

**OPTIMALISASI *PREVENTIVE MAINTENANCE* MESIN *BALL MILL*  
MENGUNAKAN METODE *MODULARITY DESIGN*  
(STUDI KASUS PT. BUMI SARANA BETON)**



**RIZKI ANANDA  
D071201037**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**OPTIMALISASI *PREVENTIVE MAINTENANCE* MESIN *BALL MILL*  
MENGUNAKAN METODE *MODULARITY DESIGN*  
(STUDI KASUS PT. BUMI SARANA BETON)**

**RIZKI ANANDA  
D071201037**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**OPTIMALISASI *PREVENTIVE MAINTENANCE* MESIN *BALL MILL*  
MENGUNAKAN METODE *MODULARITY DESIGN*  
(STUDI KASUS PT. BUMI SARANA BETON)**

Disusun dan diajukan oleh:

**RIZKI ANANDA  
D071201037**

Skripsi  
Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana  
Program Studi Teknik Industri

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2024**

**SKRIPSI**  
**OPTIMALISASI *PREVENTIVE MAINTENANCE* MESIN *BALL MILL***  
**MENGGUNAKAN METODE *MODULARITY DESIGN***  
**(STUDI KASUS PT. BUMI SARANA BETON)**

**RIZKI ANANDA**  
**D071201037**

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 20 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

Program Studi Teknik Industri  
Departemen Teknik Industri  
Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Gowa

Mengesahkan:  
Pembimbing tugas akhir,



Dr. Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng  
NIP. 19660128 199103 2 003

Mengetahui:  
Ketua Program Studi



Ir. Kifayah Amar, ST., M.Sc., Ph.D., IPU  
NIP. 19740621 200604 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyetakan skripsi berjudul "Optimalisasi *Preventive Maintenance* Mesin *Ball Mill* menggunakan Metode *Modularity Design* (Studi Kasus: PT. Bumi Sarana Beton)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Univeristas Hasanuddin.

Makassar, 20 Agustus 2024



Rizki Ananda  
NIM D071201037

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan nikmat-Nya pelaksanaan penyusunan dan penulisan Penelitian Skripsi dengan Judul “**Optimalisasi Preventive Maintenance Mesin Ball Mill Menggunakan Metode Modularity Design (Studi Kasus PT. Bumi Sarana Beton)**” dapat diselesaikan. Walaupun dalam pelaksanaannya terdapat beberapa hambatan dalam penyusunan penelitian ini, namun hal tersebut dapat teratasi. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana (S.T) pada Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat banyak kesulitan dan hambatan. Namun, berkat bimbingan dari berbagai pihak, rintangan yang dihadapi oleh penulis dapat teratasi dengan baik. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas berkah dan rahmatnya yang tidak putus kepada penulis sehingga penulis memiliki kepercayaan dan semangat dalam menyusun skripsi.
2. Kedua orang tua saya Bapak Buahari Supu & Ibu Suriana yang selalu mengusahakan pendidikan setinggi-tingginya untuk anaknya, terima kasih telah menemani, mendukung serta mendoakan dalam setiap langkah yang penulis ambil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Terima kasih kepada saudara saya (Kak Eka, Kak Syahid, dan Kak Wawan) atas kepercayaan, dukungan bahkan apresiasi yang diberikan sejak penulis menetapkan untuk memilih program studi Teknik Industri.
3. Ibu Ir. Kifayah Amar, ST., M.Sc., Ph.D., IPU selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan meluangkan waktunya selama proses penyusunan skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dari awal hingga selesai.
5. Bapak Ir. Armin Darmawan, ST., MT., Ph.D., IPM dan Ibu Ir. A. Besse Riyani Indah, ST., MT., IPM selaku dosen penguji yang senantiasa memberikan saran dan masukan dalam perbaikan tugas akhir penulis.
6. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Segenap pimpinan PT. Bumi Sarana Beton serta seluruh karyawan khususnya kepada Pak Abi, Pak Iwan Soma, Kak Ilham, Pak Karim, dan Pak Basri yang telah mengizinkan penulis dengan senang hati untuk melakukan penelitian pada perusahaan dan telah membantu penulis dalam memberikan informasi yang dibutuhkan dalam menyusun skripsi ini.
8. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2020 (RE20URCE) yang selalu membersamai penulis baik suka maupun duka dan selalu memberikan bantuan serta dorongan semangatnya selama masa perkuliahan.

9. Pemilik NIM D071201078 yang senantiasa menemani penulis dalam proses penyusunan skripsi ini, meluangkan waktu dan menjadi *support system* baik suka maupun duka selama masa perkuliahan.
10. Ayu, Dhila, Nada, dan fathia selaku teman-teman “Bismillah S.T Besok” yang kebersamai sejak awal masuk kuliah hingga sekarang dan saling mendukung baik suka maupun duka.
11. Rara, Fira, Nabilah, Hellavani, Andry, There, Ismi, Eka yang siap sedia untuk menjawab dan memberikan saran serta meluangkan waktunya untuk membantu saya.
12. Kamila Zabitha dan Dian Mentari Putri yang meluangkan waktunya untuk menemani saya dan memberikan *support* kepada penulis.
13. Nurul, Ayu, Dian, Fikri, Bani, dan Ical selaku teman-teman Posko 2 KKNT 110 Pengembangan UMKM Bantaeng yang kebersamai dan memberikan dukungan kepada penulis.
14. Terima kasih untuk semua kerabat yang tidak bisa saya tulis satu persatu yang telah memberikan semangat, doa, motivasi, dan dukungannya sehingga penulis dapat merampungkan penulisan skripsi ini.
15. Terakhir, apresiasi untuk diri saya sendiri, Rizki Ananda atas kerja keras, ketekunan, dan semangat yang tidak pernah pudar dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih telah berjuang tanpa henti dan bertahan, meski terkadang merasa lelah dan ragu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada manusia yang sempurna sehingga penulis juga dapat melakukan kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kekeliruan yang dilakukan penulis. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi pembaca serta dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem yang lebih baik. Aamiin.

Makassar, Juli 2024

Rizki Ananda

## ABSTRAK

RIZKI ANANDA. **Optimalisasi Preventive Maintenance Mesin Ball Mill Menggunakan Metode Modularity Design (Studi Kasus PT. Bumi Sarana Beton)** (dibimbing oleh Dr. Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng.)

**Latar belakang.** PT. Bumi Sarana Beton atau PT. BSB merupakan salah satu anak perusahaan Kalla Group yang bergerak dibidang manufaktur dan salah satu produk yang dihasilkan adalah bata ringan. Dalam produksi bata ringan, salah satu mesin yang sering mengalami *downtime* dan menyebabkan pembengkakan biaya yaitu Mesin *Ball Mill*. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan memberikan usulan sistem *preventive maintenance* menggunakan metode *Modularity Design* dengan harapan dapat mempermudah proses perawatan komponen, mengurangi waktu *downtime* sehingga biaya perawatan yang dikeluarkan dapat diminimalkan. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode *Modularity Design* yaitu mengelompokkan mesin berdasarkan fungsi dengan mempertimbangkan biaya. **Hasil.** Terdapat 4 modul yang berhasil disusun berdasarkan fungsi komponen mesin *Ball Mill* dan memiliki interval waktu perawatan komponen yang optimal untuk Modul 1 sebesar 2575,956 jam atau 107 hari, Modul 2 sebesar 5208,310 jam atau 217 hari, Modul 3 sebesar 3577,976 jam atau 149 hari dan Modul 4 sebesar 11220,063 jam atau 467 hari. Kemudian untuk total biaya perawatan mesin *Ball Mill* pada tahun 2022-2023 menggunakan metode *Modularity Design* sebesar Rp624.754.583,382 sedangkan dengan metode perusahaan diperoleh sebesar Rp944.623.125 per 2 tahun. Lalu berdasarkan hasil tersebut diperoleh efisiensi biaya perawatan yang dikeluarkan apabila menggunakan metode *Modularity Design* sebesar 33,86% atau setara dengan penghematan biaya perawatan sebesar Rp319.868.541,618. Sehingga metode perawatan usulan dengan metode *Modularity Design* lebih efisien dibandingkan metode perusahaan.

Kata kunci: Perawatan Preventif, Desain Modularity, Biaya Perawatan, Interval Perawatan

## **ABSTRACT**

RIZKI ANANDA. **Optimizing Preventive Maintenance of Ball Mill Machines Using the Modularity Design Method** (Case Study at PT. Bumi Sarana Beton) (supervised by Dr. Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng.)

**Background.** PT. Bumi Sarana Beton (PT. BSB) is a subsidiary of the Kalla Group which is engaged in manufacturing and one of the products produced is lightweight bricks. In light brick production, one of the machines that often experiences downtime and causes cost overruns is the Ball Mill Machine. **Objective.** This research aims to provide a proposal for a preventive maintenance system using the Modularity Design method with the hope of simplifying the component maintenance process, reducing downtime so that maintenance costs can be optimally incurred. **Method.** This research uses the Modularity Design method, namely grouping machines based on function by considering costs. **Results.** There are 4 modules that have been successfully arranged based on the function of the Ball Mill machine components and have optimal component maintenance time intervals for Module 1 of 2575,956 hours or 107 days, Module 2 of 5208,310 hours or 217 days, Module 3 of 3577,976 hours or 149 days and Module 4 is 11220,063 hours or 467 days. Then, the total maintenance costs for the Ball Mill machine in 2022-2023 using the Modularity Design method amounted to IDR 624.754.583,382, while using the company method it was IDR 944.623.125 per 2 years. Based on these results, the efficiency of maintenance costs incurred when using the Modularity Design method is 33,86 % or the equivalent of a maintenance cost savings is IDR Rp319.868.541,618. So the proposed maintenance method using the Modularity Design method is more efficient than the company's method.

Keywords: Preventive Maintenance, Modularity Design, Maintenance Costs, Maintenance Intervals

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN .....	iii
SKRIPSI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR RUMUS .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR ISTILAH .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Kajian Teori .....	4
1.7 Penelitian Terdahulu .....	21
1.8 Sistematika Penulisan .....	24
BAB II METODOLOGI PENELITIAN .....	25
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	25
2.2 Objek Penelitian .....	25
2.3 Jenis Data .....	25
2.4 Metode Pengumpulan Data .....	26
2.5 Prosedur Penelitian .....	26
2.6 Kerangka Pikir .....	30
2.7 Diagram Alir Penelitian .....	31
BAB III HASIL .....	32
3.1 Gambaran Umum Perusahaan .....	32
3.2 Pengumpulan Data .....	37
3.3 Pengolahan Data .....	43
3.4 Perbandingan Metode Perawatan Perusahaan dengan Metode Usulan .....	60
BAB IV PEMBAHASAN .....	61
4.1 Data Kerusakan, <i>Downtime</i> dan Komponen .....	61
4.2 Perhitungan Total Biaya Perawatan pada Perusahaan .....	61
4.3 Uji Distribusi, <i>Mean Time To Repair</i> dan <i>Mean Time To Failure</i> .....	61
4.4 Menghitung Interval Perawatan .....	63
4.5 Efisiensi Metode Usulan .....	63
BAB V PENUTUP .....	65
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....	67
LAMPIRAN .....	70

## DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Penelitian terdahulu .....	21
2. Komponen pada mesin <i>ball mill</i> .....	37
3. Sub komponen pada mesin <i>ball mill</i> .....	37
4. Data waktu kerusakan dan <i>downtime</i> mesin <i>ball mill</i> tahun 2022-2023 .....	38
5. Waktu kerusakan dan <i>downtime</i> komponen <i>cuthe bin</i> .....	39
6. Waktu kerusakan dan <i>downtime</i> komponen <i>conveyor</i> .....	40
7. Waktu kerusakan dan <i>downtime</i> komponen <i>ball mill</i> .....	40
8. Waktu kerusakan dan <i>downtime</i> komponen <i>slurry sump</i> .....	41
9. Waktu kerusakan dan <i>downtime</i> komponen <i>slurry tank</i> .....	41
10. Biaya pembelian dan perawatan komponen .....	42
11. Biaya tenaga kerja dan harga produk .....	42
12. Data biaya perawatan pada perusahaan .....	43
13. Biaya kerugian masing - masing komponen .....	45
14. Total biaya perawatan perusahaan (TC awal) .....	46
15. Sub-komponen mesin <i>ball mill</i> dan fungsinya .....	47
16. Modul komponen mesin <i>ball mill</i> .....	49
17. Pengelompokan data berdasarkan modul .....	50
18. Uji distribusi <i>anderson darling</i> berdasarkan data <i>downtime</i> .....	51
19. Hasil uji distribusi berdasarkan data <i>downtime</i> .....	52
20. Uji distribusi <i>anderson darling</i> berdasarkan selang waktu antar kerusakan .....	53
21. Hasil uji distribusi berdasarkan selang waktu antar kerusakan .....	53
22. Hasil perhitungan MTTR dan MTTF .....	55
23. Biaya penggantian komponen karena pencegahan (Cp) .....	56
24. Biaya penggantian komponen karena kerusakan .....	57
25. Interval waktu perawatan/penggantian komponen .....	58
26. Rekapitulasi perhitungan TC/jam .....	58
27. Perhitungan total biaya per-tahun menggunakan <i>modularity design</i> .....	59
28. Perbandingan total biaya perawatan perusahaan dan <i>modularity design</i> .....	60
29. Hasil perhitungan MTTR dan MTTF .....	62

## DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Mesin <i>ball mill</i> .....	4
2. <i>Chute bin</i> .....	5
3. <i>Vibro bin</i> .....	5
4. <i>Conveyor belt bin</i> .....	6
5. <i>Conveyor</i> .....	6
6. <i>Conveyor belt</i> .....	7
7. <i>Belt fastener</i> .....	7
8. <i>Gearbox</i> pada sistem <i>conveyor</i> .....	7
9. Mesin <i>ball mill</i> .....	8
10. <i>Screening ball</i> .....	8
11. <i>Gearbox</i> pada mesin <i>ball mill</i> .....	9
12. <i>Liner ball mill</i> .....	9
13. <i>Slide bearing</i> .....	9
14. Baut <i>rubber</i> .....	10
15. <i>Slurry sump</i> .....	10
16. <i>Coupling</i> .....	11
17. <i>Slurry tank</i> .....	11
18. <i>Agitator</i> .....	12
19. Pipa <i>schedule</i> .....	12
20. <i>Gearbox</i> pada <i>slurry tank</i> .....	12
21. Jenis – jenis perawatan mesin .....	14
22. Kerangka pikir penelitian.....	30
23. Diagram alir penelitian .....	31
24. Logo Kalla Beton.....	32
25. Produk bata ringan Kalla Beton .....	32
26. Mesin <i>ball mill</i> .....	33
27. Struktur organisasi PT. Bumi Sarana Beton .....	33
28. Proses produksi bata ringan .....	34
29. Skema proses produksi bata ringan.....	35

**DAFTAR RUMUS**

Nomor Urut	Halaman
1. Persamaan (1) .....	17
2. Persamaan (2) .....	17
3. Persamaan (3) .....	19
4. Persamaan (4) .....	19
5. Persamaan (5) .....	19
6. Persamaan (6) .....	20
7. Persamaan (7) .....	20
8. Persamaan (8) .....	21
9. Persamaan (9) .....	21
10. Persamaan (10) .....	21
11. Persamaan (11) .....	27
12. Persamaan (12) .....	27
13. Persamaan (13) .....	27
14. Persamaan (14) .....	27
15. Persamaan (15) .....	27
16. Persamaan (16) .....	27
17. Persamaan (17) .....	28
18. Persamaan (18) .....	28
19. Persamaan (19) .....	28
20. Persamaan (20) .....	28
21. Persamaan (21) .....	28
22. Persamaan (22) .....	29
23. Persamaan (23) .....	29
24. Persamaan (24) .....	29
25. Persamaan (25) .....	29

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor Urut	Halaman
1. Hasil uji distribusi menggunakan <i>software Minitab 17</i> .....	69
2. Penelitian permohonan penelitian .....	77
3. Surat penerimaan permohonan penelitian .....	78
4. Dokumentasi penelitian .....	79

## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
TC	<i>Total Cost</i>
Cp	<i>Cost of Preventive Replacement</i>
Cf	<i>Cost of Failure Replacement</i>
R(T)	<i>Reliability as a function of Time</i>
TM	<i>Time to Maintain</i> (interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam)
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
$\eta$	Parameter skala pada distribusi <i>weibull</i>
$\beta$	Parameter bentuk pada distribusi <i>weibull</i>
$\lambda$	Laju kerusakan
$\Gamma$	Fungsi gamma
WD	<i>Work Day</i> (jumlah hari kerja dalam seminggu)
WH	<i>Working Hours</i> (jam kerja/ <i>shift</i> )
WD	<i>Work Day</i> (jumlah hari kerja dalam seminggu)
OC	<i>Operator Cost</i>
MC	<i>Mechanic Cost</i>
DC	<i>Downtime Cost</i>
CP	<i>Component Price</i>

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Salah satu faktor kunci dalam produksi yang perlu dioptimalkan adalah penggunaan mesin produksi. Mesin yang digunakan dalam proses produksi harus dapat beroperasi secara optimal. Operasi mesin dikatakan optimal jika nilai *downtime*-nya minimal. Untuk memastikan mesin beroperasi secara optimal, diperlukan sistem perawatan dan pemeliharaan yang tepat. Sistem perawatan dapat dikatakan efisien apabila mampu memberikan jadwal perawatan dengan *downtime* minimal, sehingga total biaya yang dihasilkan juga minimal.

Perawatan merupakan sebuah konsep dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga kualitas mesin. Perawatan merupakan suatu kombinasi dari berbagai tindakan aktivitas dengan tujuan untuk menjaga, memelihara, dan memperbaiki mesin sampai kondisi yang bisa diterima (Ghozali dkk., 2023). Sistem pemeliharaan dapat dilihat sebagai bayangan dari sistem produksi. Artinya, jika sistem produksi suatu perusahaan berjalan pada kapasitas yang sangat tinggi, sistem pemeliharaan dari perusahaan tersebut akan lebih baik. Adanya pemeliharaan diharapkan dapat meningkatkan kehandalan sistem. Pemeliharaan juga dapat didefinisikan sebagai kegiatan yang memelihara peralatan dan melakukan perbaikan atau penyesuaian penggantian yang diperlukan untuk memastikan operasi produksi yang memuaskan seperti yang direncanakan (Purba & Marikena, 2021).

Dalam industri manufaktur, terdapat dua jenis perawatan yang sering digunakan yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Kedua pendekatan ini memiliki peran yang krusial dalam memastikan mesin dan peralatan beroperasi dengan optimal, sekaligus mengurangi risiko kerusakan yang tidak terduga. *Preventive Maintenance* merupakan bentuk perawatan/perbaikan yang dilakukan sebelum mesin mengalami kerusakan. Sedangkan *corrective maintenance* adalah tindakan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan sehingga jenis perawatan ini bertujuan untuk memperbaiki kerusakan secepat mungkin agar mesin dapat kembali beroperasi. Namun, seringkali *corrective maintenance* menyebabkan biaya yang lebih tinggi dan *downtime* yang lebih lama. Sehingga *preventive maintenance* seharusnya menjadi pilihan untuk merencanakan strategi perawatan (Ghozali dkk., 2023).

Salah satu sistem *preventive maintenance* yang dapat diterapkan adalah *Modularity Design*. *Modularity design* adalah konsep yang biasa digunakan pada proses mendesain suatu produk dan konsep ini akan diadaptasi dalam sistem perawatan. Penerapan *modularity design* dilakukan dengan mengelompokkan komponen-komponen dalam modul-modul tertentu dengan harapan dapat mempermudah penggantian komponen-komponen mesin, mempersingkat waktu perawatan dan mengurangi biaya perawatan (Suwondo & Widjajati, 2020). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa konsep dari metode *modularity design* akan

menggabungkan komponen mesin berdasarkan proses dan fungsinya sehingga tujuan dilakukan *modularity design* yaitu sistem perawatan dapat lebih efisien dengan penggantian atau perbaikan yang dapat dilakukan sekali pekerjaan untuk beberapa komponen yang berkaitan sehingga dapat menghemat waktu dan biaya perawatan mesin.

PT. Bumi Sarana Beton atau PT. BSB merupakan salah satu anak perusahaan Kalla Group yang bergerak dibidang manufaktur dan produksi utamanya adalah beton siap pakai (*ready mix*), bata ringan, paving blok (*precast*) dan jasa konstruksi. Penelitian ini berfokus pada produksi produk bata ringan sebagai salah satu proses yang memiliki banyak mesin kompleks dan menggunakan sistem produksi *continuous process*. Proses produksi bata ringan diawali dengan penggunaan mesin *Ball Mill* untuk menghaluskan material. Kendala yang sering dihadapi adalah *downtime* mesin dan waktu penggantian sub-komponen yang lama. Hal ini dikarenakan perusahaan perlu memesan terlebih dahulu dari luar Pulau Makassar terkait beberapa komponen inti mesin *Ball Mill* sehingga menyebabkan terganggunya produksi dan menurunnya produktivitas dalam memproduksi bata ringan.

Penggunaan sistem perawatan korektif dan kurang efektifnya sistem perawatan preventif yang ada di perusahaan merupakan penyebab terjadinya *downtime* pada mesin *Ball Mill*. Hal ini dikarenakan adanya kerusakan yang tidak terdeteksi selama proses produksi bata ringan. Selain itu, perawatan korektif juga dapat mempengaruhi kinerja komponen lainnya dan bahkan merusak komponen tersebut akibat waktu kerusakan yang lama dan penyetelan berulang. Dengan adanya kendala yang dihadapi oleh perusahaan maka biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan akan semakin meningkat.

Untuk memudahkan proses perawatan mesin dan demi kelancaran proses produksi maka diperlukan sistem perawatan yang lebih efisien & efektif guna mengurangi biaya pemeliharaan. Oleh karena itu, peneliti akan memberi usulan penerapan sistem *preventive maintenance* menggunakan metode *modularity design* sebagai bahan pertimbangan untuk perusahaan khususnya PT. Bumi Sarana Beton (PT. BSB) dalam penentuan interval waktu perawatan preventif dengan harapan dapat mengurangi *breakdown* pada mesin *Ball Mill* dan mengurangi biaya perawatan mesin.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Apa saja komponen yang dapat dikelompokkan kedalam perawatan berbasis *Modularity Design*?
- b. Bagaimana interval perawatan preventif berdasarkan modul komponen pada Mesin *Ball Mill*?
- c. Bagaimana hasil perbandingan biaya perawatan yang telah ada di *PT. Bumi Sarana Beton* (PT. BSB) dan biaya perawatan yang diusulkan menggunakan konsep *Modularity Design*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

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

- a. Mengidentifikasi dan menentukan komponen yang dapat dikelompokkan kedalam perawatan berbasis modul.
- b. Merancang dan memberikan usulan terkait interval waktu perawatan mesin untuk meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan biaya perawatan.
- c. Membandingkan biaya perawatan yang dapat dihemat menggunakan konsep *Modularity Design* dengan sistem perawatan yang ada di PT. Bumi Sarana Beton (PT. BSB).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini membahas tentang optimalisasi sistem perawatan preventif pada Mesin *Ball Mill* menggunakan konsep *Modularity Design*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dan bahan pertimbangan dalam penjadwalan *preventive maintenance* pada mesin *Ball Mill*, dengan mempertimbangkan biaya yang akan dikeluarkan sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya perawatan mesin. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat signifikan bagi berbagai pihak dalam upaya meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan biaya perawatan.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini agar lebih terarah dan tidak meluas maka diperlukan ruang lingkup pembatasan. Berikut merupakan masalah yang diambil dalam penelitian ini yaitu :

- a. Mesin yang diamati yakni mesin *Ball Mill*.
- b. Jenis komponen yang dipilih dan diolah berdasarkan mesin *Ball Mill*.
- c. Waktu kerja untuk masing-masing operator dan mekanik dalam sebulan adalah 192 jam.
- d. Total hari kerja dalam 2 tahun yaitu 480 Hari.
- e. Hasil penelitian berfokus pada usulan penjadwalan *preventive maintenance* menggunakan metode *modularity design*.

## 1.6 Kajian Teori

### 1.6.1 Mesin *ball mill*



**Gambar 1 .** Mesin ball mill  
Sumber: Data primer (2024)

Mesin *ball mill* sebagaimana telah diketahui pada namanya, “*ball*” yaitu bola, mesin ini bekerja dengan bola yang menggelinding dalam tabung yang terus berputar dengan waktu yang diatur dan ditentukan sebelumnya oleh operator. Mesin *ball mill* adalah mesin yang digunakan untuk menghaluskan, melumat atau menghancurkan suatu material menjadi partikel-partikel yang lebih kecil bahkan bubuk (Ridho, 2016).

Mesin *ball mill* di PT. Bumi Sarana Beton memainkan peran penting dalam memastikan bahwa bahan baku yang digunakan dalam produksi bata ringan mencapai tingkat kehalusan yang diperlukan. Hal ini dikarenakan Mesin *ball mill* merupakan mesin yang digunakan pertama kali dalam proses produksi bata ringan dengan tujuan untuk menggiling dan menghaluskan material pasir silika dan *gypsum* menjadi *slurry* halus sehingga material dapat di transfer ke tahap produksi selanjutnya. Adapun komponen atau rangkaian dari sistem mesin *ball mill* yang tersedia di PT. Bumi Sarana Beton:

a. *Chute bin*

*Chute bin* atau biasa dikenal dengan *material bin* merupakan tempat penyimpanan awal bahan baku, seperti pasir silika dan *gypsum* sebelum dimasukkan ke dalam proses penggilingan (mesin *ball mill*). *Chute bin* memastikan bahan baku tersedia dan terdistribusi secara merata menuju tahap selanjutnya. *Material Bin* dilengkapi dengan sub-komponen berupa *conveyor belt bin* dan *vibro*.



**Gambar 2.** *Chute bin*  
Sumber: Data primer (2024)

Berikut ini merupakan sub-komponen dari *Chute Bin*:

1) *Vibro*

*Vibro* pada *Chute Bin* adalah perangkat yang digunakan untuk membantu mengalirkan material dari bin menuju conveyor dengan cara memberikan getaran.



**Gambar 3.** *Vibro bin*  
Sumber: indiamart.com (2024)

2) *Conveyor belt bin*

Mengangkut bahan baku dari *Chute Bin* untuk proses penggilingan. Conveyor memindahkan material secara kontinu dan efisien.



**Gambar 4.** *Conveyor belt bin*  
Sumber: Data primer (2024)

b. *Conveyor*

*Conveyor* pada rangkaian mesin *Ball Mill* di PT. Bumi Sarana Beton merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai alat transportasi bahan baku menuju ke mesin *Ball Mill*.



**Gambar 5.** *Conveyor*  
Sumber: Data primer (2024)

Berikut ini merupakan sub-komponen dari *Conveyor*:

1) *Conveyor belt*

*Conveyor belt* adalah bagian utama dari *conveyor* yang berfungsi sebagai media untuk mengangkut material mentah yaitu pasir silika dan *gypsum* dari satu titik ke titik lainnya. *Belt* ini bergerak secara terus-menerus dan didukung oleh *roller* sepanjang jalur *conveyor*.



**Gambar 6.** *Conveyor belt*  
Sumber: Data primer (2024)

2) *Belt fastener*

*Belt Fastener* adalah perangkat yang digunakan untuk menyambung ujung-ujung *conveyor belt*, sehingga membentuk lingkaran kontinu yang dapat berputar di sekitar *roller*. *Belt Fastener* memastikan sambungan yang kuat dan tahan lama antara kedua ujung *belt*.



**Gambar 7.** *Belt fastener*  
Sumber: indiamart.com (2024)

3) *Gearbox*

*Gearbox* pada sistem *conveyor* berfungsi untuk mengatur dan mentransmisikan daya dari motor penggerak ke *conveyor belt*, sehingga dapat menyesuaikan kecepatan dan torsi yang diperlukan oleh *conveyor belt*.



**Gambar 8.** *Gearbox pada sistem conveyor*  
Sumber: feihongconveyor.com (2024)

c. Mesin *Ball Mill*

Mesin *Ball Mill* adalah mesin yang digunakan untuk menggiling bahan-bahan mentah seperti pasir silika dan *gypsum* menjadi partikel-partikel halus. Proses penggilingan dilakukan dalam sebuah drum silindris yang berputar secara horizontal, di mana bola-bola penggiling yang terdapat di dalamnya menghantam dan menggiling material hingga mencapai kehalusan yang diinginkan.

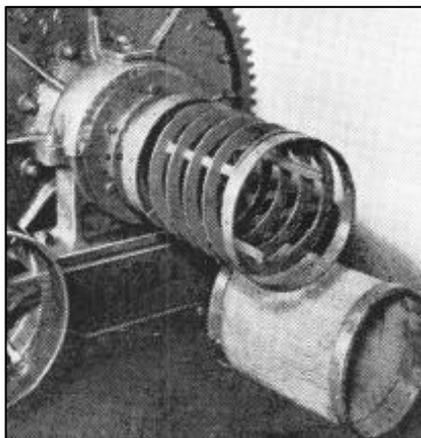


**Gambar 9.** Mesin *ball mill*  
Sumber: teeyer-aacine.id (2024)

Berikut ini merupakan sub-komponen dari mesin *Ball Mill*:

1) *Screening ball*

*Screening ball* berfungsi memisahkan partikel (pasir silika dan *gypsum*) yang sudah halus dari partikel yang masih kasar. Ini memastikan bahwa hanya partikel dengan ukuran yang diinginkan yang akan dikeluarkan dari mesin *Ball Mill* menuju tahap selanjutnya (*slurry sump*).



**Gambar 10.** *Screening ball*  
Sumber: 911metallurgist.com (2024)

2) *Gearbox*

*Gearbox* berfungsi untuk menyesuaikan kecepatan dan torsi yang diperlukan oleh mesin *Ball Mill* untuk menggiling/menghaluskan material.



**Gambar 11.** *Gearbox* pada mesin *ball mill*

Sumber: feihongconveyor.com (2024)

3) *Liner ball mill*

*Liner ball mill* merupakan lapisan pelindung yang melapisi dinding bagian dalam drum *Ball Mill*. Fungsinya untuk melindungi drum dari keausan yang disebabkan oleh gesekan antara bola penggiling dan dinding drum.



**Gambar 12.** *Liner ball mill*

Sumber: ballmillssupplier.com (2024)

4) *Slide bearing*

*Slide bearing* adalah jenis bantalan yang digunakan untuk mendukung poros drum *Ball Mill* atau bagian yang berputar dengan mengurangi gesekan, memungkinkan drum berputar dengan lancar.



**Gambar 13.** *Slide bearing*

Sumber: ballmillssupplier.com (2024)

5) *Baut rubber*

*Baut rubber* berfungsi mengencangkan dan menyambungkan bagian-bagian mesin, khususnya pada komponen yang terbuat dari atau dilapisi karet untuk mengurangi getaran dan kebisingan.



**Gambar 14.** *Baut rubber*

Sumber: [indonesian.alibaba.com](https://www.indonesian.alibaba.com) (2024)

d. *Slurry sump*

*Slurry sump* berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk *slurry* yang dihasilkan dari *Ball Mill* sebelum diproses lebih lanjut.



**Gambar 15.** *Slurry sump*

Sumber: Data primer (2024)

Berikut ini merupakan sub-komponen dari *slurry sump*:

1) *Coupling*

*Coupling* adalah komponen yang menghubungkan dua poros atau *shaft*, yaitu poros dari motor penggerak dan poros dari pompa atau agitator yang ada di dalam *slurry sump*. *Coupling* memastikan bahwa tenaga dari motor

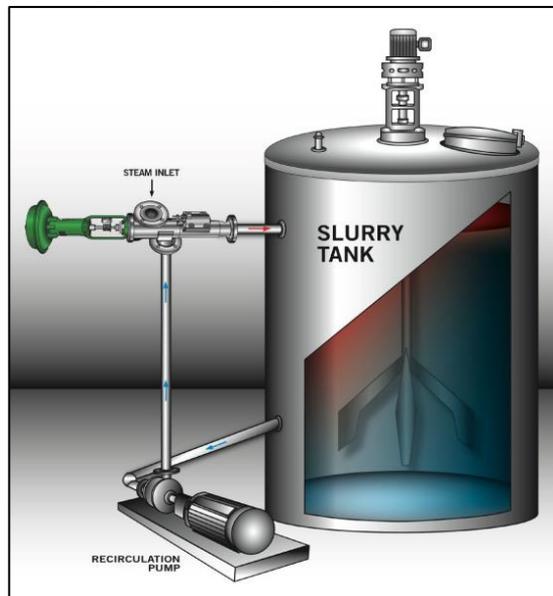
dapat ditransmisikan dengan efisien ke komponen yang memerlukan, seperti agitator atau pompa.



**Gambar 16. Coupling**  
Sumber: ksb.com (2024)

e. *Slurry tank*

*Slurry tank* adalah tangki penyimpanan yang digunakan untuk menampung *slurry*, yaitu campuran material halus seperti pasir silika, *gypsum* dan bahan lainnya, yang sebelumnya telah diproses di dalam *slurry sump*. *Slurry* ini disimpan dalam tangki sebelum digunakan dalam proses produksi berikutnya.



**Gambar 17. Slurry tank**  
Sumber: hydro-thermal.com (2024)

Berikut ini merupakan sub-komponen dari *slurry tank*.

1) *Agitator*

*Agitator* adalah alat pengaduk yang berfungsi untuk menjaga *slurry* tetap tercampur secara merata di dalam *slurry tank*, mencegah pengendapan partikel.



**Gambar 18.** Agitator  
Sumber: indiamart.com (2024)

2) *Pipa schedule*

*Pipa schedule* adalah jenis pipa yang digunakan untuk mengalirkan *slurry* dari *slurry tank* ke proses produksi berikutnya (sistem mesin *mixer*).



**Gambar 19.** *Pipa schedule*  
Sumber: blibli.com (2024)

3) *Gearbox*

*Gearbox* dalam sistem *slurry tank* berfungsi untuk mengatur kecepatan dan torsi dari motor penggerak yang menggerakkan agitator. *Gearbox* memastikan agitator beroperasi pada kecepatan yang optimal untuk menjaga *slurry* tetap tercampur dengan baik.



**Gambar 20.** *Gearbox* pada *slurry tank*  
Sumber: feihongconveyor.com (2024)

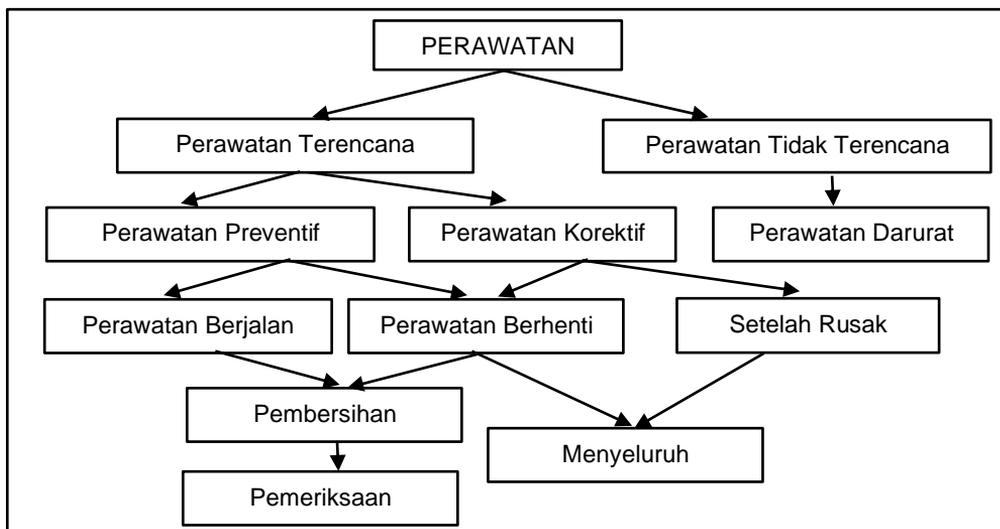
### 1.6.2 Jenis-Jenis Perawatan

Perawatan atau pemeliharaan ini meliputi kegiatan pengecekan, pelumasan dan perbaikan atas kerusakan yang ada serta penyesuaian atau komponen yang terdapat pada peralatan atau fasilitas tersebut. Tujuan pemeliharaan adalah untuk memelihara kemampuan mesin atau alat dan mengendalikan biaya sehingga mesin harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan (Haq & Riandadari, 2019).

Dalam istilah perawatan (*maintenance*) tercakup dua kegiatan yaitu perawatan dan perbaikan. Pengelompokan jenis-jenis perawatan antara satu perusahaan dengan perusahaan lain tidak ada yang sama. Hal ini disebabkan setiap perusahaan memiliki karakter dan pola manajemen yang berbeda. Namun demikian, secara umum pengelompokan kegiatan Ditinjau dari saat pelaksanaan perawatan, dapat dibagi menjadi dua cara perawatan yaitu Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*) dan Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*).

- a. Perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*) adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau kegiatan perawatan yang direncanakan untuk melakukan pencegahan (preventif). Ruang lingkup kegiatan perawatan pencegahan tersebut meliputi: inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan.
- b. Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*) adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas/peralatan hingga mencapai kondisi yang dapat diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik.
- c. Perawatan Darurat (*Emergency Maintenance*) adalah kegiatan perbaikan yang harus segera dilakukan karena terjadi kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga.
- d. Perawatan Berjalan (*Running Maintenance*) dimana pekerjaan perawatan dilakukan ketika fasilitas atau peralatan dalam keadaan beroperasi. Perawatan berjalan diterapkan pada peralatan-peralatan yang harus beroperasi terus dalam melayani proses produksi. Beberapa kegiatan yang dilakukan seperti pembersihan, pemeriksaan, penyetelan.
- e. Perawatan Berhenti (*Shut Down Maintenance*) dimana pekerjaan perawatan dilakukan ketika fasilitas atau peralatan harus dalam keadaan berhenti. Perawatan berhenti merupakan kegiatan perawatan yang telah direncanakan. Beberapa kegiatan yang dilakukan seperti pembersihan, pemeriksaan, overhaul.
- f. Perawatan setelah terjadi kerusakan (*Breakdown Maintenance*) merupakan Pekerjaan perawatan dilakukan setelah terjadi kerusakan pada peralatan, dan untuk memperbaikinya harus disiapkan suku cadang, material, alat-alat dan tenaga kerjanya.

- g. Perawatan Menyeluruh (*Overhaul Maintenance*) merupakan kegiatan rutin yang meliputi pembongkaran, pembersihan, pemeriksaan, pengukuran, perbaikan, perakitan, dan pengetesan.



**Gambar 21.** Jenis – jenis perawatan mesin  
Sumber : Arsyad & Zubair (2018)

### 1.6.3 Preventive Maintenance

Menurut (Pincirolu dkk., 2023), *Preventive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan/perawatan yang bertujuan untuk mencegah aset kehilangan fungsinya dengan melakukan tindakan perawatan sebelum terjadi kerusakan. Terdapat lima jenis strategi pemeliharaan preventif utama yang biasanya diidentifikasi meliputi:

a. *Schedule maintenance*

*Schedule maintenance* atau pemeliharaan terjadwal bertujuan untuk mencegah aset kehilangan fungsinya melalui tindakan pemeliharaan yang dilakukan pada waktu yang dijadwalkan, baik secara tidak teratur maupun periodik. Data statistik yang dikumpulkan dari aset, seperti waktu kegagalan dan durasi pemeliharaan, biasanya digunakan untuk menyusun rencana pemeliharaan. Pemeliharaan terjadwal cocok untuk sistem berisiko tinggi, misalnya sistem yang kegagalannya dapat menyebabkan konsekuensi keamanan yang parah, kerugian produksi yang besar, atau di mana perencanaan pemeliharaan dapat memberikan keuntungan ekonomi, misalnya karena suku cadang yang tidak mudah tersedia harus dipesan terlebih dahulu.

b. *Opportunistic maintenance*

*Opportunistic maintenance* atau pemeliharaan peluang bertujuan untuk melakukan pemeliharaan pada lebih banyak elemen atau subsistem aset pada

waktu yang sama. Ini dilakukan dengan menggabungkan aktivitas pemeliharaan komponen yang memiliki tingkat kegagalan dan kondisi operasi yang serupa, atau dengan memanfaatkan shutdown terencana atau kerusakan yang tidak diinginkan sebagai kesempatan untuk memelihara beberapa komponen yang berbeda. Strategi pemeliharaan ini cocok untuk sistem dengan komponen yang serupa atau yang mengalami shutdown terencana yang lama, seperti pembangkit listrik tenaga nuklir untuk pengisian bahan bakar, dan untuk sistem yang aktivitas pemeliharaannya memerlukan peralatan mahal yang harus disewa, seperti crane atau kapal (Shafiee & Sørensen, 2019).

c. *Condition-based maintenance*

*Condition-based maintenance* atau pemeliharaan berbasis kondisi mirip dengan *schedule maintenance* yang bertujuan untuk mencegah aset kehilangan fungsinya, tetapi perencanaan intervensi pemeliharaan didasarkan pada data yang dikumpulkan dari aset itu sendiri untuk mengevaluasi kondisinya. Penerapan pemeliharaan berbasis kondisi memerlukan ketersediaan sistem pemantauan untuk mengumpulkan data dari kuantitas fisik yang terkait dengan degradasi aset. Pemeliharaan berbasis kondisi cocok untuk sistem yang menghindari shutdown tidak terencana akibat kegagalan dan melebihi biaya.

d. *Predictive Maintenance*

*Predictive Maintenance* merupakan perpanjangan dari pemeliharaan berbasis kondisi, pemeliharaan ini memproses data pemantauan lebih lanjut untuk prognostik, yaitu untuk memperkirakan waktu kegagalan, sehingga memungkinkan perencanaan aktivitas pemeliharaan di awal. Pemeliharaan ini memerlukan pengembangan sistem pemantauan dan alat prognostik. Pemeliharaan prediktif cocok untuk sistem yang dapat memperoleh manfaat dari keuntungan yang sama dengan pemeliharaan berbasis kondisi, tetapi juga dapat memperoleh manfaat lebih lanjut dari perencanaan di awal, misalnya karena suku cadang yang tidak mudah tersedia sehingga memerlukan waktu untuk dipesan (Zonta dkk., 2020).

e. *Perspective maintenance*

*Perspective maintenance* dilakukan berdasarkan data pemantauan yang dikumpulkan dari aset, pemeliharaan preskriptif memberikan rekomendasi tindakan yang harus diambil dengan mengantisipasi skenario potensial yang dihasilkan oleh tindakan tersebut dan mengevaluasi dampaknya pada sistem. Pemeliharaan preskriptif memerlukan ketersediaan data historis dan operasional yang dikumpulkan dalam berbagai kondisi operasi, serta model canggih dari sistem yang dipertimbangkan (Meissner dkk., 2021).

Menurut Sembiring & Destria Arianti (2020), terdapat manfaat dilakukannya *preventive maintenance* yaitu:

- a. Memperkecil *overhaul* (turun mesin)
- b. Mengurangi kemungkinan reparasi berskala besar.
- c. Mengurangi biaya kerusakan/pergantian mesin.
- d. Memperkecil kemungkinan produk-produk yang rusak.
- e. Meminimalkan persediaan suku cadang.
- f. Memperkecil hilangnya gaji-gaji tambahan akibat penurunan mesin (*overhaul*).
- g. Menurunkan harga satuan dari produk pabrik.

#### 1.6.4 **Corrective Maintenance**

*Corrective Maintenance* merupakan kegiatan perawatan/perawatan yang bertujuan untuk mengembalikan fungsi aset setelah mengalami kerusakan. Pemeliharaan ini melibatkan prosedur perbaikan atau penggantian komponen. Pemeliharaan korektif cocok untuk sistem yang tidak kritis terhadap keselamatan, di mana intervensi perawatan dapat dilakukan dengan cepat dan biaya rendah, serta kegagalannya tidak menimbulkan konsekuensi serius (Pincirolini dkk., 2023). Menurut Adiasa dkk., (2021), pemeliharaan /pemeriksaan korektif dapat mencakup:

- a. Perbaikan meliputi pekerjaan rekondisi dan perbaikan beberapa komponen dengan mengembalikan kepada kondisi semula atau maksimal.
- b. Pergantian meliputi pekerjaan rekondisi dan pergantian dalam jumlah besar dengan bertujuan mengembalikan kepada kondisi semula atau kondisi maksimal.
- c. Penyempurnaan meliputi pekerjaan perubahan desain dari komponen dengan tujuan menaikkan kemampuan dan efisiensi.

*Corrective Maintenance* dibagi menjadi tiga, yakni:

- a. *Remedial maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan untuk menghilangkan sumber kerusakan tanpa interupsi terhadap keberlangsungan proses produksi.
- b. *Deferred maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang tidak langsung diinisiasi setelah terjadinya kerusakan tetapi ditunda sedemikian rupa agar tidak mengganggu proses produksi.
- c. *Shutdown corrective maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan pada saat lini produksi sedang berhenti total.

#### 1.6.5 **Biaya Perawatan**

Biaya *preventif maintenance* terdiri atas biaya-biaya yang timbul dari kegiatan pemeriksaan dan penyesuaian peralatan, penggantian atau perbaikan komponen-komponen, dan kehilangan waktu produksi yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan tersebut. Biaya *corrective maintenance* adalah biaya-biaya yang timbul bila peralatan rusak atau tidak dapat beroperasi, yang meliputi kehilangan waktu produksi, biaya pelaksanaan pemeliharaan ataupun biaya penggantian peralatan.

Perawatan yang baik akan dilakukan dalam jangka waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. Semakin sering perawatan suatu mesin dilakukan akan meningkatkan biaya perawatan. Disisi lain bila perawatan tidak dilakukan akan mengurangi performa kerja mesin tersebut. Ongkos perawatan dapat diringkas menjadi dua, yaitu :

- a. Ongkos pemeliharaan akibat diadakannya perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin atau komponennya.
- b. Ongkos perbaikan yang dilakukan akibat terjadinya kerusakan komponen kritis pada mesin atau peralatan tersebut disamping biaya untuk penggantian suku cadangnya.

Dengan demikian pola perawatan yang optimal perlu dicari supaya antara biaya perawatan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada total cost yang paling minimal. *Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sehingga rumusnya menjadi :

$$C_p = [(A+B) \times C] + D + E \quad (1)$$

Keterangan :

$C_p$  = Biaya satu siklus preventif

A = Biaya operator mengganggu/jam

B = Biaya kehilangan produksi/jam

C = Waktu perbaikan komponenen dalam jam

D = Harga komponen/unit (Rp)

E = Biaya *preventive maintenance*

Dari analisa biaya pemeliharaan dan waktu *preventive maintenance* maka dapat ditentukan total biaya *preventive maintenance* yang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_c = \frac{C_p \times R(T)}{T} \quad (2)$$

Dimana :

$T_c/\text{jam}$  = *Total cost*

$C_p$  = *Biaya preventive replacement*

$R(T)$  = Nilai keandalan

T = *Waktu preventive replacement*

(Fikri & Widjajati, 2020)

### 1.6.6 Metode *Modularity Design*

*Modularity design* telah menjadi fokus di berbagai bidang, seperti desain suatu produk, desain ramah lingkungan, dan terbukti sangat efektif dalam meningkatkan responsivitas serta mengurangi biaya di industri otomotif. Dalam konteks pemeliharaan preventif mesin, penerapan desain modular dapat memberikan manfaat signifikan dengan mengurangi kompleksitas sistem, mempermudah proses pemeliharaan, dan mengoptimalkan waktu serta biaya perbaikan. Penelitian tentang desain modular telah mengeksplorasi berbagai perspektif, termasuk manufaktur,

daur ulang, pembongkaran, dan penggunaan kembali, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keandalan sistem pemeliharaan (Zheng dkk., 2017).

Menurut Joo (2009), *Modularity Design* adalah metode pemeliharaan preventif yang bertujuan untuk menggabungkan beberapa komponen mesin ke dalam suatu modul pemeliharaan. Modul perawatan yang dirancang berdasarkan fungsinya akan menghasilkan waktu perawatan mesin yang optimal karena menggabungkan beberapa komponen sehingga dapat mengurangi jumlah perawatan jika dilakukan per komponen. Tujuan dari desain modularitas adalah untuk meminimalkan biaya pemeliharaan mesin dan dalam penggantian atau perbaikan dapat dilakukan satu kali pekerjaan untuk beberapa komponen yang terkait sehingga dapat menghemat waktu dan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dalam melakukan perawatan mesin. Selain itu, melalui modularitas sistem biaya penyimpanan dan pengelolaan dapat dikurangi secara efektif karena sumber modul jauh lebih sedikit dibandingkan sumber komponen (Riesener dkk., 2023).

Modul adalah kombinasi dari beberapa komponen perakitan atau non-perakitan yang dirancang untuk memudahkan penggantian atau perbaikan ketika terjadi kerusakan, sehingga dapat mengurangi peralatan dan keterampilan yang diperlukan dalam pemeliharaan mesin (Putri dkk., 2020). Pengelompokan menjadi modul didasarkan pada tiga kriteria:

- a. Fungsi  
Modul berdasarkan fungsi diatur ulang menjadi modul baru berdasarkan interaksi fungsional antara setiap komponen yang membentuk modul (struktur fisik) untuk menjelaskan fungsi produk.
- b. Struktur produk  
Modul berdasarkan struktur didasarkan pada dekomposisi produk menjadi komponen-komponen, kemudian dikelompokkan menjadi modul-modul terpisah dengan mempertimbangkan posisi geometris dan perakitan antara komponen-komponen untuk menghasilkan modul baru.
- c. Bahan yang digunakan  
Modul berdasarkan bahan berperan dalam produksi dan daur ulang produk dalam hal kesesuaian komponen yang tinggi dalam modul yang sama.  
(Gao dkk., 2016)

Diketahui *modularity* dalam perawatan berarti modul-modul yang digunakan, diterapkan dengan tanpa adanya perubahan dalam konsep dasar dari peralatan. Selain itu, terdapat beberapa keuntungan lainnya dengan melakukan modularisasi pada sistem *maintenance* adalah:

- a. Rancangan peralatan yang baru lebih mudah.
- b. Mengurangi biaya dan waktu pelatihan tenaga kerja perawatan.
- c. Kemudahan dalam perawatan.
- d. Penurunan waktu perawatan.
- e. Kebutuhan kemampuan (*skill*) yang rendah untuk memindajkan unit yang modular.
- f. Penurunan kegagalan peralatan.

- g. Isolasi.
- h. Pемindahan dari unit yang gagal menjadi lebih mudah.

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

Keandalan untuk suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang **menyatakan ekspektasi masa pakai sistem atau alat tersebut, yang dinotasikan** dengan  $E[T]$  dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau *mean to failure* (MTTF). MTTF hanya digunakan pada komponen atau alat-alat yang sering sekali mengalami kerusakan dan harus diganti dengan komponen atau alat yang masih baru atau baik (Fikri & Widjajati, 2020).

*Mean Time To Failure* menyatakan rata-rata lama (waktu) pemakaian komponen sampai komponen tersebut rusak atau nilai harapan (ekspektasi) lama sebuah komponen dapat dipergunakan sampai rusak. *Mean Time To Repair* (MTTR) adalah rata-rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*) (Faisal, 2016).

MTTR didasarkan atas lamanya perbaikan dan penggantian komponen yang mengalami kerusakan (*failure*). Untuk perhitungan *mean time to repair* pada masing-masing distribusi memiliki kesamaan rumus dengan perhitungan mean time to failure. Berikut ini rumus yang digunakan untuk menentukan MTTF dan MTTR Rata-rata waktu kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut: (Nugraha dkk., 2021)

#### a. Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan yang konstan terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Parameter distribusi yang digunakan adalah  $\lambda$  (laju kerusakan), yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

$$\text{MTTF/MTTR} = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

#### b. Weibull

Distribusi ini merupakan distribusi yang paling sering digunakan untuk menganalisa data kerusakan, karena distribusi *weibull* dapat memenuhi beberapa periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal dan periode pengausan (*wear out*). Periode tersebut tergantung dari nilai parameter bentuk fungsi distribusi *weibull*. Distribusi *weibull* mempunyai laju kerusakan menurun untuk  $\beta < 1$ , laju kerusakan konstan  $\beta = 1$  dan laju kerusakan naik  $\beta > 1$ .

$$\text{MTTF/MTTR} = \alpha \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (4)$$

#### c. Normal

Distribusi normal atau biasa disebut distribusi *Gaussian* merupakan salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. Kemudian parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi.

$$\text{MTTF/MTTR} = \mu \quad (5)$$

#### d. LogNormal

Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ), sama dengan standar deviasi (Kang dkk., 2017). Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi lognormal, maka:

$$MTTF/MTTR = \alpha \times \beta \quad (6)$$

### 1.6.8 Interval Waktu Perawatan

Waktu perawatan yang optimal antara kegiatan penggantian *preventif*, dapat diketahui dengan memilih interval waktu yang memiliki biaya terendah. Menurut Jardine (2013) terdapat dua kondisi yang harus diperhatikan dalam kebijakan penggantian komponen, yaitu:

- Ongkos total penggantian komponen akibat kerusakan harus lebih besar daripada ongkos total penggantian komponen untuk melakukan pencegahan.
- Laju kerusakan dari peralatan harus meningkat.

Untuk memperoleh TC minimum maka  $\frac{dTc}{dTm} = 0$  sehingga *interval*waktu perawatan optimal jika berdistribusi *weibull* dapat dirumuskan sebagai berikut (Ansori, 2013):

$$TM = \eta x \left| \frac{Cp}{Cf(\beta-1)} \right|^{\frac{1}{\beta}} \quad (7)$$

Dimana :

TM = Interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam

$\eta$  = Parameter skala pada distribusi *weibull*

TC = Biaya total perawatan per satuan waktu

Cp = Biaya penggantian pencegahan komponen

Cf = Biaya penggantian kerusakan komponen

$\beta$  = Parameter bentuk pada distribusi *weibull*

(Ghozali dkk., 2023)

### 1.6.9 Total Biaya Perawatan

Proses perawatan industri membutuhkan keuangan yang cukup besar, oleh karena itu pihak manajemen harus melakukan perencanaan keuangan dengan baik. Perencanaan dapat dilakukan apabila manajemen dapat menghitung biaya perawatan dengan benar. Menurut (Muthana & Ku-Mahamud, 2021), yang termasuk biaya perawatan adalah biaya penggantian suku cadang, gaji, dan upah berhubungan dengan pemeliharaan.

Sedangkan menurut Sudrajat (2011), terdapat berbagai macam biaya dalam perawatan, dimana biaya tersebut adalah biaya-biaya yang harus dikeluarkan perusahaan dalam melakukan kegiatan perawatan meliputi:

- Biaya perawatan rutin, termasuk biaya tenaga kerja dan material untuk aktifitas yang rutin dikerjakan, serta biaya menjaga keindahan dan pemeliharaan peralatan (pembersihan, pelumasan, pemeriksaan, dan *setting*).
- Biaya inspeksi peralatan, termasuk biaya tenaga kerja dan material untuk inspeksi dalam atau mendeteksi ketidaknormalan serta menentukan apakah ada peralatan yang cacat, yang dapat diperbaiki kembali.

Perhitungan *total cost* perawatan dengan menggunakan metode *modularity design* dapat diperoleh dengan persamaan distribusi *weibull* sebagai berikut (Yanti, 2015):

$$TC = \frac{C_f}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \quad (8)$$

Sedangkan rumus perhitungan TC per tahunnya didapatkan:

$$TC^* = \left( \frac{\text{Jumlah hari kerja} \times \text{Lama waktu kerja} \times 60 \text{ Menit}}{TM} \right) \times \text{MTTR} \times \text{TC} + \text{Harga Komponen} \quad (9)$$

Perhitungan perbandingan biaya perawatan usulan dengan biaya perawatan perusahaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{TC \text{ Perusahaan} - TC \text{ Usulan}}{TC \text{ Perusahaan}} \times 100\% \quad (10)$$

(Rosyidi & Widjajati, 2020)

## 1.7 Penelitian Terdahulu

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

**Tabel 1.** Penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun) dan Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Putri, Taufik dan Buana (2020) yang berjudul "Preventive Maintenance Scheduling by Modularity Design Applied to Limestone Crusher Machine"	Menyelesaikan masalah dalam perawatan komponen dengan struktur yang kompleks sehingga dapat mengurangi <i>downtime</i> dan mengurangi biaya perawatan mesin.	<i>Modularity Design</i>	Hasil dari penelitian ini menunjukkan dengan adanya pengelompokan komponen berdasarkan modul maka menghemat waktu perawatan mesin dan biaya perawatan mesin yaitu sebesar Rp417.643.637
2	Ghozali, Graside, dan Wardana (2023) yang berjudul "Usulan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan	Menentukan interval perawatan preventif dengan melakukan	<i>Modularity Design</i>	Hasil dari penelitian ini diperoleh total biaya perawatan per tahun dengan metode <i>Modularity Design</i> sebesar

	Metode <i>Modularity Design</i> Pada PT. Varia Usaha Beton”	pengelompokan komponen kedalam modul untuk menghasilkan total biaya perawatan yang lebih minimum.		Rp167.584.757,6 dengan nilai efisiensi sebesar 24,12%.
3	Rosyidi dan Widjajati (2020) yang berjudul “Usulan Perawatan Preventif Mesin <i>Web Rotary Offset Printing</i> Dengan Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i> Di PT. XYZ”	Memberikan usulan perawatan secara <i>preventive maintenance</i> sehingga mempermudah proses penggantian komponen, mengurangi waktu <i>downtime</i> pada mesin produksi dan meminimal kan kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan mesin.	<i>Modularity Design</i>	Hasil dari penelitian menunjukkan dengan menggunakan metode <i>Modularity Design</i> maka perusahaan dapat menghemat biaya perawatan sebesar Rp8.801.062 dengan tingkat efisiensi biaya sebesar 18,21%.
4	Tarigan, Ginting, dan Siregar (2013) yang berjudul “Perawatan Mesin Secara <i>Preventive Maintenance</i> Dengan <i>Modularity Design</i> Pada PT. RXZ”	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen mesin.	<i>Modularity Design</i>	Hasil dari penelitian diperoleh presentase penurunan biaya dengan menggunakan <i>modularity design</i> sebesar 9,38%.
5	Tandriajeng dan Handayani (2023) yang berjudul “Analysis of Engine Maintenance Techniques in	Menemukan masalah pada sistem perawatan perusahaan sehingga mesin	<i>Modularity Design</i>	Hasil dari penelitian menunjukkan biaya perawatan apabila menggunakan metode <i>Modularity Design</i> adalah

	Double-Cabin Vehicle Units Using Modularity Design Method at PT Wahyu Putra Mandiri Perkasa”	dapat lebih efisien dengan biaya yang minimal.		sebesar Rp27.577.21 dengan tingkat efisiensi biaya sebesar 17,22%.
6	Sari dan Pudji W (2023) yang berjudul Usulan Penjadwalan Perawatan Mesin <i>Filling Secara Preventive Dengan Modularity Design</i> Dan LCC Di PT. Petrosida	Mengurangi breakdown yang menghambat proses produksi, mengurangi biaya perawatan mesin dan untuk mengetahui perencanaan total	<i>Modularity Design &amp; LCC</i>	Hasil dari penelitian ini diperoleh biaya perawatan Rp9.747.782 lebih rendah dari total biaya perawatan perusahaan yaitu Rp23.023.176 dengan tingkat efisiensi sebesar 42,3%. Dan didapatkan total biaya <i>life cycle cost</i> terendah yaitu sebesar Rp340.459.348 dengan umur optimal pada mesin 3 tahun & jumlah mekanik satu orang.

*Modularity design* adalah suatu konsep yang biasa digunakan pada proses medesain suatu produk dan konsep ini akan diadaptasi kedalam sistem *maintenance*. Modularisasi adalah melakukan pengelompokan produk dalam bentuk suatu unit yang berbeda berdasarkan fungsinya untuk memudahkan pemindahan dan penggantian. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengatasi masalah *downtime* dan biaya perawatan yang tinggi di PT. BSB. Dengan menggunakan metode *modularity design*, diharapkan dapat tercipta sistem perawatan yang lebih efisien dan efektif, sehingga akan meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya perawatan mesin. Alasan utama memilih metode ini adalah karena keberhasilannya yang telah terbukti dalam berbagai penelitian terdahulu misalnya dalam penelitian Putri, Taufik, dan Buana (2020) yang berhasil menghemat waktu dan biaya perawatan mesin hingga Rp417.643.637. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Ghazali, Graside, dan Wardana (2023) menunjukkan penurunan total biaya perawatan tahunan dengan efisiensi sebesar 24,12%. Lalu penelitian oleh Rosyidi dan Widjajati (2020), Tarigan, Ginting, dan Siregar (2013) serta Sari dan

Pudji W (2023) juga mengindikasikan penurunan biaya perawatan yang signifikan dengan penerapan metode ini.

Selanjutnya, berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terdapat pada objek penelitian yang akan diteliti oleh peneliti serta sumber data yang digunakan. Selain itu dalam penelitian Putri dkk., (2020) penentuan biaya serta persamaan rumus yang digunakan tidak dijabarkan dengan begitu jelas oleh karena itu diperlukan beberapa referensi lainnya. Kemudian dari kelima penelitian terdahulu pada dasarnya objek penelitian yang diambil tidak pernah menerapkan sistem *preventive maintenance* dan hanya berfokus pada *corrective maintenance* sedangkan pada penelitian ini perusahaan telah menerapkan *preventive maintenance* berupa pemberian oil pelumas pada mesin *ball mill* namun perusahaan masih merasa hal tersebut kurang maksimal. Oleh karena itu penelitian akan berfokus pada “Optimalisasi *Preventive Maintenance* Mesin *Ball Mill* Menggunakan Metode *Modularity Design* (Studi Kasus PT. Bumi Sarana Beton)”.

## 1.8 Sistematika Penulisan

Sistematikan penulisan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, kajian teori, penelitian terdahulu dan sistematikan penulisan.

### **BAB II METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat uraian tentang objek penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data dan kerangka alur penelitian. Metodologi menggambarkan alur kegiatan dan kerangka berfikir yang digunakan oleh peneliti selama melakukan penelitian.

### **BAB III HASIL**

Pada bab ini akan diberikan informasi dan ditampilkan data mengenai kerusakan mesin, waktu antar kerusakan mesin, komponen-komponen mesin, harga komponen mesin. Selain itu juga ditampilkan pengolahan data *reliability* mesin *Ball Mill* dan perhitungan waktu optimal penggantian serta total biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan.

### **BAB V PEMBAHASAN**

Bab ini memuat uraian tentang analisa dan pembahasan hasil-hasil yang diperoleh dari pengolahan data untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penulis.

### **BAB VI PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran sebagai bahan pertimbangan perbaikan selanjutnya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Bumi Sarana Beton, Jl. Kima XVII No.17, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei hingga Juni 2024. Adapun fokus penelitian yaitu Mesin *Ball Mill* yang merupakan mesin tahap awal untuk memproduksi produk bata ringan PT. Bumi Sarana Beton.

### 2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang diamati yaitu mesin *Ball Mill* di PT. Bumi Sarana Beton yang merupakan mesin untuk memproduksi produk bata ringan.

### 2.3 Jenis Data

Jenis data yang diambil dari penelitian adalah data primer dan data sekunder, berikut untuk penjelasan lebih lanjut.

- a. Data primer yaitu data yang akan diolah dan diperoleh langsung dari pengamatan di lapangan. Pengumpulan data primer ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung serta melakukan wawancara terhadap karyawan yang terlibat secara langsung. Adapun data yang dibutuhkan yaitu: jadwal *maintenance* perusahaan, komponen dan sub-komponen mesin, tanggal dan waktu kerusakan, unit yang rusak, lama *downtime*, serta pada komponen mana kerusakan terjadi.
  - 1) Data umum  
Data umum yang dimaksudkan ada data mengenai gambaran umum perusahaan termasuk sejarah, visi, dan misi dari PT. Bumi Sarana Beton.
  - 2) Data khusus  
Data khusus yang dimaksud merupakan data mengenai internal perusahaan seperti jadwal *maintenance* mesin, biaya perawatan mesin, data *downtime* mesin, data mesin, komponen dan sub-komponen, harga pembelian komponen, data waktu kerusakan dan perbaikan, biaya produksi, harga jual, dan jumlah *output*/jam, gaji operator dan biaya tenaga kerja. Lalu dilakukan wawancara terhadap karyawan terkait proses *maintenance*, komponen komponen mesin dan beberapa hal lainnya.
- b. Data sekunder  
Pengambilan data sekunder dilakukan dengan studi pustaka sebagai bahan untuk melengkapi penelitian ini meliputi karya tulis, buku, dan sumber lainnya mengenai konsep *preventive maintenance*, biaya pemeliharaan, *modularity design*, MTTF dan MTTR.

## 2.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengambilan data yang diambil dalam penelitian ini dilakukan dengan tiga cara sebagai berikut:

- a. Studi pustaka  
Studi pustaka yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan teori-teori yang beririsan dengan penulisan skripsi sebagai bahan untuk melengkapi penelitian ini. Sumber teori berasal dari hasil penelitian ilmiah, buku referensi, serta data-data yang berasal dari Divisi *Maintenance* dan Divisi Produksi PT. Bumi Sarana Beton yang berhubungan dengan penelitian.
- b. Observasi  
Observasi dilakukan dengan mengamati keadaan riil mesin, proses pemeliharaan mesin dan komponen-komponen mesin, serta melakukan observasi kepada pihak PT. Bumi Sarana Beton.
- c. Wawancara/Diskusi  
Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan bertanya kepada expert mengenai data yang diperlukan untuk pengolahan data.

## 2.5 Prosedur Penelitian

- a. Identifikasi masalah  
Berupa identifikasi terhadap permasalahan-permasalahan yang terjadi secara umum, untuk mendapatkan sebuah permasalahan yang relevan untuk dijadikan objek penelitian. Langkah ini dilakukan dengan cara mencari masalah-masalah yang relevan dalam industri yang membutuhkan penelitian lebih lanjut, baik masalah klasik maupun masalah yang aktual. Penelitian ini mengambil permasalahan *breakdown* yang sering terjadi pada salah satu mesin produksi di PT. Bumi Sarana Beton mesin-mesin sebagai permasalahan yang akan dibahas.
- b. Studi literatur  
Pada tahap ini, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan referensi yang bisa mendukung dalam pemecahan permasalahan yang ada. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mengenai teori-teori yang berguna sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah yang ada. Sumber pendukung dalam penelitian ini diambil dari buku dan jurnal tentang penjadwalan *preventive maintenance* menggunakan *modularity design*.
- c. Penentuan metode  
Berdasarkan studi literatur yang telah digunakan, penulis memutuskan untuk menggunakan konsep *Modularity Design* dalam pemecahan masalah yang diangkat.
- d. Pengumpulan data  
Pada tahap ini, penulis melakukan pengumpulan data untuk selanjutnya akan diolah. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi secara langsung mengenai keadaan riil mesin, proses pemeliharaan mesin dan

komponen-komponen mesin, wawancara kepada pihak *expert* di bidang *maintenance*. Kemudian Adapun data yang dikumpulkan yaitu:

- 1) Jadwal *maintenance* mesin
- 2) Biaya perawatan mesin
- 3) Data *downtime* mesin
- 4) Data mesin, komponen dan sub-komponen
- 5) Harga pembelian komponen
- 6) Data waktu kerusakan dan perbaikan
- 7) Biaya produksi, harga jual, dan jumlah *output*/jam
- 8) Gaji operator dan biaya tenaga kerja

Selain itu dilakukan juga studi pustaka yang dapat membantu pengolahan data ini.

e. Pengolahan data

Pada tahap ini, peneliti akan melakukan 2 jenis perhitungan yaitu perhitungan biaya perawatan yang digunakan oleh perusahaan (TC1/TC awal) dan perhitungan dengan metode usulan yaitu *Modularity Design* (TC2).

- 1) Pertama dilakukan perhitungan biaya perawatan pada perusahaan (TC awal).

Pada tahap ini dilakukan penjabaran mengenai biaya perusahaan yang sekarang diterapkan perusahaan. Kemudian dilakukan perhitungan terkait biaya tenaga kerja (operator dan mekanik) dan biaya *downtime*. Untuk persamaan biaya tenaga kerja yang mencakup perhitungan biaya operator menganggur dan biaya mekanik.

$$\text{Biaya Downtime} = (\text{Harga Jual Produk} - \text{Biaya Produksi}) \times \frac{\text{Output}}{\text{jam}} \quad (11)$$

$$\text{Biaya Kerugian} = \frac{\text{Waktu Downtime Komponen}}{\text{Konversi Waktu Per jam}} \times \text{Biaya Downtime per jam} \quad (12)$$

$$\text{Biaya Tenaga Kerja/Operator} = \frac{\frac{\text{Gaji (Rp)}}{\text{Bulan}}}{\frac{\text{Jam Kerja}}{\text{bulan (jam)}}} \quad (13)$$

$$\text{Biaya total operator} = \text{Biaya operator} \times \text{Jumlah operator} \quad (14)$$

Sehingga diperoleh biaya operator menganggur, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Operator Menganggur} = \frac{\text{Waktu Downtime Komponen}}{\text{Konversi Waktu Per jam}} \times \text{Biaya Operator/jam} \quad (15)$$

Dari perhitungan biaya *Downtime* mesin dan perhitungan biaya tenaga kerja, didapatkan total biaya awal yang dapat dirumuskan :

$$\text{TC Awal} = \text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D} \quad (16)$$

Keterangan:

A = Total biaya perawatan

B = Biaya kerugian *downtime*

C = Biaya kerugian operator menganggur

D = Biaya mekanik

- 2) Perhitungan dengan metode usulan *modularity design*.  
 Pada tahap ini akan dilakukan dengan pengelompokkan komponen dan sub komponen berdasarkan fungsi dan prosesnya, komponen yang telah dikelompokkan akan dijadikan beberapa modul yang nantinya akan dihitung distribusi kerusakan dan interval waktu perawatan nya.

- 3) Perhitungan distribusi kerusakan MTTF dan MTTR.  
 Menentukan kerusakan komponen berdasarkan interval waktu kerusakannya, menghitung rata-rata waktu kerusakan dan menghitung waktu rata rata perbaikan yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu komponen setiap modulnya dengan menggunakan *software Minitab*.

a) Distribusi *Lognormal*

$$\text{MTTF/MTTR} = \exp \left( \mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (17)$$

b) Distribusi *Normal*

$$\text{MTTF/MTTR} = \mu \quad (18)$$

c) Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTR/MTTF} = \eta^r \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (19)$$

nilai  $\Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  didapat dari  $\Gamma(x) =$  tabel fungsi gamma.

d) Distribusi *Eksponential*

$$\text{MTTR/MTTF} = \frac{1}{\lambda}$$

(Sunaryo dkk., 2021)

- 4) Perhitungan biaya perawatan meliputi perhitungan biaya penggantian komponen karena perawatan (Cp) dan biaya penggantian komponen kerusakan (Cf).

$$\mathbf{Cp = [(OC+MC) \times MTTR] + CP} \quad (20)$$

Keterangan:

Cp (*Cost of Preventive Replacement*) = Biaya penggantian komponen karena perawatan

OC (*Operator Cost*) = Biaya operator

MC (*Mechanic Cost*) = Biaya mekanik

MTTR (*Mean Time To Repair*) = Rata-rata waktu perbaikan

CP (*Component Price*) = Harga komponen

$$\mathbf{Cf = [(OC + MC + DC) \times MTTR] + CP} \quad (21)$$

Keterangan:

Cf (*Cost of Failure Replacement*) = Biaya penggantian komponen karena kerusakan

OC (*Operator Cost*) = Biaya operator

MC (*Mechanic Cost*) = Biaya mekanik

DC (*Downtime Cost*) = Biaya *downtime*

CP (*Component Price*) = Harga komponen

- 5) Menghitung interval waktu perawatan. Pada tahap ini dilakukan perhitungan interval waktu perawatan untuk setiap komponen yang sudah dikelompokkan menjadi beberapa modul.

$$TM = \eta \times \left| \frac{C_p}{C_f (\beta - 1)} \right|^{\frac{1}{\beta}} \quad (22)$$

Keterangan :

TM = Interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam

$\eta$  = Parameter skala pada distribusi *Weibull*

TC = Biaya total perawatan per satuan waktu

$C_p$  = Biaya penggantian pencegahan komponen

$C_f$  = Biaya penggantian kerusakan komponen

$\beta$  = Parameter bentuk pada distribusi *Weibull*

- 6) Perhitungan total biaya perawatan perusahaan dengan metode usulan (*Modularity Design*).

Biaya perawatan yang dihitung untuk menghasilkan biaya usulan pada perusahaan.

$$TC = \frac{C_f}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \quad (23)$$

Keterangan:

TC = Biaya total perawatan per satuan waktu

$C_f$  = Biaya penggantian kerusakan komponen

$\eta$  = Parameter skala pada distribusi *Weibull*

$\beta$  = Parameter bentuk pada distribusi *Weibull*

TM = Interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam

$C_p$  = Biaya penggantian pencegahan komponen

Sedangkan rumus perhitungan TC per tahunnya didapatkan:

$$TC/\text{tahun} = \left( \left( \frac{WD \times WH \times 60 \text{ menit}}{TM} \right) \times MTTR \times TC \right) + CP \quad (24)$$

Keterangan:

WD (*Work Day*) = Jumlah hari kerja (dalam seminggu)

WH (*Working Hours*) = Jam kerja/shift

TM = Interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam

MTTR (*Mean Time To Repair*) = Rata-rata waktu perbaikan

TC = Biaya total perawatan per satuan waktu

CP (*Component Price*) = Harga komponen

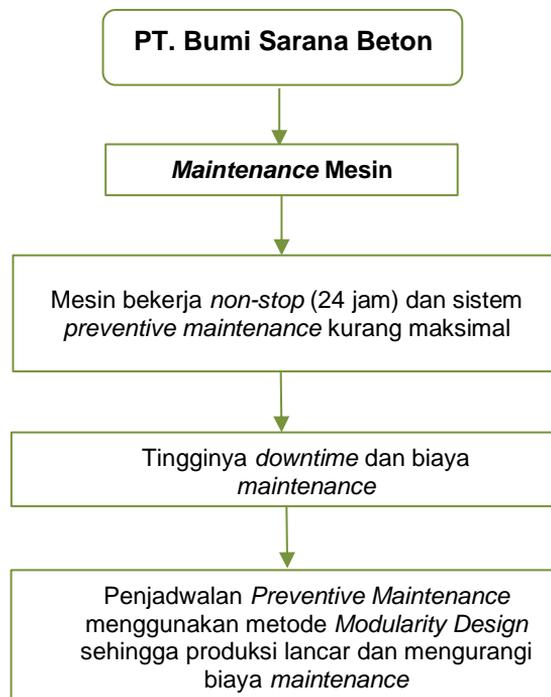
- 7) Perbandingan biaya

Pada tahap ini akan dilakukan perbandingan biaya perawatan pada perusahaan (perawatan korektif yaitu TC1) dan perawatan preventif berbasis *modularity design* (TC2). Kemudian melakukan perhitungan efisiensi dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{TC \text{ Perusahaan} - TC \text{ Usulan}}{TC \text{ Perusahaan}} \times 100\% \quad (25)$$

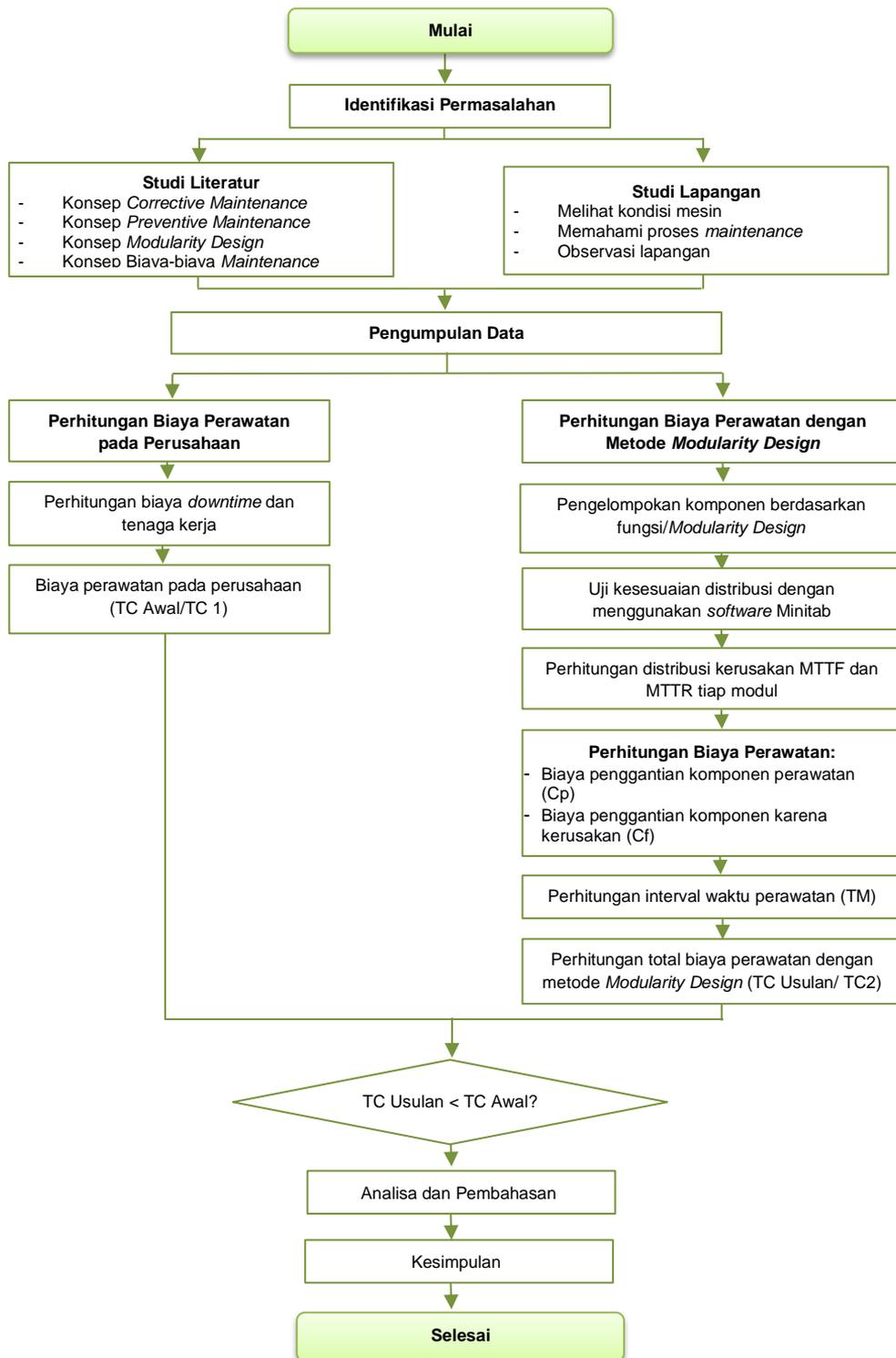
- f. **Analisa dan Pembahasan**  
Pada tahap ini akan dilakukan pembahasan dan analisa terkait hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.
- g. **Kesimpulan**  
Pada tahap ini, peneliti akan melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data yang dapat memberikan gambaran secara umum dari penelitian yang dilakukan. Kemudian memberikan beberapa masukan kepada perusahaan mengenai hasil penelitian yang dilakukan.

## 2.6 Kerangka Pikir



**Gambar 22.** Kerangka pikir penelitian

## 2.7 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 23.** Diagram alir penelitian