

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri semen merupakan salah satu sektor yang mempunyai peran signifikan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Saat ini, terdapat 16 perusahaan semen terintegrasi dengan total kapasitas produksi 120 juta ton per tahun, sehingga menempatkan Indonesia sebagai bagian dari produsen semen terbesar di Asia Tenggara. Pada tahun 2023 kebutuhan semen nasional tercatat hanya sekitar 66,8 juta ton, sementara volume ekspor semen mencapai sekitar 1,4 juta ton. Data ini menggambarkan kelebihan kapasitas produksi yang cukup besar, sehingga utilisasi rata-rata pabrik semen hanya sekitar 58% (Kemenperin, 2024). Kondisi *overcapacity* tersebut menimbulkan tantangan pemanfaatan kapasitas dalam negeri dan dampak makroekonomi terkait. Besarnya skala industri semen di Indonesia menjadikannya kontributor penting bagi kinerja sektor manufaktur.

Pada tingkat operasional, industri semen sering menghadapi masalah *downtime* mesin yang tinggi. Produksi semen berjalan secara berkelanjutan (24 jam sehari) sehingga kegagalan satu unit mesin dapat langsung menghentikan proses produksi seluruh pabrik. *Downtime* mesin didefinisikan sebagai waktu henti operasi akibat kerusakan atau perbaikan yang diperlukan untuk mengembalikan kondisi siap pakai. Waktu henti yang lama sangat merugikan industri secara material dan ekonomis, karena mengganggu efisiensi dan kontinuitas proses produksi. Dalam praktiknya, sistem pemeliharaan yang kurang terstruktur kerap gagal mencegah gangguan kritis, sehingga frekuensi *downtime* masih tinggi dan berimplikasi pada penurunan volume produksi dan kenaikan biaya pemeliharaan (Nugroho dkk., 2024).

PT Semen Bosowa Maros adalah salah satu produsen semen swasta nasional yang terbesar di Indonesia. Saat ini Bosowa Semen mengelola dua pabrik utama, yaitu: Pabrik Maros (Sulawesi Selatan) dengan kapasitas sekitar 4,2 juta ton semen per tahun dan Pabrik Banyuwangi (Jawa Timur) dengan kapasitas sekitar 1,8 juta ton. Bosowa memproduksi semen *Portland Type 1* (OPC), *Portland Pozzoland* (PPC), dan *Composite Portland* (PCC) sesuai dengan karakteristik pasar regional. Secara korporasi, Bosowa Semen merupakan bagian dari Bosowa Group dan menempati posisi keempat terbesar di industri semen domestik (Bosowasemen.co.id, 2025).

Proses produksi semen melibatkan mesin yang saling terintegrasi untuk menghasilkan produk dengan kualitas sesuai standar. Tahap awal dimulai dari *crusher* yang berfungsi menghancurkan batu kapur dan bahan baku lainnya menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga mudah diproses lebih lanjut. Material hasil penghancuran kemudian masuk ke *raw mill*, tempat penggilingan bahan mentah hingga menjadi *raw mix* dengan homogenitas yang baik sebelum diproses di *kiln*. Pada unit kiln, *raw mix* mengalami proses pembakaran pada suhu tinggi sehingga terbentuk *clinker* sebagai bahan setengah jadi semen. *Clinker* yang dihasilkan selanjutnya digiling pada *cement mill* bersama *gypsum* dan bahan tambahan lain. Proses terakhir dilakukan di *finish mill*, yang memastikan tingkat kehalusan dan kualitas akhir produk semen sebelum didistribusikan ke pasar. Rangkaian mesin

tersebut memiliki peranan vital, sehingga setiap kegagalan pada salah satu unit dapat mengganggu kontinuitas dan efektivitas produksi secara keseluruhan.

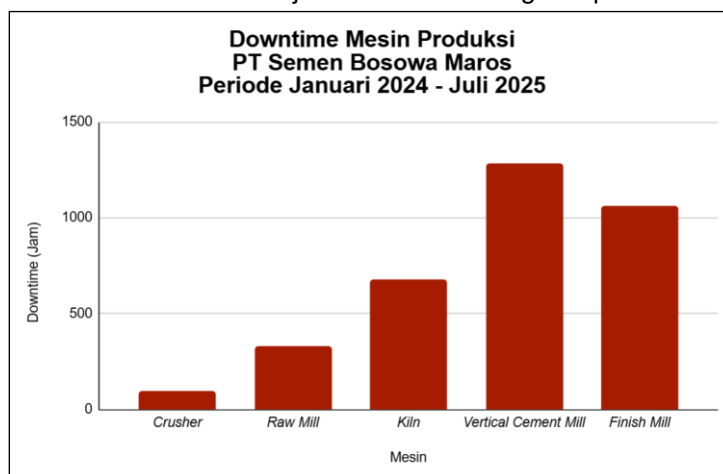
Pada PT Semen Bosowa Maros, mesin-mesin produksi masih sering mengalami *downtime* yang berdampak pada terhambatnya proses produksi dan menurunnya efektivitas peralatan. Perusahaan saat ini telah menerapkan kegiatan pemeliharaan yang terbagi dalam dua kegiatan yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan pada interval waktu dua minggu. Selain itu, *corrective maintenance* merupakan pemeliharaan yang terdiri dari pemeliharaan terjadwal (*planned maintenance*) dan pemeliharaan tidak terjadwal (*unplanned maintenance*). Walaupun kegiatan *maintenance* telah dilakukan, tercatat frekuensi kegagalan fungsi dalam hal ini terjadinya *corrective maintenance* (*unplanned maintenance*) pada mesin-mesin produksi PT Semen Bosowa Maros salah satunya mesin VCM masih terbilang tinggi. Berikut merupakan data *downtime* pada mesin produksi PT Semen Bosowa Maros periode Januari 2024-Juli 2025.

Tabel 1 Data *downtime* mesin produksi perusahaan

Mesin	Jumlah <i>Downtime</i> (Jam)
Crusher	91,60
Raw Mill	326,04
Kiln	674,11
Vertical Cement Mill (VCM)	1276,17
Finish Mill	1053,29

Sumber: PT Semen Bosowa Maros (2025)

Berdasarkan Tabel 1, data *downtime* mesin produksi PT Semen Bosowa Maros periode Januari 2024-Juli 2025 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Data *downtime* mesin produksi perusahaan
Sumber: PT Semen Bosowa Maros (2025)

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa total *downtime* mesin produksi terbesar terdapat pada mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) dengan total *downtime* sebesar 1276,17 jam. Tingginya *downtime* pada mesin VCM menunjukkan bahwa mesin ini memiliki tingkat kegagalan yang relatif tinggi sehingga berdampak langsung pada penurunan efektivitas peralatan dan berpotensi menghambat pencapaian target

produksi. Selain itu, posisi mesin VCM yang berada pada tahap akhir proses penggilingan menjadikan keandalannya sangat krusial, sebab setiap gangguan akan berimplikasi pada terhentinya aliran produk akhir produk semen. Oleh karena itu, analisis terhadap strategi perawatan yang tepat pada mesin VCM dinilai penting guna meningkatkan reliabilitas mesin, mengurangi *downtime*, serta memastikan kelancaran proses produksi. Karena hal tersebut, peneliti merasa perlu untuk melakukan penelitian terkait strategi pemeliharaan preventif mesin VCM pada PT Semen Bosowa Maros.

Menanggapi permasalahan downtime dan upaya optimalisasi sistem pemeliharaan, penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai pendekatan utama. RCM merupakan strategi pemeliharaan yang bertujuan mengoptimalkan program pemeliharaan dengan menetapkan tugas pemeliharaan yang tepat bagi setiap komponen kritis mesin. Melalui metode ini, setiap fungsi mesin dan mode kegagalannya dianalisis untuk menentukan jenis pemeliharaan paling efisien, baik berupa pemeliharaan preventif, prediktif, maupun berbasis kondisi. Identifikasi mode kegagalan dilakukan dengan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), sehingga kebijakan pemeliharaan yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik kerusakan pada masing-masing komponen. Selain menentukan interval pemeliharaan yang optimal, penelitian ini juga menghitung dan membandingkan biaya pemeliharaan preventif antara sistem perusahaan saat ini dengan biaya yang dihasilkan dari penerapan RCM. Hasil perhitungan biaya tersebut digunakan untuk menilai kelayakan ekonomi dari usulan strategi pemeliharaan, sehingga penerapan RCM tidak hanya menurunkan frekuensi kerusakan dan *downtime*, tetapi juga memberikan penghematan biaya bagi perusahaan.

Untuk memudahkan pemeliharaan mesin dan kelancaran proses produksi, diperlukan sistem pemeliharaan yang efektif dan efisien guna menekan biaya operasional. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan metode RCM sebagai kerangka kerja pemeliharaan preventif untuk mesin *Vertical Cement Mill* (VCM). Pendekatan ini diharapkan dapat menyempurnakan sistem pemeliharaan di PT Semen Bosowa Maros sehingga *downtime* berkurang dan proses produksi semakin optimal, sesuai judul penulis "ANALISIS PEMELIHARAAN PREVENTIVE MENGGUNAKAN METODE *REABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA MESIN PRODUKSI PABRIK SEMEN".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Apa saja komponen kritis pada mesin *Vertical Cement Mill* (VCM)?
- b. Bagaimana interval waktu pemeliharaan preventif mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) berdasarkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)?
- c. Bagaimana hasil perbandingan biaya pemeliharaan preventif usulan dengan sistem pemeliharaan preventif yang ada di PT Semen Bosowa Maros?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat ditetapkan tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi dan menganalisis komponen kritis pada mesin *Vertical Cement Mill* (VCM).
- b. Memberikan usulan terkait interval waktu pemeliharaan preventif mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) berdasarkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM).
- c. Membandingkan biaya pemeliharaan preventif usulan dengan sistem pemeliharaan preventif yang ada di PT Semen Bosowa Maros.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Fokus analisis pada penelitian ini adalah mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) pada PT Semen Bosowa Maros.
- b. Data yang diolah berdasarkan data kerusakan mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) pada periode Januari 2024-Juli 2025.
- c. Penelitian melibatkan unsur biaya perusahaan yang berhubungan dengan biaya pemeliharaan mesin produksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini ditujukan bagi beberapa pihak sebagai berikut:

- a. Bagi penulis
 Penelitian ini sebagai pemenuhan syarat administrasi kelulusan program Sarjana Strata 1 (S1) sekaligus sebagai wadah untuk mengaplikasikan dan menambah pengetahuan dan pemahaman keilmuan yang telah diperoleh selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Industri, Universitas Hasanuddin.
- b. Bagi perguruan tinggi
 Penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan dan referensi keperluan akademik, baik bagi pengembangan keilmuan Teknik Industri secara khusus, dan keilmuan lainnya secara umum.
- c. Bagi perusahaan
 Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi sekaligus menjadi bahan evaluasi bagi perusahaan terkait dengan strategi yang dapat diimplementasikan dalam melakukan pemeliharaan preventif PT Semen Bosowa Maros.

1.6 Kajian Teori

1.6.1 Mesin *Vertical Cement Mill* (VCM)

a. Gambaran umum

Vertical Cement Mill (VCM) merupakan salah satu peralatan utama dalam proses produksi semen yang berfungsi untuk menggiling bahan baku seperti *crinker*, *gypsum*, *lime stone*, pasir besi, maupun bahan adiktif menjadi ukuran partikel yang lebih halus sehingga sesuai dengan standar produk akhir perusahaan. VCM bekerja dengan prinsip penggilingan secara vertikal di mana material digiling oleh meja giling (*grinding table*) dan rol penggiling (*grinding rollers*) dengan bantuan gaya tekan hidrolik serta aliran udara panas untuk pengeringan. Sistem ini terintegrasi dengan berbagai komponen pendukung seperti *bucket elevator*, *belt conveyor*, *bag filter*, *fan*, serta peralatan bantu lainnya yang berfungsi mengalirkan material, menjaga kebersihan udara, dan mendukung kelancaran proses produksi. Keandalan mesin VCM sangat penting karena gangguan pada salah satu komponennya dapat memengaruhi kapasitas produksi dan kualitas semen yang dihasilkan. Berikut merupakan gambar dari mesin VCM pada perusahaan.



Gambar 2 Mesin *Vertical Cement Mill* (VCM)

Sumber: PT Semen Bosowa Maros (2025)

b. Komponen

1) *Air slide*

Air slide berfungsi sebagai alat transportasi material dengan memanfaatkan aliran udara bertekanan rendah. Komponen ini membantu distribusi material dari *bag filter* ke unit lainnya dengan efisiensi yang tinggi.

2) *Bucket elevator*

Bucket elevator berfungsi untuk mengangkat material secara vertikal dari bagian bawah menuju bagian atas sistem. Terdapat dua unit *bucket elevator* yang masing-masing mengangkut *clinker* dan bahan additional seperti *lime stone*, *gypsum*, dan bahan adiktif lainnya. Sub komponennya meliputi *buckets*,

chain, *chute BE*, dan *drive unit BE*. *Buckets* berfungsi membawa material, *chain* sebagai penggerak, *chute* sebagai jalur masuk dan keluar material, serta *drive unit* sebagai sumber tenaga penggerak *bucket elevator*.

3) *Belt conveyor*

Belt conveyor berfungsi untuk mengangkut material secara horizontal maupun miring. Terdapat beberapa *belt elevator* ada yang mengangkut material ke *vertical mill* dan ada juga yang dikembalikan ke *bucket elevator*. Sub komponennya terdiri dari *belt*, *chute BC*, *drive pulley*, dan *drive unit BC* yang memastikan kelancaran transportasi material ke unit berikutnya.

4) *Bag filter*

Bag filter merupakan unit pengendali polusi udara yang berfungsi menyaring partikel debu hasil proses penggilingan. Komponen ini hampir terdapat pada setiap komponen mesin VCM lainnya. Sub komponennya meliputi *drive unit BF*, *fan aeration*, *filter*, dan *solenoid*. Sistem ini memastikan udara yang keluar dari proses penggilingan memenuhi standar emisi lingkungan.

5) *Damper*

Damper berfungsi sebagai pengatur aliran udara dalam sistem mesin VCM, baik untuk mengatur jumlah udara yang masuk maupun yang keluar sehingga kondisi operasi tetap stabil dan efisien.

6) *Fan*

Fan berfungsi untuk menghasilkan aliran udara yang dibutuhkan dalam proses pengeringan material di dalam mesin VCM. Selain itu, terdapat juga *fan* pada beberapa komponen mesin VCM yang berfungsi untuk mendinginkan komponen. Sub komponennya terdiri dari *casing*, *impeller*, dan *motor FN*.

7) *Two way gate*

Two way gate merupakan komponen pengarah aliran material yang dapat membagi atau mengarahkan material ke dua jalur berbeda sesuai kebutuhan proses produksi. Komponen ini terdapat pada aliran *clinker* yang memisahkan material ke *reject bin* atau *vertical mill*.

8) *Hot gas generator*

Hot gas generator berfungsi menghasilkan gas panas yang digunakan dalam proses pengeringan material di dalam *vertical mill*.

9) *Metal detector*

Metal detector berfungsi untuk mendeteksi adanya benda logam asing yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen penggilingan seperti *grinding rollers* dan *grinding table* mesin VCM. Komponen ini terletak pada ujung *belt conveyor* pada aliran material *clinker*.

10) *Pin gate*

Pin gate berfungsi sebagai pengatur aliran material masuk menuju unit berikutnya, dengan sistem buka tutup yang dapat dikontrol sesuai kebutuhan proses produksi.

11) *Rotary feeder*

Rotary feeder berfungsi mengatur laju aliran material yang masuk ke *vertical mill* dan aliran material yang keluar dari *bag filter* agar lebih stabil dan sesuai kapasitas produksi mesin VCM.

12) *Rotary scale*

Rotary scale berfungsi untuk menimbang material secara kontinu, sehingga jumlah material yang masuk ke sistem penggilingan dapat dipantau dan dikontrol dengan baik.

13) *Vertical mill*

Vertical mill merupakan inti dari sistem penggilingan semen. Sub komponennya terdiri dari *classifier*, *grinding table*, *grinding rollers*, dan *motor RM*. *Classifier* berfungsi memisahkan partikel sesuai ukuran, *grinding table* dan *grinding rollers* melakukan proses penggilingan, sedangkan motor RM menyediakan tenaga penggerak utama.

14) *Shut of gate*

Shut of gate berfungsi menghentikan atau membuka aliran material secara total pada jalur tertentu, biasanya digunakan untuk keperluan perawatan maupun pengaturan aliran material. Komponen ini terletak pada bagian bawah *bag filter* tepatnya setelah komponen *air slide*

15) *Water spray*

Water spray berfungsi menyemprotkan air ke dalam *vertical mill* untuk mengendalikan temperatur proses penggilingan. Sub komponennya terdiri dari *nozzle* sebagai pengatur distribusi semprotan dan *pump* sebagai penggerak aliran air.

1.6.2 Pemeliharaan

Pemeliharaan didefinisikan sebagai suatu kombinasi dari seluruh tindakan teknis, administratif, dan manajerial yang dilakukan selama siklus hidup suatu peralatan, yang bertujuan untuk mempertahankan atau mengembalikan peralatan tersebut ke kondisi yang mampu menjalankan fungsi sebagaimana mestinya. Kegiatan pemeliharaan memiliki peran yang sangat penting karena berpengaruh terhadap berbagai proses dalam perusahaan dan berpotensi besar dalam mendukung tercapainya keberlanjutan proses produksi. Proses pemeliharaan tidak hanya berdampak pada kondisi teknis aset dan peralatan seperti keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*), tetapi juga berkaitan dengan aspek keberlanjutan, seperti keselamatan kerja, dampak lingkungan, serta efisiensi sumber daya. Pemeliharaan yang tidak efektif dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, baik secara ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Dengan demikian, penerapan sistem pemeliharaan yang tepat tidak hanya penting untuk menjaga keandalan peralatan, tetapi juga menjadi faktor kunci dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasi industri manufaktur secara keseluruhan (Franciosi dkk., 2021).

Menurut Moleda dkk. (2023), terdapat tiga jenis pemeliharaan yaitu, pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*), pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*), dan pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*).

a. Pemeliharaan korektif (*Corrective maintenance*)

Pemeliharaan korektif merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadinya kegagalan atau kerusakan pada suatu peralatan. Pendekatan ini berfokus pada tindakan perbaikan setelah terjadi kerusakan dengan tujuan untuk meminimalkan biaya perawatan serta memperpanjang interval waktu antar kegiatan pemeliharaan. Namun demikian, penerapan pemeliharaan korektif juga memiliki risiko yang cukup tinggi terhadap ketersediaan (*availability*) peralatan karena tindakan dilakukan setelah kerusakan terjadi. Dampak negatif dari penerapan pemeliharaan korektif dapat berupa hilangnya pendapatan akibat berhentinya proses produksi, meningkatnya biaya perbaikan karena kerusakan meluas ke komponen lain, serta bertambahnya waktu dan biaya perbaikan akibat *downtime* yang tidak terencana.

b. Pemeliharaan preventif (*Preventive maintenance*)

Pemeliharaan preventif merupakan jenis kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dengan tujuan untuk mencegah terjadinya *downtime* yang tidak terencana melalui inspeksi dan penggantian komponen secara periodik. Interval waktu pelaksanaan pemeliharaan preventif umumnya ditentukan berdasarkan rekomendasi pabrikan, analisis data historis, atau parameter keandalan. Melalui penerapan pemeliharaan preventif, kondisi peralatan dapat terjaga dengan baik dan risiko kerusakan dapat diminimalkan. Namun demikian, metode ini tidak sepenuhnya dapat mencegah terjadinya kegagalan tak terduga pada komponen yang tidak termasuk dalam jadwal perawatan. Selain itu, penggantian komponen terlalu sering juga tidak selalu efektif karena dapat menimbulkan risiko tambahan seperti kesalahan pemasangan atau cacat tersembunyi pada suku cadang baru yang justru dapat memperpendek umur pakai mesin. Risiko kerusakan juga cenderung lebih tinggi pada fase awal penggunaan (*start-up period*), kemudian menurun, dan kembali meningkat seiring dengan terjadinya keausan komponen. Oleh karena itu, perencanaan jadwal pemeliharaan preventif harus mempertimbangkan keseimbangan antara keandalan dan biaya perawatan.

c. Pemeliharaan prediktif (*Predictive maintenance*)

Pemeliharaan prediktif merupakan strategi pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual peralatan dengan tujuan untuk melakukan tindakan perawatan hanya ketika diperlukan, biasanya sesaat sebelum terjadi kegagalan. Inti dari pendekatan ini adalah memprediksi kondisi kesehatan mesin melalui analisis berulang terhadap data historis dan parameter operasi yang diketahui. Penerapan metode ini bertujuan untuk mengurangi *downtime* baik yang terencana (*planned downtime*) maupun yang tidak terencana (*unplanned downtime*). *Planned downtime* mengacu pada kegiatan perawatan yang dapat dijadwalkan dengan lebih efisien, sedangkan *unplanned downtime* berkaitan dengan kegagalan tak terduga yang dapat dicegah melalui pemantauan kondisi mesin secara kontinu.

1.6.3 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

a. Pengertian RCM

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah pendekatan terstruktur dalam perencanaan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan memberikan prioritas pada tugas pemeliharaan. RCM dikembangkan di industri pesawat terbang sejak tahun 1960-an dan telah diadaptasi dalam industri lain maupun militer. RCM digambarkan sebagai proses untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar aset fisik terus melakukan apa yang diinginkan oleh penggunaannya. RCM menghasilkan peningkatan yang cepat, berkelanjutan, dan signifikan dalam ketersediaan dan kehandalan pabrik, kualitas produk, keselamatan, dan integritas lingkungan. RCM digunakan ketika kehandalan penting dan konsekuensi kegagalan itu penting (Supriyadi dan Ayuni, 2023). Penerapan RCM diharapkan mampu menghasilkan efisiensi dalam kegiatan pemeliharaan dengan mengurangi jumlah pemeliharaan terjadwal yang tidak perlu, menghilangkan kegiatan perawatan yang tidak efektif, serta menurunkan frekuensi penggantian dan perombakan komponen. Selain itu, RCM mendorong penerapan inspeksi berdasarkan kondisi teknis aktual dari komponen sehingga tindakan pemeliharaan dapat lebih tepat sasaran dan berbasis kebutuhan nyata peralatan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga mendukung prinsip *sustainable maintenance* melalui pengurangan pemborosan sumber daya, biaya operasional, serta dampak lingkungan akibat aktivitas pemeliharaan yang berlebihan (Patil dkk., 2022).

b. Prinsip-prinsip RCM

Pendekatan RCM terdiri atas tujuh elemen utama yang saling berkaitan, yaitu konteks operasional dan fungsi, kegagalan fungsional, mode kegagalan, efek kegagalan, konsekuensi kegagalan, tugas proaktif, serta tindakan *default*. Elemen-elemen tersebut membentuk kerangka kerja analitis dalam menentukan prioritas dan jenis kegiatan pemeliharaan yang diperlukan. Analisis RCM dimulai dengan mendefinisikan fungsi dan kegagalan fungsional dari aset, kemudian mengidentifikasi penyebab serta dampak kegagalan pada tingkat lokal, sistem, maupun pabrik secara keseluruhan. Selanjutnya, dilakukan klasifikasi konsekuensi kegagalan yang mencakup aspek tersembunyi, keselamatan dan lingkungan, operasional, serta non-operasional. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dipilih tugas-tugas proaktif seperti *scheduled restoration*, *scheduled discard*, dan *on-condition tasks* untuk mencegah kegagalan fungsional. Jika tidak ditemukan tindakan pencegahan yang efektif, maka diambil *default actions* seperti *failure-finding tasks*, perancangan ulang, atau keputusan *no scheduled maintenance*. Dengan demikian, RCM memberikan kerangka sistematis untuk menentukan kebijakan pemeliharaan yang paling efisien, aman, dan sesuai dengan karakteristik aset industri (Wicaksono dkk., 2021).

c. Tahapan RCM

Menurut Rudiana dkk. (2024), secara umum tahapan dalam menggunakan RCM adalah sebagai berikut.

- 1) Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi, yang dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria seperti sistem yang mempunyai frekuensi *preventive* atau *corrective maintenance* yang tinggi, dan berpengaruh besar terhadap kelancaran proses pada lingkungannya serta keselamatan.
- 2) Definisi batasan sistem, berfungsi untuk mengetahui apa yang termasuk dan tidak termasuk dalam sistem yang diamati.
- 3) Deskripsi sistem dan *Functional Block Diagram* (FBD) merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut.
- 4) Penentuan fungsi dan kegagalan fungsional, dimana fungsi merupakan kinerja yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi. sedangkan *functional failure* merupakan ketidakmampuan suatu komponen atau sistem dalam memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.
- 5) *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), disusun berdasarkan fungsi komponen dan laporan maintenance yang kemudian dapat ditentukan berbagai penyebab kegagalan yang menimbulkan kegagalan fungsi serta dampak yang diakibatkan dari kegagalan fungsi tersebut.
- 6) Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA), proses kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*.
- 7) Menentukan tindakan yang tepat untuk setiap kegagalan yang terjadi (*Task selection*).

1.6.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah teknologi yang dirancang untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial pada suatu proses sebelum terjadi, dengan mempertimbangkan risiko yang berkaitan dengan mode kegagalan tersebut serta efeknya. Tujuan utama dari FMEA adalah untuk mengidentifikasi kegagalan yang potensial, mengevaluasi penyebab dan dampaknya serta menentukan hal apa yang dapat mengurangi potensi terjadinya kegagalan yang berisiko tinggi. Hasil dari identifikasi bahaya menggunakan metode FMEA yaitu berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN), kemudian akan diketahui komponen mana yang memiliki nilai RPN paling tinggi. Semakin tinggi nilai RPN, maka semakin tinggi pula kemungkinan produk, mesin, atau alat mengalami kegagalan. RPN dapat dihitung dengan rumus berikut (Kusnandar dkk., 2024).

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Keterangan:

RPN = *Risk Priority Number*

S = *Severity* (tingkat risiko)

O = *Occurrence* (probabilitas risiko)

D = *Detection* (penanganan risiko)

Terdapat tiga komponen untuk mengetahui nilai RPN berdasarkan analisis FMEA, yaitu:

a. *Severity* (Keparahan)

Severity adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek kerusakan. *Severity* dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak potensial terburuk yang diakibatkan. *Severity* tersusun atas angka 1 hingga 10, dimana kriteria penentuan *severity* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Kriteria dan skala *severity*

Skala	<i>Severity</i>	Keterangan
1	Tidak ada efek	Tidak memiliki efek yang terlihat
2	Sangat kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
4	Sangat rendah	Efek yang kecil pada performa sistem
5	Rendah	Mengalami penurunan kinerja secara bertahap
6	Sedang	Beroperasi dan aman tetapi mengalami penurunan performa
7	Tinggi	Sistem beroperasi tetapi tidak dapat diajalankan secara penuh
8	Sangat Tinggi	Sistem Tidak beroperasi
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya dengan peringatan
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan sistem yang menghasilkan efek berbahaya tanpa peringatan

Sumber: Amalia dkk. (2022)

b. *Occurence* (Frekuensi kejadian)

Occurence adalah tingkat keseringan terjadinya kerusakan atau kegagalan. *Occurence* berhubungan dengan estimasi jumlah kegagalan kumulatif yang muncul akibat suatu penyebab tertentu pada mesin. *Occurence* tersusun atas angka 1 hingga 10, dimana kriteria penentuan *occurence* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Kriteria dan skala *occurance*

Skala	<i>Occurance</i>
1	Tidak pernah sama sekali
2	< 5% per total jumlah kerusakan mesin
3	5 - 10% per total jumlah kerusakan mesin
4	11 - 14% per total jumlah kerusakan mesin
5	15 - 20% per total jumlah kerusakan mesin
6	21 - 25% per total jumlah kerusakan mesin
7	26 - 30% per total jumlah kerusakan mesin
8	31 - 35% per total jumlah kerusakan mesin
9	35 - 50% per total jumlah kerusakan mesin
10	Lebih besar dari 50% per total jumlah kerusakan mesin

Sumber: Simanungkalit dkk. (2022)

c. *Detection* (Deteksi)

Detection diberikan pada sistem pengendalian yang digunakan saat ini yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi penyebab atau mode kegagalan. *Detection* tersusun atas angka 1 hingga 10, dimana kriteria penentuan *detection* dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Kriteria dan skala *detection*

Skala	<i>Detection</i>	Keterangan
1	Hampir pasti	Terlihat jelas, sangat mudah pengendalian
2	Sangat mudah	Sangat mudah dideteksi, mudah dikendalikan
3	Mudah	Mudah dideteksi, mudah dikendalikan
4	Cukup mudah	Cukup mudah dideteksi, dapat dikendalikan
5	Sedang	Dapat dideteksi, dapat dikendalikan
6	Normal	Dapat dideteksi dengan usaha ekstra, dapat dikendalikan dengan usaha ekstra
7	Cukup susah	Cukup susah dideteksi, cukup susah kendalikan
8	Susah	Susah dideteksi, susah dikendalikan
9	Sangat susah	Sangat susah untuk mendeteksi risiko, sangat susah dikendalikan
10	Hampir tidak mungkin	Pasti tidak dapat terdeteksi/tidak dapat terkontrol

Sumber: Kusnandar dkk. (2024)

1.6.5 Logic Tree Analysis (LTA)

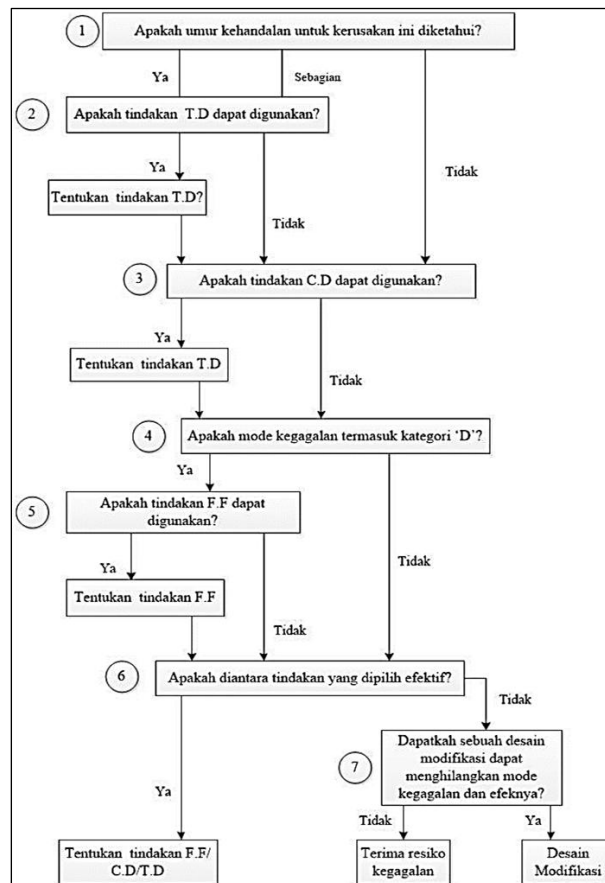
Menurut Simanungkalit dkk. (2022), menyatakan bahwa penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*. Tujuan LTA yaitu mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya. Analisis ini mengandung informasi mengenai nomor dan nama kegagalan fungsi, nomor dan mode kerusakan, analisis kekritisian, dan keterangan tambahan yang dibutuhkan. Empat hal yang penting dalam analisis kekritisian yaitu sebagai berikut:

- Evident*, yaitu apakah operator mengetahui dalam kondisi normal, telah terjadi gangguan dalam sistem?
- Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
- Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin terhenti?
- Category*, yaitu pengkategorian yang diperoleh setelah menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan. Pada bagian ini komponen terbagi dalam 4 kategori, yakni:

- 1) Kategori A (*Safety problem*), jika menyebabkan masalah keselamatan pekerja
- 2) Kategori B (*Outage problem*), jika kegagalan menyebabkan seluruh atau sebagian mesin berhenti beroperasi
- 3) Kategori C (*Economic problem*), jika kegagalan menyebabkan masalah ekonomi terhadap perusahaan.
- 4) Kategori D (*Hidden failure*), jika pekerja tidak mengetahui adanya kegagalan mesin pada saat kondisi normal.

1.6.6 Task Selection

Task selection atau pemilihan tindakan merupakan metode yang berfungsi untuk menentukan jenis perawatan yang sesuai dengan jenis kegagalan. Proses ini bertujuan memberikan tindakan perawatan yang tepat berdasarkan mode kegagalan yang terjadi. Tujuan *task selection* yaitu untuk menetapkan *maintenance strategy* yang dapat diterapkan serta memilih *task* yang paling tepat untuk setiap mode kegagalan. Gambar 3 berikut menggambarkan proses pengambilan keputusan pada tahap *task selection* metode RCM.



Gambar 3 Proses *task selection*

Sumber: Prabowo dkk. (2020)

Menurut Ramadhani dan Putra (2022), *task selection* terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- Condition Derect* (CD), tindakan perawatan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual mesin atau komponen melalui pengecekan dan inspeksi. Jika hasil inspeksi menunjukkan indikasi kerusakan, maka dilakukan perbaikan komponen.
- Time Deredected* (TD), tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan berdasarkan waktu atau umur komponen.
- Finding Failure* (FF), tindakan perawatan yang dilakukan untuk menemukan kerusakan tersembunyi melalui pemeriksaan berkala, sehingga potensi kegagalan dapat segera diidentifikasi.

1.6.7 Mean Time to Repair (MTTR) dan Mean Time to Failure (MTTF)

Mean Time To Repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap suatu alat atau mesin produksi. MTTR mencakup seluruh durasi mulai saat alat atau mesin mengalami kerusakan hingga kembali beroperasi normal. Perhitungan nilai MTTR digunakan untuk mengetahui lamanya proses perbaikan sehingga jika nilai MTTR tinggi maka akan berpengaruh terhadap penurunan produktivitas produksi. Selain itu, *Mean Time To Failure* (MTTF) adalah waktu rata-rata terjadinya kegagalan atau kerusakan pertama pada suatu komponen atau mesin sejak mulai beroperasi hingga terjadi kegagalan. Nilai MTTF memberikan gambaran tingkat keandalan (*reliability*) mesin, semakin besar nilai MTTF menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki umur pakai yang lebih panjang sebelum mengalami kerusakan. Dalam analisis keandalan, perhitungan MTTR dan MTTF biasanya didasarkan pada parameter distribusi waktu kerusakan yang sesuai dengan menggunakan rumus masing-masing distribusi untuk memperoleh nilai rata-rata yang akurat. Berikut ini rumus yang dapat digunakan untuk menentukan MTTR dan MTTF berdasarkan distribusinya (Lelu & Setiafindari, 2023).

- Distribusi Normal

$$MTTR/MMTF = \mu \quad (2)$$

- Distribusi Lognormal

$$MTTR/MTTF = tmed \cdot e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} \quad (3)$$

- Distribusi Eksponensial

$$MTTR/MTTF = \frac{1}{\lambda} = \mu \quad (4)$$

- Distribusi Weibull

$$MTTR/MTTF = s \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (5)$$

Keterangan:

μ = Mean

tmed = Median

e = Bilangan euler (2,718)

s = Scale

λ = Failure rate

β = Shape

Γ = Fungsi gamma

1.6.8 Biaya pemeliharaan

Biaya pemeliharaan didefinisikan sebagai seluruh pengeluaran yang diperlukan untuk menjaga kondisi dan kinerja peralatan produksi agar tetap beroperasi sesuai standar yang ditetapkan. Biaya ini meliputi penggantian suku cadang, tenaga kerja perawatan seperti mekanik dan operator, biaya inspeksi berkala, serta kerugian akibat *downtime* selama proses pemeliharaan berlangsung. Biaya pemeliharaan dapat dikategorikan menjadi biaya preventif dan biaya korektif. Pemeliharaan preventif dilakukan secara terencana untuk mencegah kerusakan sehingga membutuhkan jadwal dan pengeluaran rutin, sedangkan pemeliharaan korektif dilakukan setelah terjadi kegagalan yang umumnya menimbulkan biaya lebih besar akibat kerusakan mendadak dan kehilangan produksi. Berikut rumus yang digunakan dalam perhitungan biaya (Azwir dkk., 2020).

$$TC = P + (D \times U) + (PL \times D \times PC) \quad (6)$$

Keterangan:

P = Harga komponen (Rp)

D = Total *downtime* (Jam)

U = Upah per jam/Biaya tenaga kerja per jam (Rp)

PL = *Production loss*/Biaya kerugian produksi (Rp/Jam)

PC = *Production capacity*/Kapasitas produksi (Ton)

1.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan upaya yang dilakukan peneliti untuk mencari perbandingan referensi untuk penelitian yang akan datang. Pada bagian ini, peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut ini adalah penelitian-penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik yang dikaji oleh penulis.

Tabel 5 Penelitian terdahulu

No.	Tahun	Peneliti	Metode	Hasil
1.	2021	Trio Yonathan Teja Kusuma, Muhammad Khaedzar Assagaf, dan Fidia Deny Tisna Amijaya	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> (FMEA dan RCM II <i>Decission Worksheet</i>) dan <i>Age Replacement</i>	Berdasarkan analisis didapatkan bahwa perawatan yang sesuai dengan komponen kritis Mesin Induksi adalah <i>scheduled on conditional task</i> , <i>scheduled discard task</i> , dan <i>scheduled restoration task</i> . Selain itu, diperoleh juga interval waktu preventif <i>maintenance</i> untuk komponen SCR 294 jam, kawat nilkin 451 jam, kabal anaconda 397 jam, dan <i>clamping</i> 617 jam. Penerapan RCM II dan <i>Age Replacement</i> dapat menghemat biaya perawatan hingga 28%.

No.	Tahun	Peneliti	Metode	Hasil
2.	2021	Karina Sarinastiti Mirza	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (FMECA, Simulasi Monte Carlo, dan <i>Analysis Benefit Cost</i>)	Berdasarkan analisis didapatkan bahwa secara berurutan tindakan perawatan yang sesuai, interval perawatan, dan penurunan biaya perawatan pada komponen kritis LRT SUMSEL, yaitu <i>clearguard ACM250</i> dengan <i>combination of task, scheduled condition</i> , serta <i>finding failure</i> setiap 25 hari menghemat Rp238.842,53, <i>trackhead sensor</i> dengan <i>combination of task</i> setiap 11 hari menghemat Rp150.982,19, serta motor wesel dengan <i>combination of task</i> dan <i>scheduled condition</i> setiap 8 hari menghemat Rp102.069,24.
3.	2022	Arif Budi Sulistyo dan Sibro Muhlis	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (FMEA dan LTA)	Berdasarkan analisis didapatkan bahwa secara berurutan tindakan perawatan yang sesuai, interval perawatan, dan persentase penghematan biaya perawatan pada komponen kritis Mesin <i>Overhead Crane</i> , yaitu <i>photoelectric sensor</i> dengan <i>conditional directed</i> setiap 32,86 jam menghemat 69,74%, <i>road pin</i> dan <i>touch bar</i> dengan <i>conditional directed</i> setiap 143,88 jam menghemat 72,39%, dan <i>cable connector plus</i> dengan <i>time directed</i> setiap 264,44 jam menghemat 12,58%.
4.	2023	Joko Tri Juwandono dan Jaka Purnama	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (FMEA, LTA, <i>Task Selection</i> , dan <i>Availability</i>) dan <i>Age Replacement</i>	Berdasarkan analisis didapatkan bahwa secara berurutan interval waktu pemeriksaan dan penggantian komponen kritis Mesin <i>Plant Printing</i> , yaitu <i>bearing</i> sebesar 82 menit dan 23000 menit, <i>vanbelt</i> sebesar 65 menit dan 49000 menit, serta <i>impression roller</i> sebesar 67 menit dan 47000 menit.

No.	Tahun	Peneliti	Metode	Hasil
				Penerapan RCM dan <i>Age Replacement</i> meningkatkan <i>availability</i> hingga 98%.
5.	2025	Devita Chrestian Maritha, Ary Arvianto, dan Singgih Saptadi	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (FMEA, LTA, dan <i>Task Selection</i>) dan <i>Age Replacement</i>	Berdasarkan analisis didapatkan bahwa sistem pemeliharaan yang optimal digunakan pada Mesin <i>Oven</i> dapat menurunkan biaya pemeliharaan sebesar 26,749%, peningkatan keandalan sebesar 30,249%, penurunan <i>downtime</i> sebesar 315,006 menit, dan meningkatkan <i>availability</i> sebesar 0,068 dari sistem pemeliharaan perusahaan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Semen Bosowa Maros, Desa Baruga, Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan pada 4 Agustus hingga 30 September 2025.

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) di PT Semen Bosowa Maros yang merupakan mesin dalam proses produksi semen.

2.3 Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini berasal dari data primer dan data sekunder. Berikut merupakan rincian sumber perolehan data penelitian.

a. Data primer

Data yang diperoleh dengan cara mengamati secara langsung serta melakukan wawancara terhadap karyawan yang terlibat secara langsung. Adapun data yang dibutuhkan, yaitu alur produksi perusahaan, jadwal *maintenance*, komponen mesin, sub komponen mesin, waktu kerusakan, tanggal kerusakan, lama *downtime*, harga komponen, gaji tenaga kerja operator, dan mekanik perusahaan.

b. Data sekunder

Data yang diperoleh dengan studi pustaka sebagai bahan untuk melengkapi penelitian yang meliputi artikel ilmiah, buku, maupun sumber lain mengenai konsep pemeliharaan preventif, RCM, dan biaya pemeliharaan.

2.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini berupa studi literatur, observasi, dan wawancara. Berikut merupakan rincian metode pengumpulan data penelitian.

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan melakukan studi pustaka pada buku-buku referensi, artikel ilmiah, ataupun data Divisi *Mechanical*, *Electrical*, dan *Production* PT Semen Bosowa Maros yang terkait dengan tema tugas akhir yang diangkat.

b. Observasi

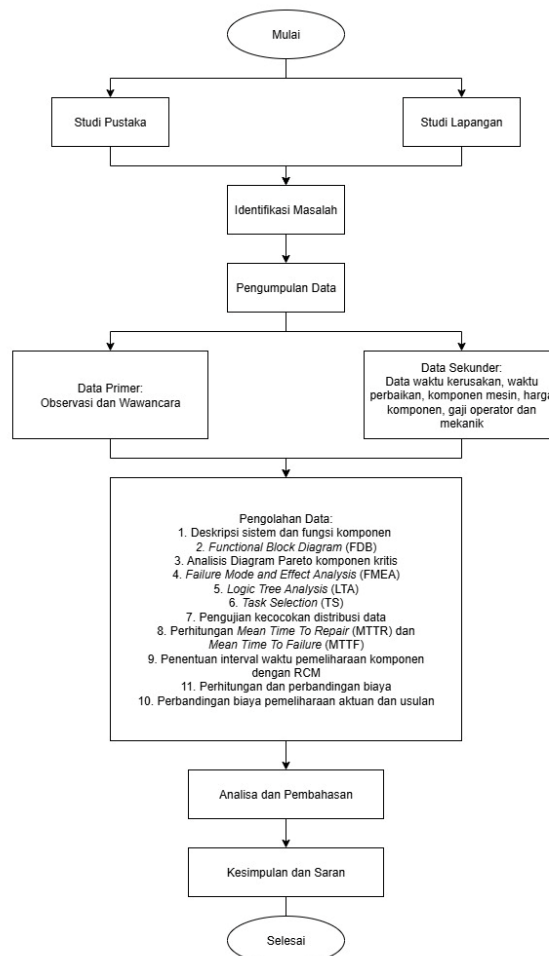
Observasi dilakukan dengan mengamati keadaan aktual, proses pemeliharaan, dan komponen-komponen mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) PT Semen Bosowa Maros.

c. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan bertanya kepada pekerja Divisi *Mechanical*, *Electrical*, dan *Production* PT Semen Bosowa Maros untuk memperoleh informasi mengenai pemeliharaan preventif perusahaan, penyebab kerusakan komponen mesin, dan jenis pemeliharaan preventif yang dapat dilakukan pada komponen mesin.

2.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



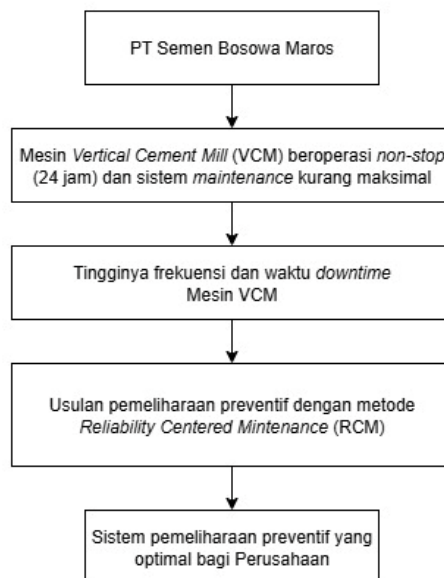
Gambar 4 Diagram alir penelitian
Sumber: Penulis (2025)

Alur penelitian ini dimulai dengan tahap studi pustaka dan studi lapangan yang bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan gambaran kondisi aktual mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) di PT Semen Bosowa Maros. Selanjutnya dilakukan identifikasi masalah untuk menentukan fokus penelitian, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data yang mencakup data primer berupa hasil observasi langsung dan wawancara dengan pekerja perusahaan, serta data sekunder berupa catatan waktu kerusakan, waktu perbaikan, daftar komponen mesin, harga komponen, dan gaji tenaga kerja (operator dan mekanik). Data yang terkumpul kemudian diolah melalui beberapa tahapan, antara lain: deskripsi sistem dan fungsi komponen, penyusunan *Functional Block Diagram* (FDB), analisis Diagram Pareto untuk menentukan komponen kritis, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi

mode kegagalan, *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk menentukan jenis tindakan perawatan, serta *Task Selection* (TS) untuk pemilihan tugas pemeliharaan preventif yang tepat. Setelah itu dilakukan pengujian kecocokan distribusi data dengan bantuan *software* Minitab 22, perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR) dan *Mean Time To Failure* (MTTF), serta penentuan interval waktu pemeliharaan optimal dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Tahap akhir mencakup perhitungan dan perbandingan biaya pemeliharaan aktual perusahaan dengan biaya pemeliharaan hasil usulan, sebelum kemudian dilakukan analisis dan pembahasan, serta penyusunan kesimpulan dan saran penelitian. Seluruh tahapan tersebut disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

2.6 Kerangka Pikir

Kerangka pikir merupakan landasan pemikiran yang mendasari penelitian sebagai bentuk pemecahan masalah yang dihadapi dalam penelitian. Gambar 5 berikut ini merupakan kerangka pikir dalam penelitian ini.



Gambar 5 Kerangka pikir
Sumber: Penulis (2025)

Berdasarkan kerangka pikir penelitian pada Gambar 5, diketahui bahwa mesin *Vertical Cement Mill* (VCM) di PT Semen Bosowa Maros beroperasi secara non-stop selama 24 jam, namun sistem *maintenance* yang diterapkan masih kurang optimal. Kondisi ini menyebabkan tingginya frekuensi kerusakan serta lamanya waktu *downtime* yang berpengaruh terhadap kelancaran produksi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai dasar penentuan tindakan pemeliharaan preventif yang lebih tepat sasaran, sehingga diharapkan mampu menghasilkan sistem pemeliharaan preventif yang optimal bagi perusahaan.