama seperti *turbocharger*, sistem pendingin, serta sistem pembuangan gas. Selain itu, perawatan mesin kapal juga mencakup inspeksi berkala untuk mendeteksi potensi kerusakan atau keausan pada bagian-bagian kritis mesin. Perawatan yang tepat dan terjadwal tidak hanya memperpanjang umur mesin, tetapi juga meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi risiko kerusakan mendadak yang dapat menyebabkan keterlambatan, dan menjamin keselamatan pelayaran. Oleh karena itu, manajemen perawatan mesin kapal yang baik sangat penting untuk menjaga kinerja operasional kapal, menghindari kerugian ekonomi, dan memastikan kelancaran perjalanan laut.

Perawatan mesin kapal berdasarkan *Planned Maintenance System* (PMS) adalah pendekatan yang terstruktur dan terjadwal untuk memastikan mesin kapal tetap berfungsi dengan baik dan efisien. Dalam sistem ini, perawatan dilakukan secara terencana dan disesuaikan dengan interval waktu atau jam operasi mesin, serta berdasarkan rekomendasi dari pabrik pembuat mesin. Aktivitas perawatan meliputi pemeriksaan rutin, pelumasan, penggantian suku cadang, pengecekan sistem kelistrikan, sistem pendinginan, serta pembersihan komponen mesin. Melalui *Planned Maintenance System* (PMS), setiap perawatan dicatat dan dipantau dengan menggunakan software atau sistem berbasis data untuk memastikan bahwa perawatan dilakukan tepat waktu, mencegah kerusakan mendadak, dan mengurangi waktu berhenti kapal (*downtime*). Sistem ini juga membantu

dalam perencanaan anggaran untuk pemeliharaan dan penggantian komponen mesin, sehingga lebih efisien dalam penggunaan sumber daya dan meningkatkan umur mesin kapal. Dengan penerapan *Planned Maintenance System* (PMS), kapal dapat beroperasi lebih baik serta mengurangi biaya pemeliharaan tak terduga, dan meningkatkan keselamatan serta kenyamanan pelayaran.

### **2.1.7 Keretakan**

Keretakan adalah suatu bentuk kerusakan yang ditandai dengan adanya celah atau retak pada permukaan atau bagian dalam suatu material. Kerusakan ini terjadi ketika material tidak lagi mampu menahan gaya, tekanan, atau beban yang melebihi batas kekuatannya. Retak terjadi akibat pengaruh beban eksternal yang memicu munculnya tegangan yang terkonsentrasi pada suatu material. Tegangan yang terkontrentasi ini biasanya terjadi di area tertentu yang memiliki ketidaksesuaian atau diskontinuitas pada material tersebut (Dr. Ir. Hendri Chandra, 2023). Keretakan dapat ditemukan pada berbagai jenis material, seperti logam, beton, kayu, plastik, atau bahan komposit, dan sering kali menjadi tanda awal adanya kelemahan struktural yang dapat berkembang menjadi kegagalan material secara keseluruhan jika tidak segera ditangani. Keretakan dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti garis lurus, bercabang (mirip jaring laba-laba), atau tidak beraturan, tergantung pada jenis material dan penyebabnya. Ukurannya juga bervariasi, mulai dari retakan mikro yang hanya dapat terlihat di bawah mikroskop hingga retakan besar yang kasat mata dan memengaruhi fungsi atau estetika material. Selain itu, lokasi keretakan dapat berada pada permukaan material atau tersembunyi di dalam struktur, yang kadang-kadang membuatnya sulit untuk dideteksi tanpa alat bantu.



Gambar 2.5 Keretakan pada *Cylinder Head*  
Sumber: Dokumentasi Pribadi

#### 2.1.8 Metode *Root Cause Analysis* (RCA)

Pengertian dari *Root Cause Analysis* (RCA) ialah metode yang digunakan untuk mencari tau akar permasalahan dan serta cara yang tepat untuk menganggulangi masalah yang telah terjadi, sehingga permasalahan tersebut dapat di minimalisir atau tidak terjadi lagi dimasa yang akan datang.

Secara mendasar metode *Root Cause Analysis* (RCA) merupakan suatu metode untuk penyelesaian permasalahan, mencoba mengidentifikasi faktor penyebab dari suatu permasalahan atau kejadian yang tidak diharapkan. (Kristanto Wibowo 1, Sugiyarto<sup>2</sup>, 2022)

Langkah -langkah yang digunakan dalam menggunakan metode RCA (*Root Cause Analysis*) menurut buku BSI Standard RCA (Parra, 2015) adalah :

1. Mengidentifikasi masalah

Langkah pertama yang dilakukan dalam metode *Root Cause Analysis* (RCA) yaitu mengidentifikasi masalah secara spesifik, jelas dan terstruktur. Hal ini melibatkan pemahaman tentang apa yang terjadi, kapan terjadi, serta dampak terhadap proses atau sistem

tersebut.

## 2. Mengumpulkan data

Setelah masalah dapat diidentifikasi, Langkah berikutnya berupa mengumpulkan data secara kuantitatif atau kualitatif yang mencakup faktor-faktor yang mungkin berkontribusi pada masalah, termasuk kejadian, kondisi lingkungan dan proses yang terlibat, untuk proses analisis yang lebih mendalam diperlukan data-data yang akurat.

## 3. Menganalisis data

Pada tahap ini, setelah data terkumpul lalu dianalisis untuk mengidentifikasi pola atau hubungan yang dapat menunjukan penyebab masalah. Teknik digunakan berupa:

### a. Analisa perbaikan *Cylinder Head*

Pada tahap ini, penulis melakukan analisis terhadap proses perbaikan *cylinder head* yang telah dilaksanakan oleh pihak bengkel resmi rekanan, sebagai bagian dari evaluasi menyeluruh terhadap penyebab dan penanganan keretakan pada komponen tersebut. Analisis ini bertujuan untuk memahami sejauh mana proses perbaikan telah sesuai dengan prosedur teknis yang dianjurkan oleh pabrikan mesin MaK 6 M 43 C, serta mengkaji kemungkinan faktor teknis yang berkontribusi terhadap timbulnya kerusakan secara berulang.

### b. *The 'why' method*

Metode ini membimbing analisis melalui serangkaian pertanyaan "*why*" sebanyak lima kali secara berurutan untuk mengungkap hubungan sebab-akibat yang mendasari suatu masalah (Parra, 2015). Metode "*Why*" merupakan teknik analisis yang digunakan dalam *Root Cause Analysis* (RCA) untuk menggali akar penyebab suatu masalah melalui serangkaian pertanyaan yang diajukan secara berurutan. Dimulai dengan mengidentifikasi kejadian fokus atau masalah, pertanyaan pertama yang diajukan adalah "*why*" peristiwa tersebut terjadi, dan jawaban

dari pertanyaan ini menjadi dasar untuk pertanyaan berikutnya. Proses ini berlanjut dengan mengajukan pertanyaan "*why*" secara berurutan hingga mencapai penyebab mendalam atau akar penyebab masalah, biasanya setelah lima tingkat pertanyaan, meskipun jumlahnya bisa bervariasi tergantung pada kompleksitas masalah. Setiap jawaban akan mengarah pada penyebab langsung dari jawaban sebelumnya, yang membantu menggali penyebab yang lebih mendalam. Setelah akar penyebab ditemukan, solusi yang tepat dapat dirancang dan diterapkan untuk mengatasi masalah secara permanen. Metode ini efektif dalam menghindari solusi sementara atau penanganan gejala, serta memastikan bahwa langkah-langkah perbaikan yang diambil benar-benar mengatasi masalah dari akarnya.

c. *Fishbone or Ishikawa diagram*

Diagram *Fishbone* atau *Ishikawa* adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memvisualisasikan berbagai kemungkinan penyebab dari suatu peristiwa utama. Teknik ini menunjukkan keterkaitan antara kejadian utama dengan berbagai faktor yang berkontribusi terhadapnya, membantu dalam memahami akar permasalahan secara sistematis.

Langkah ini bertujuan untuk menentukan akar penyebab masalah, bukan hanya gejalanya. Akar penyebab adalah faktor utama yang dapat menyebabkan masalah terjadi. Dengan menggunakan Teknik analisis yang tepat, penganalisa dapat menggali lebih dalam hingga mencapai akar penyebab yang sesungguhnya

4. Mengusulkan Tindakan

Setelah akar penyebab teridentifikasi, langkah terakhir adalah mengusulkan tindakan korektif atau preventif untuk mengatasi

masalah dan mencegah terulangnya kejadian serupa, seperti perubahan proses, perbaikan sistem, atau penggantian komponen rusak. Implementasi tindakan ini harus dipantau untuk memastikan efektivitasnya. Penerapan RCA membantu perusahaan memperbaiki masalah secara menyeluruh, mengurangi frekuensi kerusakan, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi risiko operasional di masa depan.