USULAN PENINGKATAN EFEKTIVITAS MESIN GILING MENGGUNAKAN PENDEKATAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* (TPM) PADA MASA *OFF-SEASON* DI PT MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1

Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Nama : Raihan Fatharani

No. Mahasiswa : 22522272

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 31 Agustus 2026



(Raihan Fatharani)
22522272

SURAT BUKTI PENELITIAN

PT MADUBARU
PG.PS.MADUKISMO

SURAT KETERANGAN
No. : 459 /DIR/MB/II/2026

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa,

Nama : Raihan Fathatani
NPM : 22522272

Adalah Mahasiswa Program Studi Teknik Industri dari Universitas Islam Indonesia, yang telah selesai melaksanakan Program Kerja praktik di bagian Instalasi PT.Madubaru, pada periode tanggal 1 Januari 2026 s/d 30 Maret 2026. Selanjutnya Kami Memohonkan Surat keterangan Magang Dari PT. Madubaru.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 23 Februari 2026
a/n Direktur PT Madubaru

Retno Isharsriyani
Ka. Pengembangan Aset

Padokan Tirtonirmolo Kasihan Bantul Yogyakarta 55181
Telp. (0274) 377049, 377916, Fax. (0274) 373071
E-mail : madubaru@yahoo.com

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

USULAN PENINGKATAN EFEKTIVITAS MESIN GILING MENGGUNAKAN PENDEKATAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* (TPM) PADA MASA *OFF-SEASON* DI PT MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Raihan Fatharani

No. Mahasiswa : 22522272

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Dosen Pembimbing

(Dr. Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

USULAN PENINGKATAN EFEKTIVITAS MESIN GILING MENGGUNAKAN PENDEKATAN KONSEP *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* (TPM) PADA MASA *OFF-SEASON* DI PT MADUBARU (PG-PS) MADUKISMO

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Raihan Fatharani

No. Mahasiswa : 22522272

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Tim Penguji

Dr. Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T. Ketua	
Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T Anggota I	310826
Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM. Anggota II	310826

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Dr. Sri Indrawati, S.T., M.Eng.
NIK. 105220102

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan TA ini saya persembahkan dengan rasa syukur untuk kedua orang tua saya, kedua saudara saya dan keluarga besar besri tercinta atas doa dan dukungan yang tidak pernah terputus serta kepada pihak PT.Madubaru yang sudah memberikan saya ruang dalam pengembangan penelitian ini. Semoga segala kebaikan, doa, dan dukungan yang telah diberikan senantiasa mendapat balasan terbaik, serta semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah awal untuk perjalanan yang lebih baik di masa mendatang.

MOTTO

"Setiap revisi adalah bukti bahwa saya belum menyerah."

“Langkah ini mungkin milikku, tetapi di setiap jejaknya ada doa ibu yang tak pernah putus dan kasih ayah yang tak pernah surut. Jika hari ini aku sampai pada tujuan, sesungguhnya ada cinta mereka yang senantiasa menuntunku untuk terus melangkah.”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul " Usulan Peningkatan Efektivitas Mesin Giling Menggunakan Pendekatan Konsep Total Productive Maintenance (TPM) Pada Masa Off-Season Di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo" dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam, keluarga, sahabat, serta seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Selama proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa selesainya laporan ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Sri Kusumadewi, S.Si., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Dr. Sri Indrawati, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri
3. Dr. Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T. Sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua atas kasih sayang dukungan moral dan material yang tiada henti, serta kedua saudara saya yang selalu mendoakan dan menyemangati saya.
5. Seluruh teman dan rekan seperjuangan di Program Studi Teknik Industri yang telah memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan selama proses penyusunan laporan ini.
   Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak yang membutuhkan, khususnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Industri.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 31 Agustus 2026



Raihan Fatharani

ABSTRAK

PT Madubaru (PG-PS) Madukismo merupakan satu-satunya pabrik gula dan alkohol di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang mengandalkan mesin giling sebagai peralatan utama untuk mengekstraksi nira dari tebu. Berdasarkan hasil pengamatan awal, kinerja mesin giling di Stasiun Gilingan masih belum optimal, ditandai dengan tingginya frekuensi dan durasi downtime yang menyebabkan nilai *availability rate* pada beberapa periode produksi berada di bawah standar *world class* sebesar 90%. Pendekatan pemeliharaan yang masih bersifat reaktif turut memperburuk kondisi tersebut, sehingga pemanfaatan masa *off-season* untuk perbaikan menyeluruh belum berjalan efektif.Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas kegiatan perawatan mesin giling, mengidentifikasi akar penyebab ketidakstabilan kinerja mesin, serta merumuskan usulan perawatan yang tepat guna meningkatkan efektivitas mesin. Metode yang digunakan adalah pendekatan *Total Productive Maintenance* (TPM) dengan perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), dilengkapi analisis *fishbone diagram* untuk menelusuri akar masalah, serta perancangan solusi teknis menggunakan metode VDI 2221 yang divalidasi melalui simulasi *thermal* dan struktural pada perangkat lunak Solidworks. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan mandor dan teknisi, serta studi dokumentasi data *downtime* periode Mei-Oktober 2025. Hasil penelitian menunjukkan nilai OEE rata-rata sebesar 82%, dengan titik terendah 66% pada bulan Mei, yang didominasi oleh rendahnya *availability rate* akibat kegagalan komponen seal akibat ketidaksesuaian *margin* termal terhadap suhu operasional aktual. Usulan perbaikan berupa penggantian liner kuningan dan seal PTFE *Braided Packing* terbukti layak secara teknis dan ekonomi, dengan payback period sekitar 8,06 bulan, serta mampu menurunkan frekuensi kebocoran seal hingga 50%.

Kata Kunci: *Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Root Cause Analysis*, VDI 2221, Marsed Gilingan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Kajian Literatur 7
2.2 Landasan Teori 19
2.2.1 Perawatan (Maintanance) 19
2.2.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE) 21
2.2.3 Total Productive Maintenance 22
2.2.4 Jishu Hozen (Autonomous Maintenance) 24
2.2.5 Root Cause Analysis (RCA) 26
2.2.6 Verein Deutcher Ingenieure (VDI 2221) 27
BAB III METODE PENELITIAN **29**
3.1 Objek Penelitian 29
3.2 Jenis dan Sumber Data 29
3.3 Metode Pengumpulan Data 30
3.4 Alur Penelitian 31
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA **37**
4.1 Pengumpulan Data 37
4.1.1 Data Hasil Wawancara 37
4.1.2 Data Spesifikasi Marsed Gilingan 38
4.1.3 Data Penyebab Kegagalan Komponen 39
4.1.4 Data Jumlah Produksi 40
4.1.5 Data Produk Cacat 40
4.1.6 Data Available Time 40
4.1.7 Data Downtime 41
4.1.8 Data Planed Downtime 41
4.2 Pengolahan Data 42

4.2.1 Overall Equipment Effectiveness (OEE) 42
4.2.2 Root Cause Analysis (RCA) 48
4.2.3 VDI 2221 49
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 73
5.1 Analisis Hasil Rancangan 73
5.2 Analisis Kekuatan Struktur 74
5.3 Analisis Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah 76
5.4 Analisis Perbandingan Solusi dengan Penelitian Terdahulu 80
5.5 Analisis Ekonomi dan Dampak Finansial 82
5.5.1 Analisis Investasi Awal 82
5.5.2 Analisis Penghematan Operasional 83
5.5.3 Evaluasi Kelayakan Investasi 84
5.5.4 Kesimpulan Analisis Ekonomi 85
5.6 Validasi 86
BAB VI PENUTUP 88
6.1 Kesimpulan 88
6.2 Saran 89
DAFTAR PUSTAKA 91
LAMPIRAN 94

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 data *availability rate* mesin di Pt. Madukismo 1
Tabel 2. 1 Kajian Literatur 11
Tabel 4. 1 data hasil observasi penyebab penurunan efektivitas mesin giling 37
Tabel 4. 2 Spesifikasi Marsed Gilingan 38
Tabel 4. 3 Data Penyebab Kegagalan Komponen 39
Tabel 4. 4 Data Jumlah Produksi 40
Tabel 4. 5 Data Produk Cacat 40
Tabel 4. 6 Data *Available Time* 41
Tabel 4. 7 Data Downtime 41
Tabel 4. 8 Data Planed Downtime 41
Tabel 4. 9 Data *Loading Time* 42
Tabel 4. 10 Perhitungan *Operation Time* 43
Tabel 4. 11 *Availability* 43
Tabel 4. 12 *Cycle Time* 44
Tabel 4. 13 Presentasi waktu kerja 44
Tabel 4. 14 *Iddle Cycle Time* 45
Tabel 4. 15 *Performance* 46
Tabel 4. 16 *Quality Rate* 46
Tabel 4. 17 Hasil Nilai OEE 47
Tabel 4. 18 klasifikasi perancangan 50
Tabel 4. 19 Abstraksi 1 52
Tabel 4. 20 Abstraksi II 53
Tabel 4. 21 Matrik Solusi 57
Tabel 4. 22 Struktur Modul 59
Tabel 4. 23 Alternatif Varian Solusi 60
Tabel 4. 24 Hasil Kombinasi Varian 62
Tabel 4. 25 estimasi biaya varian 1 64
Tabel 4. 26 estimasi biaya varian II 65
Tabel 4. 27 estimasi biaya varian III 65
Tabel 4. 28 Pemilihan Kombinasi 67
Tabel 4. 29 Spesifikasi Desain 71
Tabel 5. 1 Perbandingan sebelun dan sesudah usulan perbaikan 78
Tabel 5. 2 Perbandingan solusi dengan penelitian terdahulu 81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Penelitian 32
Gambar 4. 1 *fishbone diagram* 48
Gambar 4. 2 Struktur Fungsi 55
Gambar 4. 3 Struktur Fungsi Keseluruhan 56
Gambar 4. 4 Marsed Gilingan 69
Gambar 4. 5 Tampak Samping Marsed 69
Gambar 4. 6 Tampak Bawah Marsed 70
Gambar 4. 7 Tampak atas marsed 70
Gambar 4. 8 Gambar teknik marsed 71
Gambar 5. 1 Usulan Marsed 74
Gambar 5. 2 Usulan dalam marsed 75
Gambar 5. 3 sebelum usulan perbaikan 76
Gambar 5. 4 bagian dalam seal sebelum usulan perbaikan 77
Gambar 5. 5 setelah dilakukan usulan perbaikan 77
Gambar 5. 6 Bagian dalam seal setelah usulan perbaikan 77

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri Industri gula merupakan salah satu sektor strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional di Indonesia. Peningkatan kebutuhan gula dari tahun ke tahun menuntut perusahaan industri gula untuk mampu meningkatkan kapasitas dan efisiensi produksinya. Namun, dalam praktiknya, masih banyak pabrik gula yang menghadapi kendala operasional, terutama yang berkaitan dengan kinerja mesin produksi yang belum optimal.

Salah satu perusahaan yang berperan dalam industri gula nasional adalah PT Madubaru melalui unit produksinya PG-PS Madukismo yang berlokasi di Yogyakarta. Dalam proses produksinya, mesin giling merupakan peralatan utama yang berfungsi untuk mengekstraksi nira dari tebu. Keandalan mesin giling sangat menentukan kelancaran proses produksi, sehingga setiap gangguan yang terjadi pada mesin ini akan berdampak langsung terhadap output produksi.

Berdasarkan hasil Kerja Praktek yang telah dilakukan, diketahui bahwa permasalahan utama yang terjadi pada mesin giling adalah tingginya frekuensi dan durasi downtime. Downtime tersebut disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kerusakan komponen mesin, gangguan teknis saat operasi, serta kegiatan perbaikan dan penyesuaian yang membutuhkan waktu cukup lama. Berikut merupakan data *availability rate* mesin di Pt. Madukismo:

Tabel 1.1 data *availability rate* mesin di Pt. Madukismo

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	***Loading Time***	***Downtime***	***Operation Time***	***Availability***
Mei	31	43.747	14.151	29.596	68%
Juni	30	42.336	8.870,40	33.466	79%
Juli	31	43.970	912,6	43.057	98%
Agustus	31	43.836	4.270,20	39.566	90%
September	30	42.422	2.804,40	39.618	93%
Oktober	8	11.174	2.329,80	8.844	79%

Berdasarkan tabel *Availability Rate*, rendahnya nilai *availability* mesin giling di PT Madubaru disebabkan oleh tingginya *downtime* yang terjadi pada beberapa periode produksi. Nilai *availability* terendah terjadi pada bulan Mei sebesar 68% dengan *downtime* mencapai 14.151 menit dari *loading time* 43.747 menit. Selain itu, pada bulan Juni nilai *availability* sebesar 79% dengan *downtime* 8.870,40 menit, dan bulan Oktober sebesar 79% dengan *downtime* 2.329,80 menit dalam waktu operasi yang relatif singkat. Tingginya *downtime* tersebut menyebabkan waktu operasi efektif mesin berkurang sehingga mesin tidak dapat beroperasi secara optimal. Tingginya *downtime* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kerusakan komponen mesin secara tiba-tiba, gangguan teknis saat operasi, serta proses perbaikan dan penyesuaian mesin yang membutuhkan waktu lama. Dalam konsep *Total Productive Maintenance* dan *Overall Equipment Effectiveness*, nilai *availability* yang baik umumnya berada pada standar minimal 90% (Nanda et al., 2025). Oleh karena itu, nilai *availability* pada bulan Mei, Juni, dan Oktober yang masih berada di bawah 90% menunjukkan bahwa efektivitas operasional mesin giling belum optimal dan masih memerlukan perbaikan pada sistem pemeliharaan untuk mengurangi *downtime* serta meningkatkan kesiapan mesin dalam proses produksi.

Permasalahan tingginya *downtime* ini erat kaitannya dengan pendekatan pemeliharaan yang masih cenderung reaktif, di mana tindakan perbaikan dilakukan setelah terjadi kerusakan. Pendekatan ini tidak hanya berdampak pada meningkatnya frekuensi kerusakan mesin, tetapi juga menyebabkan waktu henti yang lebih lama karena proses identifikasi dan perbaikan dilakukan dalam kondisi darurat. Akibatnya, mesin menjadi lebih rentan mengalami gangguan berulang, umur pakai komponen menjadi lebih pendek, serta efisiensi produksi secara keseluruhan mengalami penurunan yang signifikan. Selain itu, biaya yang timbul akibat perbaikan mendadak cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pemeliharaan yang direncanakan secara *preventif*. Di sisi lain, keterlibatan operator dalam kegiatan pemeliharaan mandiri (*autonomous maintenance*) juga masih terbatas. Operator umumnya hanya berfokus pada pengoperasian mesin tanpa dibekali pemahaman yang memadai terkait perawatan dasar, seperti pembersihan, pelumasan, inspeksi rutin, dan deteksi gejala awal kerusakan. Kondisi ini menyebabkan potensi kerusakan kecil yang seharusnya dapat ditangani lebih awal justru berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar. Kurangnya budaya kepedulian terhadap kondisi mesin di tingkat operator turut memperlambat proses identifikasi masalah, sehingga tindakan pencegahan tidak dapat dilakukan secara optimal.

Dalam konteks industri gula, kondisi ini menjadi semakin krusial karena proses produksi bersifat musiman dan memiliki ketergantungan tinggi terhadap kesiapan mesin saat musim giling berlangsung. Terdapat periode yang dikenal sebagai masa *off-season*, yaitu waktu di luar musim giling di mana aktivitas produksi berhenti. Secara teoritis, masa ini merupakan kesempatan yang sangat strategis untuk melakukan overhaul, inspeksi menyeluruh, penggantian komponen kritis, serta implementasi program pemeliharaan terencana. Namun, berdasarkan kondisi di lapangan, pemanfaatan masa *off-season* masih belum sepenuhnya efektif. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan perencanaan pemeliharaan, kurangnya koordinasi antar bagian, keterbatasan sumber daya manusia maupun suku cadang, serta belum adanya sistem prioritas perbaikan yang berbasis data historis kerusakan. Akibatnya, tidak semua potensi permasalahan dapat diidentifikasi dan ditangani selama masa *off-season*. Dampak yang muncul adalah ketika musim giling dimulai, mesin masih berada dalam kondisi yang belum optimal dan berpotensi mengalami gangguan yang sama seperti periode sebelumnya.

Apabila kondisi tersebut terus dibiarkan tanpa adanya perbaikan pada sistem pemeliharaan, maka potensi kerusakan yang timbul tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berdampak luas terhadap keberlangsungan proses produksi. Kerusakan kecil pada komponen mesin giling yang tidak terdeteksi sejak awal berisiko berkembang menjadi kerusakan mayor yang bersifat kronis dan berulang, mengingat pola pemeliharaan yang masih reaktif cenderung menangani gejala kerusakan setelah kegagalan terjadi, bukan mencegahnya sejak dini. Kondisi ini dapat memicu efek berantai (*cascading failure*), di mana kegagalan pada satu komponen memberikan beban berlebih pada komponen lain yang saling terhubung dalam sistem mesin giling, sehingga mempercepat penurunan umur pakai keseluruhan unit. Selain itu, apabila masa off-season terus dimanfaatkan secara tidak optimal, akumulasi permasalahan yang tidak tertangani akan terbawa hingga musim giling berikutnya, sehingga risiko downtime mendadak saat produksi berlangsung akan semakin tinggi. Salah satu contoh nyata dari dampak finansial pendekatan reaktif ini terlihat pada permasalahan kebocoran seal pada marsed gilingan, di mana setiap kejadian kebocoran mengharuskan penggantian seal secara penuh dengan estimasi biaya mencapai Rp 30.000.000 per kejadian. Berdasarkan data lapangan, frekuensi kebocoran ini terjadi berkisar rata-rata 4 kali dalam sebulan, sehingga estimasi biaya yang harus ditanggung perusahaan akibat penggantian seal secara reaktif dapat mencapai kisaran Rp 120.000.000 per bulan, atau berpotensi lebih tinggi apabila diakumulasikan sepanjang periode musim giling.

Dengan demikian, apabila permasalahan ini tidak segera diatasi melalui pendekatan pemeliharaan yang lebih terencana dan sistematis, keandalan mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo akan terus menurun dan berpotensi menimbulkan beban biaya operasional yang semakin besar serta berdampak langsung pada ketidakstabilan output produksi gula secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

PT Madukismo belum melakukan pengelolaan pemeliharaan mesin secara optimal, sehingga potensi kerusakan dan downtime mesin di stasiun gilingan belum dapat dikendalikan dengan baik. Kondisi ini berdampak pada terganggunya proses produksi dan menurunnya efisiensi operasional, terutama saat musim giling. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pemeliharaan yang lebih sistematis untuk meningkatkan keandalan mesin dan menekan *downtime*. Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat efektivitas kegiatan perawatan mesin dan peralatan yang dilakukan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo dalam mendukung kegiatan produksi?
2. Faktor apa yang menjadi akar permasalahan dari tidak stabilnya kinerja mesin di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo?
3. Bagaimana usulan perawatan yang tepat untuk meningkatkan efektivitas mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas kegiatan perawatan mesin dan peralatan yang dilakukan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo dalam mendukung kegiatan produksi.
2. Mengidentifikasi faktor yang menjadi akar permasalahan dari tidak stabilnya kinerja mesin di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo
3. Merumuskan usulan perawatan yang tepat untuk meningkatkan efektivitas mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan

a. Menyajikan informasi terkait tingkat kinerja mesin giling melalui pengukuran OEE sehingga kondisi aktual operasional mesin dapat dipahami secara lebih jelas.
b. Memberikan dasar pengambilan keputusan dalam menentukan fokus perawatan mesin dengan mengacu pada prinsip-prinsip *Total Productive Maintenance* (TPM), terutama pada aktivitas perawatan mandiri dan perawatan terencana.
c. Mendukung perusahaan dalam merancang sistem pemeliharaan yang lebih terstruktur dan berkesinambungan guna meningkatkan keandalan mesin saat memasuki periode produksi berikutnya.

2. Bagi Pengembangan Ilmu dan Akademik
   a. Berkontribusi dalam pengayaan kajian Teknik Industri, khususnya terkait implementasi TPM sebagai pendekatan untuk meningkatkan efektivitas peralatan produksi.
   b. Menjadi tambahan studi empiris yang memperluas pemahaman mengenai penerapan TPM dalam industri manufaktur dengan karakteristik produksi musiman
3. Bagi Peneliti Selanjutnya
   a. Dapat dimanfaatkan sebagai rujukan dalam penelitian lanjutan yang membahas peningkatan performa mesin melalui pendekatan perawatan berbasis TPM.
   b. Memberikan nilai tambah dalam pengembangan literatur ilmiah di bidang Teknik Industri, khususnya yang berkaitan dengan optimalisasi kinerja mesin dan sistem pemeliharaan.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada stasiun giling (stasiun giling) di PT Madubaru (PG–PS) Madukismo sebagai objek utama penelitian.
2. Pengukuran kinerja mesin dilakukan menggunakan metode Overall equipment effectiveness (OEE) yang mencakup aspek Availability, performance, dan quality.
3. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan aspek finansial secara mendalam, namun tetap mempertimbangkan reduksi biaya kualitas (*cost of poor quality*) sebagai dampak dari usulan perbaikan.

4. Penelitian dibatasi pada perancangan usulan perbaikan yang diwujudkan dalam bentuk desain menggunakan software SolidWorks berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian deduktif yang memuat teori-teori yang menjadi landasan penelitian, meliputi teori *Total Productive Maintenance* (TPM), teori perawatan, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), VDI 2221,, serta kajian induktif berupa penelitian-penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rancangan penelitian, objek penelitian, teknik pengumpulan data, serta prosedur dan alur metodologi penelitian yang digunakan.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini memuat data-data yang dikumpulkan dari lapangan beserta pengolahan data secara sistematis, meliputi perhitungan OEE, dan penilaian *Total Productive Maintenance* (TPM), dan VDI 2221

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis terhadap hasil pengolahan data serta pembahasan mengenai usulan strategi perawatan yang direkomendasikan berdasarkan temuan penelitian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian yang menjawab tujuan penelitian, serta saran yang ditujukan bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi kumpulan sumber-sumber informasi yang menjadi pendukung dalam penyelesaian laporan tugas akhir

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur merupakan suatu proses sistematis dalam mengumpulkan, mempelajari, serta menganalisis berbagai sumber ilmiah yang relevan dengan topik penelitian, seperti jurnal, buku, dan hasil penelitian terdahulu. Kajian literatur tidak hanya berfungsi sebagai rangkuman teori, tetapi juga sebagai upaya untuk memahami perkembangan penelitian yang telah ada, mengidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*), serta menjadi dasar dalam penyusunan kerangka berpikir (Risqi et al., 2025). Melalui kajian literatur, peneliti dapat membandingkan berbagai hasil penelitian sebelumnya, mengkritisi metode yang digunakan, serta menemukan permasalahan yang belum terselesaikan sehingga dapat dijadikan pijakan bagi penelitian yang akan dilakukan. Kajian literatur ini diawali dengan penelusuran referensi dari jurnal nasional dan internasional yang berkaitan dengan topik melalui basis data *Google Scholar*, menggunakan kata kunci seperti "efektivitas mesin", "pemeliharaan mesin", "kinerja peralatan produksi", "manajemen perawatan", dan " keandalan mesin ". Berdasarkan hasil penelusuran tersebut, diperoleh 15 jurnal yang di susun lebih lanjut. Metode-metode tersebut kemudian dikaji secara mendalam sebagai landasan teoritis dan acuan metodologis dalam penelitian ini. Berikut uraian masing-masing jurnal tersebut.

Metode pertama yang dikaji adalah *Total Productive Maintenance* (TPM) yang dalam penerapannya senantiasa dikombinasikan dengan pengukuran *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai indikator keberhasilan. Penelitian yang dilakukan oleh (Amelia Kumala Sari et al., 2025) di UD. Palapa menerapkan TPM dengan memfokuskan pada tiga pilar utama, yaitu *autonomous maintenance*, *planned maintenance*, dan *training*, guna meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menekan downtime mesin. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai OEE hanya mencapai 71,65%, yang masih berada di bawah standar ideal industri, sehingga direkomendasikan penerapan TPM secara bertahap melalui peningkatan peran aktif operator dalam perawatan mandiri. Sejalan dengan hal tersebut, (Mujayyin & Luwi Adi, 2022) membuktikan bahwa penerapan TPM secara menyeluruh melalui delapan pilar pelaksanaan pada Pembangkit Listrik *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) mampu meningkatkan nilai OEE secara signifikan dari 53,14% menjadi 78,96%, yang dicapai melalui serangkaian perbaikan komponen, penyesuaian temperatur, dan kegiatan gemba, hingga

kapasitas energi listrik berhasil memenuhi target 30,6 MW. Adapun(Andreanus, 2024) dalam penelitiannya di PT. Electric Vehicle Trimotorindo menunjukkan bahwa *preventive maintenance* berupa penyesuaian celah cetakan moulding berhasil mendorong peningkatan nilai OEE dari 78,61% menjadi 80,36%, dengan kontribusi terbesar pada peningkatan *quality rate* dari 88,48% menjadi 92,23%. Lebih lanjut, (Pratitis & Maryanty, 2024) mengevaluasi pilar *Autonomous Maintenance* dalam penerapan TPM pada lini produksi susu kental manis di pabrik Dairy, dengan hasil step 1 dan 2 mencapai 98% serta step 3 sebesar 80%, meskipun *downtime* masih bersifat fluktuatif sehingga konsistensi penerapan perlu terus ditingkatkan. (Rafliadi et al., 2025) turut mempertegas temuan tersebut, di mana setelah penerapan TPM pada mesin moulding yang sebelumnya memiliki nilai OEE hanya 63,27%, kinerja mesin mengalami peningkatan yang lebih optimal dengan mengidentifikasi *breakdown* dan penurunan kecepatan mesin sebagai penyebab utama inefisiensi. Dari berbagai penelitian yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa TPM memiliki keunggulan dalam pendekatannya yang menyeluruh dan sistematis melalui pilar-pilar yang saling melengkapi, terbukti mampu meningkatkan efektivitas mesin secara nyata, serta bersifat fleksibel sehingga dapat diterapkan di berbagai jenis industri, mulai dari manufaktur berat hingga industri makanan dan energi.

Selanjutnya, metode OEE yang dikombinasikan dengan analisis TPM juga banyak digunakan dalam berbagai penelitian untuk mengidentifikasi sumber-sumber kerugian produksi secara lebih terperinci dan terstruktur. (Falwaguna & Ihsan, 2024) menerapkan sistem OEE *monitoring* di PT. Makmur Jaya Abadi dan berhasil mencatatkan nilai OEE sebesar 96,55% dengan rincian *Availability* 98%, *Performance* 91,67%, dan *Quality* 99,98%, yang membuktikan bahwa penerapan sistem monitoring secara *real time* memberikan dampak nyata terhadap peningkatan efisiensi produksi dan kualitas produk. Sementara itu,(Aranza Rifqi Diemsy & Ayudyah Eka Apsari, 2024) dalam penelitiannya di CV. Cahaya Setia Mulia mengombinasikan analisis OEE dengan *fishbone diagram*, dan menemukan nilai OEE rata-rata sebesar 85,29% dengan kerugian terbesar berupa defect losses sebesar 14,75%, yang disebabkan oleh mesin yang beroperasi secara terus-menerus tanpa perawatan berkala serta kurangnya ketelitian operator. (Kasum et al., 2026) dalam studi kasus UD Putra Delta mengintegrasikan OEE dan TPM pada mesin rolling otomatis dan memperoleh nilai OEE rata-rata 74%, masih di bawah standar *world class* 85%, dengan rincian *Availability* 95%, *Performance* 81%, dan *Quality* 96%, sehingga direkomendasikan penerapan pemeliharaan *preventif* terjadwal beserta penyusunan SOP kecepatan mesin yang terstandarisasi. (ZAKARIA,

2023)dalam penelitiannya di PT. Krakatau Steel menggunakan pendekatan yang lebih komprehensif dengan menggabungkan OEE, Diagram Pareto, *fishbone diagram*, dan 5W+1H, dan menemukan nilai OEE rata-rata hanya 32,75%, jauh di bawah standar, yang menghasilkan 25 usulan perbaikan yang terstruktur. Senada dengan itu, (Supriyanti & Fahrudin, 2025) melaporkan nilai OEE sebesar 73,34% pada mesin liquid filling, dengan penyebab utama yang bermuara pada rendahnya *quality rate* akibat tingginya produk cacat serta adanya minor stoppages. Berdasarkan keseluruhan penelitian yang ada, kombinasi OEE dan TPM terbukti efektif dalam mengidentifikasi secara spesifik jenis dan lokasi kerugian produksi, sehingga tindakan perbaikan yang dihasilkan lebih tepat sasaran, terukur, dan dapat diimplementasikan secara berkelanjutan di berbagai konteks industri.

Pada aspek evaluasi sistem pemeliharaan secara menyeluruh, sejumlah penelitian juga menggunakan OEE sebagai alat ukur untuk menilai kondisi pemeliharaan yang sedang berjalan sekaligus merumuskan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan. (Putri & Suryani, 2020) dalam penelitiannya di PT. Tunggal Perkasa Plantations menemukan nilai OEE sebesar 56,11% yang tergolong dalam kategori rendah, yang disebabkan oleh tingginya *downtime*, kinerja mesin yang belum optimal, serta ketidakkonsistensian kualitas produk, sehingga direkomendasikan penerapan TPM yang lebih terjadwal disertai peningkatan kemampuan tenaga kerja. (Wahid et al., 2020) dalam konteks yang berbeda justru memperoleh nilai OEE yang tinggi berkisar antara 95% hingga 99% pada lini produksi botol, namun tetap menemukan permasalahan pada pengaturan mesin dan pemeliharaan yang dipengaruhi oleh faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan, sehingga perbaikan pada sistem *preventive maintenance* masih diperlukan. (Amaruddin, 2020) melengkapi perspektif ini dengan mengevaluasi delapan pilar TPM di PT. MAA Karawang menggunakan radar chart, dan menemukan bahwa hanya tiga pilar yang mencapai target di atas nilai 7, yakni Focused Improvement, Safety Health and Environment, dan Office TPM, sementara pilar *Autonomous Maintenance* masih sangat rendah dengan skor 4,6, mengindikasikan perlunya program pembinaan operator yang lebih intensif dan terstruktur.

Selain pendekatan berbasis OEE dan TPM, kajian literatur ini juga mencakup penelitian yang menerapkan strategi perawatan dan metode perancangan sistematis VDI 2221 sebagai dasar dalam merancang alat bantu kerja. (Adoe et al., 2022) dalam perancangan alat pirolisis reaktor tabung bertingkat menggunakan metode VDI 2221 untuk menentukan konsep dan varian terbaik, dengan hasil terpilihnya Konsep 4 sebagai desain terbaik yang mampu mengolah

limbah plastik menjadi minyak, residu, dan gas. Sejalan dengan itu, (Fachri et al., 2026) merancang *handcycle* ergonomis untuk penyandang disabilitas dengan menerapkan metode VDI 2221 berbasis antropometri dan analisis kekuatan struktur rangka, dan berhasil memilih Varian 2 sebagai desain terbaik dengan struktur rangka yang dinyatakan aman. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode VDI 2221 efektif digunakan untuk menghasilkan rancangan alat yang sistematis, teruji, dan sesuai kebutuhan pengguna, sehingga relevan diadopsi dalam merancang alat bantu autonomous maintenance pada penelitian ini

Keterangan: A = OEE, B= TPM, C = *Maintenance Strategy*, D = VDI 2221 E = *Fishbone Diagram*

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
1	(Amelia Kumala Sari et al., 2025)	Mesin produksi di UD. Palapa	meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi *downtime* mesin	Nilai OEE hanya mencapai 71,65%, masih di bawah standar ideal industri. merekomendasikan penerapan TPM secara bertahap melalui peningkatan peran operator dalam perawatan mandiri	√	√	√	-	-
2	(Falwaguna & Ihsan, 2024)	Mesin produksi di PT. Makmur Jaya Abadi	mengukur efektivitas mesin produksi menggunakan metode *Overall Equipment*	nilai OEE keseluruhan sebesar 96,55% dengan *Availability* 98%, *Performance* 91,67%, dan *Quality* 99,98%, yang	√	-	-	-	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
			Effectiveness (OEE) yang melibatkan tiga faktor utama yaitu *Availability*, *Performance*, dan *Quality*	membuktikan penerapan sistem ini memberikan manfaat nyata berupa peningkatan efisiensi produksi dan kualitas produk.					
3	(Mujayyin & Luwi Adi, 2022)	Mesin Pembangkit Listrik *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) di Pabrik Semen Tuban	meningkatkan kapasitas produksi energi pada pabrik semen di Tuban	nilai OEE awal sebesar 53,14% berhasil meningkat menjadi 78,96% setelah diterapkannya TPM secara menyeluruh melalui perbaikan komponen.	√	√	√	-	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
4	(Aranza Rifqi Diemsy & Ayudyah Eka Apsari, 2024)	Mesin jahit di CV. Cahaya Setia Mulia	menganalisis sistem perawatan mesin dan faktor yang mempengaruhi nilai OEE pada mesin jahit.	nilai OEE sebesar 85,29%, dimana kerugian terbesar adalah *defect losses* sebesar 14,75% yang disebabkan mesin beroperasi terus-menerus tanpa perawatan berkala	√	-	-	-	√
5	(Kasum et al., 2026)	Mesin rolling otomatis di UD Putra Delta	mengevaluasi tingkat efektivitas mesin rolling otomatis serta mengidentifikasi faktor kerugian dominan yang mempengaruhi kinerjanya.	nilai OEE rata-rata sebesar 74% yang masih berada di bawah standar *world class* 85%, dengan *Availability* 95%, *Performance* 81%, dan *Quality* 96%.	√	-	-	-	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
6	(ZAKARIA, 2023)	Mesin Continuous Pickling Line (CPL) di PT. Krakatau Steel	Mengukur efektivitas mesin Continuous Pickling Line (CPL)	menunjukkan nilai OEE rata-rata sebesar 32,75% jauh di bawah standar *world class* 85%,	√	√	-	-	√
7	(Andreanus, 2024)	Mesin moulding di PT. Electric Vehicle Trimotorind	meningkatkan nilai OEE serta menganalisis faktor-faktor penyebab penurunan nilai OEE	nilai OEE meningkat dari 78,61% menjadi 80,36%, dapat disimpulkan bahwa penerapan TPM melalui *preventive maintenance* dapat meningkatkan efektivitas mesin	√	√	-	-	-
8	(Adoe et al., 2022)	Perancangan alat pirolisis reaktor tabung bertingkat	Merancang alat pirolisis, menentukan konsep/varian terbaik,	Terpilih Konsep 4 sebagai desain terbaik, alat berhasil dibuat sesuai rancangan, pengujian	-	-	√	√	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
			menghasilkan alat yang dapat mengolah limbah plastik menjadi	menghasilkan minyak, residu, dan gas dari proses pirolisis.					
9	(Putri & Suryani, 2020)	Mesin produksi di PT. Tunggal Perkasa Plantations	Analisis efektivitas pemeliharaan mesin produksi menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE	bahwa pemeliharaan mesin sudah berjalan cukup baik, namun belum optimal, dengan nilai OEE sebesar 56,11% yang termasuk kategori rendah	√	√	-	-	-
10	(Pratitis & Maryanty, 2024)	Mesin lini produksi susu kental manis di Pabrik DairyOEE	mengevaluasi penerapan TPM, khususnya pilar *Autonomous Maintenance* (AM)	bahwa penerapan TPM sudah berjalan cukup baik, ditandai dengan peningkatan pada setiap tahap AM (step 1 dan 2 mencapai	√	-	-	-	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
				98%, step 3 sebesar 80%) serta adanya perbaikan pada perawatan mesin.					
11	(Wahid et al., 2020)	Mesin lini produksi botol	Analisis efektivitas pemeliharaan mesin produksi menggunakan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)	nilai OEE tinggi (±95%–99%), namun masih terdapat masalah pada *downtime*, pengaturan mesin, dan *maintenance* yang dipengaruhi faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan	√	-	√	-	-
12	(Rafliadi et al., 2025)	Mesin moulding (industri manufaktu	mengukur efektivitas mesin serta mengidentifikasi	menunjukkan nilai OEE sebesar 63,27% (di bawah standar), dengan penyebab	√	√	-	-	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
			penyebab kerugian produksi	utama breakdown dan penurunan kecepatan mesin, namun setelah penerapan TPM terjadi peningkatan kinerja mesin menjadi lebih optimal					
13	(Supriyanti & Fahrudin, 2025)	Mesin liquid filling (industri manufaktur)	menganalisis efektivitas kinerja mesin liquid filling menggunakan metode TPM melalui pengukuran OEE	nilai OEE sebesar 73,34% yang masih di bawah standar 85%, dengan masalah utama pada rendahnya *quality rate* akibat tingginya produk cacat serta adanya minor stoppages	√	√	-	-	-
14	(Fachri et al., 2026)	Perancangan *handcycle* ergonomis	Menerapkan metode VDI 2221, Mendesain	Terpilih Varian 2 sebagai desain terbaik, desain ergonomis	-	-	√	√	-

No	Penulis	Objek Penelitian	Tujuan	Hasil	A	B	C	D	E
		untuk penyandang disabilitas	produk berbasis antropometri, menganalisis kekuatan struktur rangka.	dengan kursi *adjustable*, struktur rangka dinyatakan aman					
15	(Amaruddin, 2020)	Mesin-mesin produksi di PT. MAA Karawang	menganalisis penerapan TPM melalui evaluasi 8 pilar TPM menggunakan metode *interview*, observasi, dan analisis radar chart	bahwa dari skor penuh 10, hanya 3 pilar yang mencapai target di atas 7 yaitu *Focused Improvement* (7), *Safety Health* and *Environment* (8,5), dan *Office* TPM (10), sementara pilar lainnya masih di bawah target terutama *Autonomous Maintenance*	-	√	-	-	-

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan pengukuran efektivitas mesin menggunakan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), analisis akar penyebab menggunakan *Fishbone Diagram*, serta penyusunan usulan perbaikan berbasis *Total Productive Maintenance* (TPM) yang didukung dengan perancangan desain alat menggunakan metode VDI 2221. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada pengukuran efektivitas mesin atau pemberian rekomendasi perbaikan tanpa menghasilkan rancangan implementasi yang dapat mendukung pelaksanaan pemeliharaan di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan keempat pendekatan tersebut untuk menghasilkan usulan perbaikan yang lebih komprehensif, aplikatif, dan implementatif dalam meningkatkan efektivitas mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini akan diuraikan teori serta metode yang menjadi landasan dalam pelaksanaan tugas akhir.

2.2.1 Perawatan *(Maintanance)*

Maintenance (perawatan) adalah serangkaian tindakan yang dilakukan untuk menjaga, memelihara, dan memperbaiki kondisi suatu mesin agar tetap dapat berfungsi sebagaimana mestinya hingga mencapai kondisi yang dapat diterima. Menurut (Arya Guna & Sultan Ageng Tirtayasa, 2025) Kegiatan *maintenance* menjadi faktor penentu keberhasilan produksi, terutama pada mesin-mesin yang digunakan secara intensif dalam proses manufaktur. Mesin produksi akan berjalan dengan lancar apabila didukung oleh sistem perawatan yang terorganisasi dengan baik. Berikut merupakan jenis-Jenis maintenance yaitu:

1. *Preventive Maintenance*

   Preventive maintenance merupakan bentuk pemeliharaan yang dilakukan secara rutin dan terjadwal dengan tujuan mencegah kerusakan sebelum terjadi. Kegiatan ini meliputi:

   - Pengecekan komponen secara berkala
   - Pelumasan pada bagian-bagian yang bergerak
   - Pembersihan mesin dari kotoran, debu, maupun serpihan material
   - Inspeksi berkala terhadap kondisi keseluruhan mesin
   - Kalibrasi dan penggantian komponen secara terjadwal

Pelaksanaan *preventive maintenance* umumnya dibagi menjadi tiga skala waktu, yaitu harian (sebelum memulai kerja), mingguan (pemeriksaan sistem pelumasan dan kebersihan), serta bulanan (pengecekan menyeluruh oleh teknisi).

2. *Corrective Maintenance*

   Corrective maintenance merupakan kegiatan perbaikan yang dilakukan setelah kerusakan terjadi sehingga mesin tidak dapat berfungsi secara normal. Tindakan yang dilakukan meliputi:

   - *Replacement* (Penggantian Komponen): mengganti komponen yang sudah aus atau rusak, seperti bearing, spindle, kabel listrik, maupun belt penggerak
   - *Reparation* (Perbaikan Komponen): melakukan perbaikan ringan seperti mengencangkan baut, menyetel ulang posisi komponen, atau menambal kebocoran. Apabila kerusakan cukup berat, perbaikan dilakukan dengan bantuan teknisi eksternal

Maintenance memiliki beberapa tujuan, secara umum, kegiatan *maintenance* bertujuan untuk:

1. Mencegah kerusakan mendadak yang dapat menghentikan proses produksi
2. Memperpanjang umur pakai mesin
3. Menjaga kebersihan dan keamanan mesin serta keselamatan operator
4. Memastikan proses produksi berjalan tanpa hambatan sesuai target yang direncanakan

Pengaruh *Maintenance* terhadap Produktivitas sangat berpengaruh. Penerapan *maintenance* yang terstruktur dan konsisten terbukti memberikan dampak positif terhadap produktivitas, di antaranya:

1. Menurunkan tingkat kerusakan mesin hingga 35% dibandingkan sebelum adanya jadwal perawatan tetap
2. Mengurangi waktu henti mesin (*downtime*) hingga 40%, yang berdampak langsung pada kelancaran produksi dan ketepatan pengiriman produk

Kendala dalam Pelaksanaan *maintenance*, dalam praktiknya, pelaksanaan *maintenance* sering menghadapi beberapa kendala, antara lain:

1. Belum tersedianya sistem pencatatan digital yang terstruktur
2. Ketergantungan pada teknisi senior atau teknisi eksternal untuk menangani kerusakan kompleks
3. Keterbatasan ketersediaan suku cadang yang dapat memperlambat proses perbaikan

2.2.2 *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah metode pengukuran yang digunakan untuk menilai seberapa efektif suatu mesin produksi beroperasi dibandingkan dengan kondisi idealnya. Menurut (Cahyono & Wulandari, 2026) metode ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja mesin melalui tiga komponen utama, yaitu *Availability Rate*, *Performance Efficiency*, dan Quality Rate. Ketiga komponen tersebut dikalikan untuk menghasilkan nilai OEE. *Availability Rate* mengukur proporsi waktu nyata mesin beroperasi dibandingkan total waktu yang direncanakan untuk produksi, dengan memperhitungkan seluruh kejadian *downtime* baik yang terencana maupun tidak terencana. *Performance Efficiency* menggambarkan kemampuan mesin dalam menghasilkan output sesuai dengan kecepatan idealnya, dihitung dengan membandingkan produksi aktual terhadap kapasitas ideal berdasarkan *cycle time* standar. Sementara itu, *Quality Rate* mencerminkan persentase produk yang memenuhi standar kualitas dari keseluruhan *output* yang dihasilkan, sehingga semakin sedikit produk cacat maka nilai *quality* akan semakin tinggi.

Menurut (Nanda et al., 2025) beberapa penelitian menunjukkan bahwa nilai OEE pada berbagai jenis mesin produksi umumnya masih berada di bawah standar kelas dunia 85%. Penelitian pada mesin di industri manufaktur komponen otomotif mencatat nilai OEE rata-rata sebesar 72%, dengan kerugian terbesar bersumber dari *Reduced Speed Losses* yang dipicu oleh keausan komponen, ketidakstabilan feeding, dan gangguan sensor. Sementara penelitian lain pada mesin di industri manufaktur skala UKM mencatat nilai OEE sebesar 74%, di mana *Reduced Speed Losse*s menjadi kerugian paling dominan sebesar 15% atau setara dengan kehilangan waktu 54 menit per hari. Analisis lebih lanjut menggunakan fishbone diagram mengungkapkan bahwa penurunan kecepatan operasi dipengaruhi oleh faktor manusia, mesin, metode, dan lingkungan kerja.

Secara matematis, nilai OEE dihitung sebagai hasil perkalian antara *Availability*, *Performance Efficiency*, dan *Rate of Quality Product*, yang dirumuskan sebagai berikut:

OEE = *Availability* × *Performance Efficiency* × *Rate of Quality Product* × 100%

Berikut merupakan rumus indikator dalam menentukan OEE:

a. *Availability*

   Availability menggambarkan tingkat kesiapan mesin dalam beroperasi dibandingkan dengan waktu yang direncanakan (*loading time*). Nilai ini diperoleh dengan mengurangi waktu *loading* dengan *downtime* (waktu mesin berhenti karena kerusakan, setup, atau

gangguan lain), lalu dibagi dengan *loading time*. Semakin kecil *downtime* yang terjadi, maka nilai *availability* akan semakin tinggi, yang berarti mesin lebih sering dalam kondisi siap digunakan.

b. *Performance*

Performance mengukur seberapa optimal kecepatan produksi dibandingkan dengan kecepatan ideal mesin. Rumus ini membandingkan jumlah *output* yang dihasilkan dikalikan dengan waktu siklus ideal terhadap waktu operasi aktual. Jika mesin berjalan lebih lambat dari kapasitas idealnya (misalnya karena keausan atau operator), maka nilai *performance* akan menurun. Dengan kata lain, *performance* menunjukkan adanya kehilangan kecepatan produksi.

c. *Quality*

Quality menunjukkan persentase produk yang memenuhi standar kualitas dibandingkan dengan total produk yang diproses. Nilai ini dihitung dengan mengurangi jumlah produk cacat dari total produksi, kemudian dibagi dengan total produksi. Semakin sedikit produk cacat yang dihasilkan, maka nilai *quality* akan semakin tinggi. Faktor ini penting karena meskipun produksi tinggi, jika banyak cacat maka efektivitas tetap rendah.

2.2.3 *Total Productive Maintenance*

Total Productive Maintenance (TPM) adalah sebuah strategi manajemen perawatan mesin yang bersifat menyeluruh dan melibatkan semua lapisan organisasi, mulai dari operator di lantai produksi, teknisi *maintenance*, hingga manajemen puncak. Menurut (Satria, 2025) TPM tidak sekadar menjadi metode teknis perawatan mesin, melainkan juga merupakan filosofi kerja yang menekankan partisipasi total seluruh elemen perusahaan dalam menjaga keandalan dan keberlangsungan operasional peralatan produksi. Pendekatan ini lahir dari kesadaran bahwa kerusakan mesin tidak bisa hanya diselesaikan oleh tim teknis saja, melainkan membutuhkan keterlibatan aktif semua pihak yang berinteraksi langsung maupun tidak langsung dengan mesin tersebut. Berbeda dengan sistem perawatan konvensional yang bersifat reaktif yakni melakukan perbaikan hanya ketika kerusakan sudah terjadi TPM mendorong perusahaan untuk beralih ke pendekatan yang lebih proaktif dan *preventif*. Tujuan ideal yang ingin dicapai melalui penerapan TPM adalah kondisi yang dikenal sebagai *zero breakdown* (nol kerusakan), *zero defect* (nol produk cacat), dan *zero accident* (nol kecelakaan kerja). Ketiga kondisi ideal ini mencerminkan tingkat kematangan sistem perawatan yang paling tinggi, di mana mesin

beroperasi secara optimal, produk yang dihasilkan selalu memenuhi standar, dan lingkungan kerja terjaga keselamatannya.

Dalam implementasinya, TPM ditopang oleh delapan pilar utama yang masing-masing memiliki fungsi dan fokus yang berbeda namun saling melengkapi yaitu:

1. *Autonomous Maintenance* (*Jishu Hozen*) , Pilar ini mendorong operator mesin untuk tidak sekadar mengoperasikan mesin, tetapi juga bertanggung jawab terhadap perawatan dasarnya. Aktivitas yang dilakukan meliputi pembersihan rutin, pelumasan, pengencangan baut, dan inspeksi ringan. Dengan *autonomous maintenance*, potensi kerusakan kecil dapat terdeteksi lebih awal sebelum berkembang menjadi kerusakan besar yang membutuhkan *downtime* panjang.
2. *Planned Maintenance*, Pilar ini mengatur pelaksanaan perawatan secara terjadwal berdasarkan waktu atau kondisi mesin tertentu. Tujuannya adalah mencegah kerusakan sebelum terjadi, bukan menunggu mesin rusak terlebih dahulu. Perawatan *preventif* yang konsisten terbukti mampu menekan frekuensi *breakdown* dan memperpanjang umur mesin secara signifikan.
3. *Focused Improvement* , Pilar ini berfokus pada kegiatan perbaikan berkelanjutan yang diarahkan pada area atau masalah yang memberikan dampak paling besar terhadap efisiensi produksi. Pendekatan yang digunakan biasanya berupa analisis akar penyebab masalah (*root cause analysis*) secara sistematis agar solusi yang diberikan bersifat permanen, bukan sekadar penanganan sementara.
4. *Training and Education*, Pilar ini menekankan pentingnya peningkatan kompetensi operator dan teknisi secara berkelanjutan. Operator yang terlatih dengan baik akan mampu mengenali tanda-tanda awal kerusakan, memahami prosedur perawatan mandiri, dan merespons gangguan mesin dengan lebih cepat dan tepat.
5. *Early Equipment Management*, Pilar ini melibatkan tim produksi dan pemeliharaan sejak tahap awal perancangan atau pengadaan mesin baru. Tujuannya agar mesin yang diperoleh sudah dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan perawatan, sehingga biaya dan waktu perawatan di masa operasional dapat diminimalkan.
6. *Quality Maintenance*, Pilar ini berfokus pada upaya memastikan bahwa mesin tidak menjadi sumber cacat produksi. Dengan menjaga kondisi mesin pada standar yang tepat, kualitas produk yang dihasilkan pun dapat terjaga secara konsisten tanpa bergantung semata pada inspeksi akhir.

7. *Office* TPM , Pilar ini memperluas prinsip TPM ke area non-produksi seperti departemen logistik, pembelian, perencanaan, dan administrasi. Efisiensi di area pendukung ini sangat penting karena keterlambatan dalam pengadaan suku cadang atau perencanaan jadwal perawatan dapat secara langsung menghambat kelancaran operasional mesin di lantai produksi.
8. *Safety*, *Health*, and *Environment*, Pilar ini memastikan bahwa semua aktivitas perawatan dan operasional mesin dilaksanakan dengan memperhatikan keselamatan pekerja, kesehatan, dan dampak lingkungan. Keselamatan kerja bukan dianggap sebagai beban tambahan, melainkan sebagai bagian integral dari sistem TPM yang baik.

2.2.4 *Jishu Hozen (Autonomous Maintenance)*

Jishu Hozen atau yang dikenal sebagai *Autonomous Maintenance* (pemeliharaan mandiri) merupakan salah satu pilar utama dalam konsep *Total Productive Maintenance* (TPM) yang berfokus pada keterlibatan aktif operator dalam menjaga dan merawat kondisi mesin atau peralatan produksi. Menurut (Rekayasa Lingkungan et al., 2020) konsep ini menekankan bahwa operator bukan hanya sebagai pengguna mesin, tetapi juga sebagai pihak yang bertanggung jawab terhadap kondisi dasar mesin agar tetap dalam keadaan optimal. Dengan demikian, pemeliharaan tidak hanya menjadi tanggung jawab bagian *maintenance*, melainkan menjadi tanggung jawab bersama seluruh elemen produksi. Secara konseptual, *Autonomous Maintenance* bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi mesin dengan cara mencegah terjadinya kerusakan sejak dini. Hal ini dilakukan melalui aktivitas perawatan rutin yang sederhana namun konsisten, seperti pembersihan, inspeksi, pelumasan, dan pengencangan komponen. Kegiatan-kegiatan tersebut memungkinkan operator untuk mendeteksi gejala awal kerusakan (*early detection*), sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar. Dengan penerapan yang baik, *Jishu Hozen* dapat mengurangi *downtime*, memperpanjang umur mesin, serta meningkatkan kualitas dan kuantitas output produksi .

Selain itu,menurut (Andiyana & Latif Iskandar, 2024) *Jishu Hozen* juga berperan penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap tim *maintenance*, karena operator telah dibekali kemampuan dasar dalam pemeliharaan mesin. Hal ini berdampak pada peningkatan respons terhadap gangguan mesin, sehingga waktu tunggu perbaikan dapat diminimalisir. Dalam jangka panjang, penerapan *Autonomous Maintenance* mampu menciptakan budaya kerja

yang lebih proaktif dibandingkan reaktif, di mana potensi masalah diantisipasi sebelum benar-benar terjadi.Implementasi *Jishu Hozen* didasarkan pada prinsip kemandirian (*autonomous*) dan didukung oleh penerapan konsep 5S, Prinsip-prinsip yang terkandung dalam lima S, menjadi landasan dalam pelaksanaan *autonomous maintenance*, yaitu:

1. *SEIRI* (penyaringan): Menghapus barang-barang yang tidak perlu.
2. *SEITON* (pengaturan): Mengatur barang-barang yang diperlukan dengan teratur.
3. *SEISO* (pembersihan): Membersihkan peralatan dan area kerja.
4. *SEIKATSU* (standarisasi): Menetapkan standar untuk kegiatan yang ada.
5. *SHITSUKE* (pelatihan dan disiplin): Meningkatkan pelatihan dan disiplin

Dalam pelaksanaannya, *Jishu Hozen* dilakukan melalui serangkaian langkah yang sistematis dan berkelanjutan. Tahapan awal dimulai dengan pembersihan menyeluruh (*initial cleaning*) untuk menghilangkan kotoran dan menemukan potensi masalah pada mesin. Selanjutnya dilakukan identifikasi dan eliminasi sumber kontaminasi serta perbaikan pada area yang sulit dijangkau. Setelah itu, dibuat standar kerja untuk aktivitas pembersihan, pelumasan, dan inspeksi agar kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan secara konsisten. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan inspeksi mandiri oleh operator, diikuti dengan standarisasi prosedur dan penerapan manajemen visual. Pada tahap akhir, dilakukan peningkatan berkelanjutan (*continuous improvement*) guna memastikan kondisi mesin selalu berada dalam performa optimal . Lebih lanjut, *Autonomous Maintenance* juga berkontribusi dalam pencapaian tujuan utama TPM, yaitu *zero breakdown* (tidak ada kerusakan), *zero defect* (tidak ada cacat produk), dan *zero accident* (tidak ada kecelakaan kerja). Dengan keterlibatan operator dalam menjaga kondisi mesin, potensi kerusakan dapat diminimalkan sehingga proses produksi berjalan lebih stabil dan terkendali. Selain itu, kualitas produk yang dihasilkan juga menjadi lebih konsisten karena mesin beroperasi dalam kondisi yang optimal

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam pelaksanaan *autonomous maintenance*:

1. Persiapan Karyawan: Operator diberikan pelatihan mengenai TPM, manfaatnya, dan prosedur *Jishu Hozen*.
2. Pembersihan Awal Mesin: Bersama tim pemeliharaan, operator membersihkan mesin secara menyeluruh. Masalah dikategorikan dan diberi tanda: putih untuk area yang bisa diperbaiki sendiri, merah muda untuk area yang memerlukan bantuan teknisi.
3. Tindakan Pencegahan: Bagian mesin dimodifikasi untuk mencegah penumpukan kotoran atau debu serta mengurangi risiko kerusakan.

4. Peningkatan Standar Jishu Hozen: Jadwal rutin pembersihan, inspeksi, dan pelumasan dibuat dan diikuti dengan disiplin, mencakup detail "kapan, apa, dan bagaimana".
5. Inspeksi Umum: Operator dilatih keterampilan teknis seperti pneumatik, kelistrikan, hidrolika, pelumasan, serta keselamatan, agar inspeksi dilakukan dengan benar.
6. Inspeksi Otonom: Operator membuat jadwal inspeksi mandiri, menerapkan metode baru, dan menyesuaikan frekuensi pemeriksaan berdasarkan pengalaman.
7. Standarisasi Lingkungan Kerja: Area sekitar mesin diatur rapi, barang penting disusun agar mudah dijangkau dan efisiensi kerja meningkat.
8. *Autonomous maintenance*: OEE, OPE, dan tujuan TPM lainnya harus dicapai melalui perbaikan berkelanjutan melalui Kaizen. Siklus PDCA (Plan, Do, Check, and Act) harus diterapkan dalam upaya Kaizen.

2.2.5 *Root Cause Analysis (RCA)*

Salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah yaitu metode *Fishbone Diagram* atau Diagram Sebab-Akibat merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab suatu permasalahan secara sistematis. Metode ini diperkenalkan oleh Kaoru Ishikawa sehingga sering disebut juga sebagai Diagram Ishikawa. *Fishbone Diagram* digunakan untuk mengelompokkan berbagai faktor penyebab yang berkontribusi terhadap munculnya suatu masalah sehingga hubungan antara masalah dan penyebabnya dapat dipahami dengan lebih jelas. Menurut (Prasetyo et al., 2024) *Fishbone Diagram* merupakan alat analisis yang banyak digunakan dalam pengendalian kualitas, manajemen operasional, dan perbaikan berkelanjutan karena mampu membantu proses identifikasi penyebab masalah secara terstruktur. Diagram ini menggambarkan hubungan antara suatu masalah sebagai akibat (*effect*) dengan berbagai faktor penyebab (*cause*) yang dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama. Secara umum, faktor penyebab dalam *Fishbone Diagram* dikelompokkan berdasarkan pendekatan 5M+1E, yaitu *Man* (manusia), *Machine* (mesin), *Method* (metode), *Material* (material), *Measurement* (pengukuran), dan *Environment* (lingkungan). Setiap kategori kemudian dianalisis lebih lanjut untuk menemukan penyebab-penyebab yang berpotensi menimbulkan masalah. Dengan pendekatan ini, peneliti dapat mengidentifikasi berbagai faktor yang saling berkaitan dan menentukan akar penyebab yang paling dominan. Dalam penelitian ini, *Fishbone Diagram* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab rendahnya nilai *Availability Rate* pada mesin giling. Melalui pengelompokan penyebab berdasarkan aspek manusia, mesin, metode, material,

pengukuran, dan lingkungan, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai sumber permasalahan sehingga usulan perbaikan yang diberikan menjadi lebih tepat sasaran dan efekti. Penyusunan *Fishbone Diagram* dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara dengan narasumber yang terlibat langsung dalam operasional dan pemeliharaan mesin giling, serta data historis downtime dan perawatan mesin. Narasumber utama terdiri dari Kepala Mandor Stasiun Gilingan, Staf Mandor Stasiun Gilingan, dan teknisi mesin giling yang memiliki pengalaman langsung dalam menangani kerusakan dan perawatan mesin

2.2.6 *Verein Deutcher Ingenieure* (VDI 2221)

Metode *Verein Deutcher Ingenieure* (VDI 222) merupakan metode perancangan produk yang dikembangkan oleh *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) atau Persatuan Insinyur Jerman sebagai pendekatan sistematis dalam merancang suatu sistem teknik maupun produk teknik. Metode ini bertujuan menghasilkan rancangan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna melalui tahapan yang terstruktur, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga menghasilkan desain akhir yang siap direalisasikan. Menurut (Jurnal et al., 2022)Pada dasarnya, metode VDI 2221 dikembangkan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam proses perancangan akibat pengambilan keputusan yang hanya didasarkan pada pengalaman atau intuisi semata. Melalui pendekatan sistematis, setiap tahapan perancangan dilakukan secara berurutan sehingga setiap keputusan yang diambil memiliki dasar teknis yang jelas. Selain itu, metode ini memberikan fleksibilitas kepada perancang untuk menghasilkan beberapa alternatif konsep, kemudian memilih konsep terbaik berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Oleh karena itu, metode VDI 2221 banyak digunakan dalam penelitian maupun pengembangan produk karena mampu menghasilkan rancangan yang lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.. Pendekatan sistematis tersebut memungkinkan proses perancangan dilakukan secara logis, terdokumentasi, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Metode VDI 2221 membagi proses perancangan ke dalam empat tahapan utama, yaitu

1. Penjabaran tugas (*clarification of task*)
2. Penentuan konsep (*conceptual design*)
3. Perancangan wujud (*embodiment design*)
4. Perancangan rinci (*detail design*)

Pada tahap penjabaran tugas dilakukan identifikasi kebutuhan pengguna, pengumpulan informasi, serta penyusunan spesifikasi berdasarkan persyaratan yang harus dipenuhi (*demand*)

maupun persyaratan yang bersifat keinginan (*wishes*). Spesifikasi tersebut menjadi dasar dalam seluruh proses perancangan berikutnya. Tahap selanjutnya adalah penentuan konsep, yaitu menyusun struktur fungsi, menentukan subfungsi, menghasilkan berbagai alternatif solusi, kemudian mengevaluasi setiap alternatif berdasarkan kriteria teknis, kemudahan manufaktur, biaya, keamanan, kemudahan perawatan, dan aspek lainnya untuk memperoleh konsep terbaik. Setelah konsep terpilih diperoleh, proses dilanjutkan ke tahap perancangan wujud, yaitu mengembangkan konsep menjadi bentuk produk melalui penentuan konfigurasi komponen, dimensi, tata letak, serta hubungan antarbagian. Tahap terakhir adalah perancangan rinci, yaitu penyusunan gambar teknik, spesifikasi komponen, ukuran detail, serta dokumen pendukung yang diperlukan dalam proses pembuatan produk.

.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Mesin giling yang beroperasi di Stasiun Gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, Yogyakarta, menjadi objek utama yang dikaji dalam penelitian ini. PT Madubaru merupakan perusahaan manufaktur satu-satunya di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang memproduksi gula dan alkohol, dengan pola operasional yang bersifat musiman selama sekitar enam bulan dalam setiap periode giling. Stasiun Gilingan dipilih sebagai lokasi penelitian karena memegang peranan yang tidak tergantikan dalam rangkaian proses produksi gula, yakni sebagai tahap awal pengambilan nira langsung dari batang tebu. Adapun tujuan dari penelitian ini secara menyeluruh adalah mengevaluasi efektivitas kinerja mesin giling, menggali akar dari berbagai faktor kerugian yang paling berpengaruh terhadap performa mesin, serta menyusun usulan pendekatan perawatan yang sistematis dan didukung oleh data historis operasional demi terwujudnya peningkatan keandalan mesin dan optimalisasi jalannya proses produksi.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Keberhasilan suatu penelitian sangat bergantung pada kualitas dan kelengkapan data yang digunakan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini proses pengumpulan data dilakukan secara terstruktur melalui dua jenis sumber yang berbeda, yaitu data primer dan data sekunder, yang keduanya saling melengkapi satu sama lain. Berikut penjelasan masing-masing data tersebut:

1. Data Primer

   Data primer merupakan data yang diperoleh peneliti secara langsung dari lapangan tanpa melalui perantara. Pengumpulan data ini dilaksanakan melalui serangkaian kegiatan observasi lapangan, wawancara mendalam, serta diskusi langsung bersama teknisi dan operator mesin giling yang berpengalaman di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Pendekatan ini dipilih karena informasi mengenai kondisi aktual mesin dan pola kerusakan yang terjadi seringkali tidak sepenuhnya terdokumentasikan secara tertulis, sehingga penggalian informasi secara langsung dari pelaku lapangan menjadi sangat diperlukan. Data yang berhasil dihimpun melalui jalur ini meliputi gambaran umum alur proses produksi beserta karakteristik operasional mesin giling, pemetaan komponen-komponen mesin yang paling rentan terhadap gangguan berdasarkan pengamatan kondisi nyata di lapangan, serta penggalian informasi mengenai bentuk-bentuk kegagalan yang pernah

terjadi, faktor-faktor pemicunya, dan dampak yang ditimbulkan terhadap kinerja mesin — seluruhnya digunakan sebagai landasan dalam merancang usulan strategi perawatan berbasis pendekatan *Total Productive Maintenance* (TPM), khususnya pada pilar *Jishu Hozen* atau *Autonomous Maintenance*.

2. Data Sekunder

   Data sekunder merujuk pada data yang telah tersedia dalam bentuk arsip dan dokumen resmi perusahaan, sehingga tidak memerlukan proses pengambilan data secara langsung di lapangan. Ketersediaan data historis ini sangat mendukung proses perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang menjadi inti dari metode penelitian ini. Data sekunder yang dimanfaatkan mencakup rekapitulasi kejadian *downtime* mesin giling selama periode musim giling tahun 2025 (Mei–Oktober 2025), yang memuat rincian kategori kerusakan, durasi waktu pemulihan mesin, serta frekuensi kemunculan setiap gangguan sebagai dasar perhitungan *Availability Rate*. Selain itu, digunakan pula data *available time* dan *operation time* mesin giling untuk menghitung nilai *Performance Efficiency*, data perbandingan antara realisasi produksi aktual (*actual output*) dengan kapasitas produksi ideal (*ideal output*) untuk menentukan *Quality Rate*, serta seluruh rekam jejak historis kegiatan perawatan dan perbaikan mesin giling yang terdokumentasi di Departemen Pemeliharaan PT Madubaru sebagai referensi dalam merancang usulan strategi *planned maintenance* dan *Jishu Hozen*.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan tiga metode pengumpulan data, yaitu sebagai berikut:

1. Observasi

   Pengamatan langsung dilaksanakan di Stasiun Gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo dengan tujuan untuk memperoleh gambaran yang nyata dan menyeluruh mengenai kondisi aktual pengoperasian mesin giling, pola kerusakan yang kerap terjadi secara berulang, serta sistem dan prosedur perawatan yang selama ini diterapkan oleh pihak perusahaan. Kegiatan observasi ini memegang peranan penting dalam mempermudah proses identifikasi berbagai sumber inefisiensi yang terjadi sepanjang periode musim giling berlangsung. Hal ini menjadi semakin relevan mengingat kondisi di lapangan menunjukkan bahwa nilai *availability rate* mesin giling mengalami penurunan yang cukup signifikan pada beberapa periode produksi, yang

mengindikasikan bahwa mesin belum beroperasi secara optimal akibat tingginya frekuensi dan durasi *downtime*.

2. Wawancara

   Penggalian informasi melalui wawancara dilakukan kepada sejumlah narasumber yang memiliki kompetensi teknis dan keterlibatan langsung dalam operasional serta pemeliharaan mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Narasumber pertama adalah Bapak Nasrudin, Kepala Mandor Stasiun Gilingan, lulusan S1 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada dengan masa kerja 15 tahun, yang dipilih karena memegang tanggung jawab penuh atas pengawasan operasional sekaligus koordinasi seluruh kegiatan perawatan mesin giling. Narasumber kedua adalah Bapak Eko Lutfi, Staf Mandor Stasiun Gilingan, lulusan SMK Jurusan Teknik Pemesinan dengan pengalaman 13 tahun, yang dipilih karena keterlibatannya secara langsung dalam penanganan dan perbaikan kerusakan mesin sehari-hari. Narasumber ketiga adalah para teknisi mesin giling yang dipilih berdasarkan pengalaman praktis mereka dalam menangani berbagai persoalan teknis dan perbaikan komponen di lapangan. Wawancara ini bertujuan untuk menghimpun informasi terkait kondisi operasional mesin, permasalahan yang kerap dihadapi di lapangan, serta masukan mengenai pola kerusakan dan upaya perawatan yang telah dilakukan selama ini.

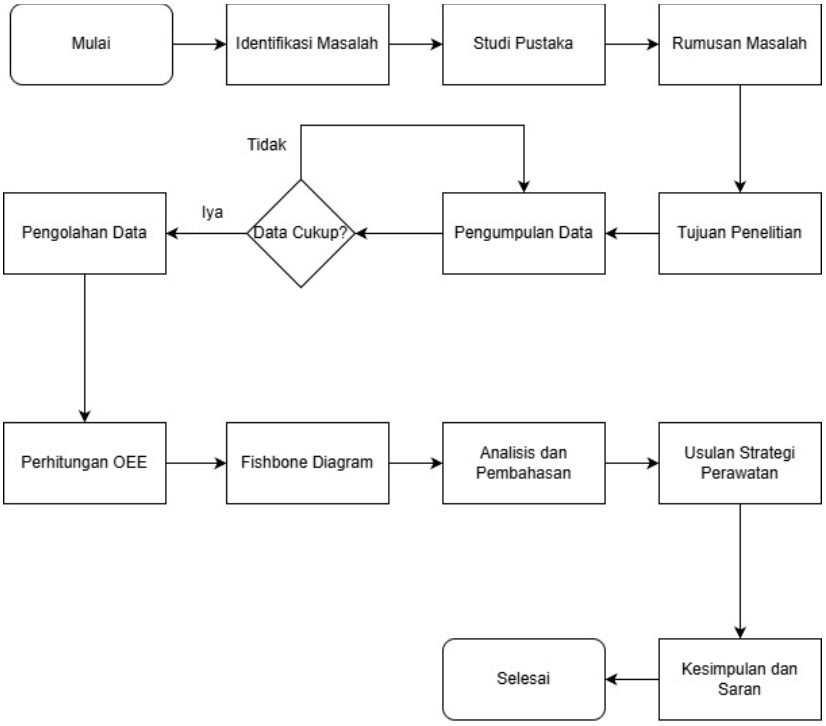
3. Studi Dokumentasi

   Pengumpulan data juga dilakukan melalui penelusuran dan kajian terhadap dokumen-dokumen resmi internal perusahaan yang berkaitan langsung dengan objek penelitian. Dokumen yang digunakan mencakup rekapitulasi data *downtime* mesin giling selama periode musim giling, catatan *available time* dan *operation time*, serta perbandingan antara output produksi aktual dengan kapasitas produksi ideal. Selain itu, rekam jejak historis seluruh kegiatan perawatan dan perbaikan yang tersimpan di Departemen Pemeliharaan PT Madubaru turut dijadikan sebagai sumber data pendukung. Keseluruhan data tersebut menjadi fondasi dalam perhitungan nilai OEE yang meliputi *Availability Rate*, *Performance Efficiency*, dan *Quality Rate*

3.4 Alur Penelitian

Penelitian ini dijalankan secara terstruktur dengan mengikuti rangkaian tahapan yang telah direncanakan sebelumnya, sehingga tujuan penelitian dapat dicapai secara sistematis. Berikut ini diuraikan alur penelitian yang digunakan dalam tugas akhir:

Gambar 3.1 Alur Penelitian



1. Identifikasi Masalah

   Pada tahap ini peneliti melakukan pengamatan awal terhadap kondisi operasional mesin giling di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo untuk menemukan permasalahan yang terjadi secara nyata di lapangan. Peneliti mengidentifikasi berbagai gangguan yang memengaruhi kelancaran proses produksi, seperti tingginya frekuensi dan durasi *downtime*, pendekatan perawatan yang masih bersifat reaktif, keterbatasan keterlibatan operator dalam perawatan mandiri, serta belum optimalnya pemanfaatan masa *off-season* sebagai waktu pelaksanaan pemeliharaan terencana. Temuan-temuan ini menjadi titik awal yang mendasari seluruh rangkaian proses penelitian selanjutnya

2. Studi Pustaka

   Pada tahap ini peneliti mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber ilmiah yang relevan dengan topik penelitian, seperti 15 jurnal penelitian, buku referensi, serta hasil penelitian terdahulu. Kegiatan ini dilakukan untuk membangun landasan teori yang kuat sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian, meliputi konsep TPM beserta delapan pilarnya, OEE, *Jishu Hozen* atau *Autonomous Maintenance, Fishbone Diagram dan Verein Deutcher Ingenieure* (VDI 2221). Selain itu, studi pustaka juga digunakan untuk

mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang ada sehingga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Industri.

3. Rumusan Masalah

   Pada tahap ini peneliti merumuskan permasalahan secara spesifik dan terstruktur berdasarkan hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan sebelumnya. Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana tingkat efektivitas kegiatan perawatan mesin dan peralatan yang diterapkan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo dalam mendukung proses produksi, faktor-faktor yang menjadi akar penyebab ketidakstabilan kinerja mesin giling, serta bagaimana usulan perawatan yang tepat untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan mesin giling di perusahaan tersebut. dijabarkan dalam bentuk pertanyaan penelitian yang terarah dan terukur agar proses penelitian dapat berjalan secara fokus dan sistematis. Perumusan masalah ini penting untuk memastikan bahwa penelitian tidak melebar dari isu utama yang ingin diselesaikan, sehingga setiap tahapan yang dilakukan selanjutnya memiliki arah yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

4. Tujuan Penelitian

   Pada tahap ini peneliti menetapkan tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan penelitian secara eksplisit dan terukur. Tujuan disusun secara selaras dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan sebelumnya, sehingga setiap pertanyaan penelitian memiliki arah penyelesaian yang jelas. Penetapan tujuan ini juga berfungsi sebagai panduan dalam menentukan metode, alat analisis, serta indikator keberhasilan penelitian yang akan digunakan sepanjang proses penelitian berlangsung.

5. Pengumpulan Data

   Pada tahap ini peneliti mengumpulkan data yang dibutuhkan melalui tiga metode yang saling melengkapi, yaitu observasi langsung di Stasiun Gilingan, wawancara mendalam dengan teknisi dan mandor yang berpengalaman, serta studi dokumentasi terhadap arsip dan catatan resmi perusahaan. Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai kondisi mesin dan pola operasional di lapangan. Wawancara dilakukan kepada pihak-pihak yang memiliki keterlibatan langsung dalam pengoperasian dan pemeliharaan mesin giling. Studi dokumentasi dilakukan untuk memperoleh data historis berupa data downtime mesin giling, loading time, operation time, jumlah produksi aktual, kapasitas

atau cycle time ideal mesin, data produk cacat, riwayat kerusakan mesin, serta catatan kegiatan perawatan dan perbaikan selama periode musim giling. Keseluruhan kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh data primer maupun data sekunder yang lengkap dan valid sebagai bahan dalam proses pengolahan data selanjutnya.

6. Pengolahan Data

Melakukan perhitungan nilai OEE dilakukan untuk mengukur sejauh mana tingkat efektivitas mesin dalam beroperasi. Berikut rumus perhitungan untuk OEE:

a. *Availability*

$$\boldsymbol{Availability = \frac{Loading\ time - Down\ Time}{Loading\ Time}\ \mathbf{x\ 100\%}}$$

Keterangan:

- *Availability* = tingkat ketersediaan mesin untuk beroperasi selama waktu yang telah direncanakan
- *Loading Time* = total waktu yang tersedia untuk produksi dalam satu periode
- *Down Time* = total waktu mesin berhenti beroperasi akibat kerusakan atau gangguan

b. *Performance*

$$\boldsymbol{Performance\% = \frac{Jumlah\ produksi\ x\ waktu\ siklus\ per\ unit}{Operation\ time}\ x\ 100\%}$$

Keterangan:

- *Performance* = tingkat kemampuan mesin dalam menghasilkan output sesuai dengan kecepatan idealnya
- Jumlah Produksi = total unit yang berhasil diproduksi secara actual
- Waktu Siklus per Unit = waktu ideal yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit produk
- *Operation Time* = waktu mesin benar-benar aktif beroperasi setelah dikurangi *downtime*

c. *Quality*

$$\boldsymbol{Quality = \frac{Processed\ amount - Defect\ amount}{Processed\ amount}\ x100\%}$$

Keterangan:

- *Quality* = tingkat kemampuan mesin dalam menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan
- *Processed Amount* = total seluruh produk yang diproses oleh mesin

- *Defect Amount* = total produk yang tidak memenuhi standar kualitas atau cacat

Sehingga di peroleh rumus OEE yaitu:

OEE (%) = *Availability* (%) x *Performance* (%) x *Quality* (%)

Selanjutnya untuk mengidentifikasi faktor utama yang menyebabkan rendahnya efektivitas mesin.

7. Analisis dan Pembahasan

   Pada tahap ini peneliti melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data OEE, khususnya pada komponen yang memiliki nilai terendah dan paling berpengaruh terhadap efektivitas mesin giling. Hasil perhitungan OEE digunakan untuk mengidentifikasi kondisi aktual kinerja mesin serta mengetahui faktor yang menyebabkan efektivitas mesin belum mencapai standar yang diharapkan. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *Fishbone Diagram* untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan yang memengaruhi rendahnya efektivitas mesin giling. Analisis dilakukan berdasarkan lima kategori utama yaitu faktor manusia (*man*), mesin (*machine*), metode (*method*), material (*material*), dan lingkungan (*environment*). Setiap faktor dianalisis berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara dengan operator dan teknisi, serta data historis perawatan mesin. Melalui *Fishbone Diagram*, peneliti mengidentifikasi berbagai penyebab yang berkontribusi terhadap terjadinya *downtime* dan penurunan kinerja mesin, Hasil identifikasi akar penyebab tersebut kemudian dibahas secara mendalam untuk menentukan tindakan perbaikan yang paling sesuai dengan kondisi aktual perusahaan. Untuk memperdalam proses analisis lebih lanjut, hasil identifikasi akar penyebab melalui *Fishbone Diagram* tersebut kemudian dijadikan dasar dalam tahap awal metode perancangan VDI 2221, yaitu fase Penjabaran tugas (*clarification of task*), penentuan konsep (*conceptual design*), perancangan wujud (*embodiment design*), perancangan rinci (*detail design*), penjabaran tugas (*clarification of task*). Dengan demikian, proses analisis tidak berhenti pada identifikasi penyebab semata, tetapi juga menjadi jembatan yang menghubungkan hasil pembahasan permasalahan dengan tahapan perancangan solusi yang dilakukan pada tahap berikutnya.

8. Usulan Strategi Perawatan

   Pada tahap ini, peneliti menyusun usulan strategi perawatan yang disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan perusahaan berdasarkan hasil pengukuran efektivitas mesin menggunakan OEE serta identifikasi akar penyebab menggunakan *Fishbone Diagram*.

Usulan perbaikan mengacu pada pendekatan *Total Productive Maintenance* (TPM) untuk meningkatkan efektivitas kegiatan pemeliharaan dan meminimalkan potensi kerusakan mesin. Selain itu, penelitian ini menerapkan metode VDI 2221 secara sistematis sebagai pedoman dalam merancang komponen perbaikan, yang terdiri atas empat fase utama, yaitu penjabaran tugas (*clarification of task*) untuk menetapkan daftar kebutuhan rancangan, penentuan konsep (*conceptual design*) untuk menghasilkan beberapa alternatif solusi berdasarkan fungsi dan sub-fungsi yang dibutuhkan, perancangan wujud (*embodiment design*) untuk menentukan bentuk, dimensi, dan material komponen berdasarkan konsep terpilih, hingga perancangan detail (*detail design*) yang menghasilkan gambar teknik dan spesifikasi akhir komponen yang siap direalisasikan. Melalui keempat fase tersebut, rancangan perbaikan yang dihasilkan tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga telah melalui proses evaluasi teknis yang terstruktur sehingga lebih siap untuk diimplementasikan. Seluruh usulan tersebut diharapkan dapat diterapkan secara optimal pada masa off-season sehingga kondisi mesin giling tetap terjaga dan siap beroperasi secara maksimal ketika memasuki musim produksi berikutnya.

9. Kesimpulan dan Saran

   Pada tahap ini peneliti menarik kesimpulan dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan dan menyusun saran sebagai rekomendasi tindak lanjut yang dapat diimplementasikan. Kesimpulan ditulis secara ringkas namun mencakup seluruh poin penting yang menjawab setiap tujuan penelitian secara langsung dan terukur. Sementara itu, saran disusun berdasarkan keterbatasan yang ditemukan selama penelitian berlangsung, ditujukan kepada pihak perusahaan agar dapat menerapkan sistem perawatan yang lebih terstruktur dan terencana, serta kepada peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan topik serupa dengan pendekatan yang lebih luas.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

ada tahap ini disajikan data-data yang telah dikumpulkan sesuai dengan metode pengumpulan data yang telah dijelaskan, yaitu melalui observasi langsung, wawancara, serta studi dokumentasi terhadap mesin giling di Stasiun Gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo

4.1.1 Data Hasil Wawancara

Berikut merupakan hasil observasi penyebab penurunan efektivitas mesin giling:

Tabel 4. 1 data hasil observasi penyebab penurunan efektivitas mesin giling

Kategori Penyebab	**Penyebab Spesifik**	**Uraian Hubungan Sebab–Akibat**
Man (Manusia)	Aktivitas AM belum menjadi budaya kerja	Operator lebih fokus pada produksi sehingga perawatan mandiri jarang dilakukan
Method (Metode / Sistem)	Tidak adanya standar kriteria normal–abnormal mesin	Operator tidak memiliki acuan untuk mengenali kondisi mesin
	Tidak adanya standar frekuensi inspeksi mandiri	Inspeksi tidak dilakukan secara rutin
Machine (Mesin)	Pelumasan mesin masih sering terjadi gangguan kebocoran	Kebocoran pelumas menyebabkan komponen menjadi rusak
	Mesin lama tidak dioperasikan saat off-season	Risiko karat dan degradasi komponen
Material	Material komponen tidak tahan panas	Terjadi kerusakan komponen seal sering kali terjadi kurang lebih 20 kali dalam satu kali periode produksi

Kategori Penyebab	Penyebab Spesifik	Uraian Hubungan Sebab–Akibat
Environment (Lingkungan)	5S belum terintegrasi dengan AM	Mempercepat korosi dan keausan

4.1.2 Data Spesifikasi Marsed Gilingan

Stasiun Gilingan berfungsi memberikan tekanan hidraulik pada *top roll* (rol atas) tiap unit gilingan agar proses ekstraksi nira dari ampas tebu berlangsung optimal. Tekanan dihasilkan oleh silinder hidrolik yang bekerja menekan cangkang (*housing*) plunyer, dengan seal atas dan seal bawah berfungsi menahan tekanan oli agar tidak terjadi kebocoran ke luar sistem. Berikut merupakan spesifikasi teknis unit plunyer hidrolik

Tabel 4. 2 Spesifikasi Marsed Gilingan

Parameter Teknis	Spesifikasi
Diameter Silinder Plunyer	320 mm
Tekanan Kerja Hidrolik	180 - 220 bar
Media Kerja	Oli hidrolik
Suhu Lingkungan Area Gilingan	80 - 95°C
Material Cangkang (Liner) Eksisting	Besi Cor Kelabu (FC 300)
Material Seal Eksisting (Atas & Bawah)	Seal Polyurethane
Frekuensi Penggantian Seal Eksisting	1 kali dalam1 bulan
Waktu Operasional	Kontinu 24 jam selama musim giling
Rentang kerja panas seal	40 – 90 °C
Rentang kerja panas seal material Cangkang (Liner) Eksisting	20 – 300 °C

4.1.3 Data Penyebab Kegagalan Komponen

Tabel 4. 3 Data Penyebab Kegagalan Komponen

Klasifikasi Kerusakan	Penyebab Utama	Keterangan
Kebocoran Seal Atas	Degradasi termal material seal	Suhu kerja yang tinggi dan konsisten (>85°C) menyebabkan karet seal mengalami pengerasan (*hardening*) dan retak mikro (*micro-crack*) sehingga kehilangan elastisitas dan daya sekat (*sealing capability*).
Baret / Goresan pada Dinding Cangkang	Gesekan logam-logam (metal to metal contact)	Material besi cor kelabu memiliki koefisien gesek yang relatif tinggi terhadap piston rod baja, sehingga menimbulkan abrasi progresif pada permukaan dalam cangkang (*bore wear*) akibat gerakan naik-turun plunyer yang berulang.
Percepatan Keausan Seal Bawah	Permukaan liner yang kasar akibat baret	Goresan pada dinding cangkang menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress riser*) yang mempercepat sobeknya bibir seal (*seal lip*) saat piston bergerak, sehingga interval penggantian seal menjadi semakin singkat.
Kontaminasi Oli Hidrolik	Partikel abrasif hasil keausan	Serpihan hasil gesekan logam dan karet yang terkikis bercampur ke dalam oli hidrolik, sehingga mempercepat kerusakan komponen hidrolik lain seperti pompa dan katup kontrol.

4.1.4 Data Jumlah Produksi

Berikut merupakan data jumlah produksi keseluruhan hasil produksi mesin giling pada tahun 2025:

Tabel 4. 4 Data Jumlah Produksi

Bulan	***Proced ammount (Ton)***
Mei	68.521,90
Juni	73.093,60
Juli	102.500,70
Agustus	85.173,40
September	84.313,30
Oktober	22.755,70

4.1.5 Data Produk Cacat

Berikut merupakan data cacat atau *defect* didapatkan dari hasil standar penilaian untuk produk dapat lanjut ke stasiun selanjutnya pada tahun 2025:

Tabel 4. 5 Data Produk Cacat

Bulan	**Deffect amount (Ton)**
Mei	184,72
Juni	161,38
Juli	139,64
Agustus	127,95
September	133,21
Oktober	148,57

4.1.6 Data Available Time

Berikut merupakan data *available time* dari hasil perkalian antara jam kerja dengan hari kerja itu sendiri, tetapi pada hari kerja ada perbedaan jumlah hari pada tahun 2025:

Tabel 4. 6 Data *Available Time*

Bulan	Jumlah Hari Kerja	Waktu Kerja	Available Time
Mei	31	1440	44.640
Juni	30	1440	43.200
Juli	31	1440	44.640
Agustus	31	1440	44.640
September	30	1440	43.200
Oktober	8	1440	11.520

4.1.7 Data *Downtime*

Berikut merupakan data *downtime* atau waktu berhentinhya mesin tanpa perencanaan pada tahun 2025:

Tabel 4. 7 Data Downtime

Bulan	Jumlah Hari Kerja	Available Time	*Downtime* (menit)
Mei	31	44.640	14.151
Juni	30	43.200	8.870,40
Juli	31	44.640	912,6
Agustus	31	44.640	4.270,20
September	30	43.200	2.804,40
Oktober	8	11.520	2.329,80

4.1.8 Data *Planed Downtime*

Berikut merupakan data *planed downtime* atau waktu berhenti yang telah dijadwalkan tahun pada 2025:

Tabel 4. 8 Data Planed Downtime

Bulan	Jumlah Hari Kerja	Available Time	Planed Time (menit)
Mei	31	44.640	893
Juni	30	43.200	864
Juli	31	44.640	670
Agustus	31	44.640	804
September	30	43.200	778

Bulan	Jumlah Hari Kerja	Available Time	Planed Time (menit)
Oktober	8	11.520	346

4.2 Pengolahan Data

Pada bagian ini diuraikan hasil dari pengolahan data sesuai dengan tahapan yang telah diuraikan pada Bab III Metode Penelitian. Gambar atau tabel yang dipaparkan diberikan penjelasan. Pada bagian ini belum dilakukan analisa terhadap hasil dari pengolahan data.

4.2.1 *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Berikut merupakan perhitungan OEE:

a. *Available Rate*

Berikut perhitungan dalam mencari nilai *available rate*:

$$\boldsymbol{Loading\ Time = Available\ Time - PlanedDowntime}$$

$$\textit{Loading time}\ (\text{Mei}) = 44.640 - 893$$
$$= 43.747$$

Tabel 4. 9 Data *Loading Time*

Bulan	Jumlah Hari Kerja	Waktu Kerja	*Available Time*	*Planed Downtime*	*Loading Time*
Mei	31	1440	44.640	893	43.747
Juni	30	1440	43.200	864	42.336
Juli	31	1440	44.640	670	43.970
Agustus	31	1440	44.640	804	43.836
September	30	1440	43.200	778	42.422
Oktober	8	1440	11.520	346	11.174

Selanjutnya akan menghitung nilai dari *operation time* yang dibutuhkan dalam mencari nilai *availabality*. Berikut ini merupakan rumus dari *operation time*:

$$\boldsymbol{Operation\ Time = Loading\ Time - Downtime}$$

$$Operation\ Time\ (Mei) = 43.747 - 14.151$$
$$= 29.596$$

Tabel 4. 10 Perhitungan *Operation Time*

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	***Loading Time***	***Downtime***	***Operation Time***
Mei	31	43.747	14.151	29.596
Juni	30	42.336	8.870,40	33.466
Juli	31	43.970	912,6	43.057
Agustus	31	43.836	4.270,20	39.566
September	30	42.422	2.804,40	39.618
Oktober	8	11.174	2.329,80	8.844

Pada Tahap Selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *availability* dari mesin giling, berikut perhitungannya:

$$Availability \text{ (Mei)} = \frac{Operation\ time}{Loading\ Time} x100$$

$$Availability \text{ (Mei)} = \frac{29.596}{43.747} x100$$

$$= 68\%$$

Tabel 4. 11 *Availability*

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	***Loading Time***	***Downtime***	***Operation Time***	***Availabality***
Mei	31	43.747	14.151	29.596	68%
Juni	30	42.336	8.870,40	33.466	79%
Juli	31	43.970	912,6	43.057	98%
Agustus	31	43.836	4.270,20	39.566	90%
September	30	42.422	2.804,40	39.618	93%
Oktober	8	11.174	2.329,80	8.844	79%

b. *Performance*

Dalam menghitung nilai performance dibutuhkan data ideal cycle time. Nilai *Ideal cycle time* (waktu siklus ideal) membutuhkan perhitungan dari data waktu siklus produksi dan presentasi waktu kerja, berikut ini merupakan cara untuk menghitung nilai waktu siklus:

$$Cycle\ time = \frac{Loading\ Time}{Jumlah\ Produksi}$$

$$Cycle\ time = \frac{40.176}{68.521} = 0{,}6384$$

Tabel 4. 12 *Cycle Time*

Bulan	***Loading time***	**Jumlah Produksi (Ton)**	***Cycle Time* (Menit/Ton)**
Mei	43.747	68.521,90	0,6384
Juni	42.336	73.093,60	0,5792
Juli	43.970	102.500,70	0,4290
Agustus	43.836	85.173,40	0,5147
September	42.422	84.313,30	0,5031
Oktober	11.174	22.755,70	0,4910

Selanjutnya akan menghitung nilai presentasi waktu kerja yang memerlukan data *delay*, berikut cara mendapatkan data delay beserta nilai presentasi waktu kerja:

$$Delay = Availability\ time - operation$$

$$Delay\ (mei) = 44.640 - 26.025$$

$$= 18.615$$

$$Presentasi\ waktu\ kerja\ (mei) = 1 - \frac{jumlah\ delay}{available\ time}$$

$$resentasi\ waktu\ kerja\ (mei) = 1 - \frac{15.044}{44.640}$$

$$=0{,}663$$

Tabel 4. 13 Presentasi waktu kerja

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	**Waktu Kerja**	***Available Time***	***Operation Time***	**Presentasi Waktu (menit)**
Mei	31	1440	44.640	29.596	0,663
Juni	30	1440	43.200	33.466	0,775
Juli	31	1440	44.640	43.057	0,965
Agustus	31	1440	44.640	39.566	0,886

September	30	1440	43.200	39.618	0,917
Oktober	8	1440	11.520	8.844	0,768

Setelah mendapatkan data presentasi waktu kerja dan *cycle time*, maka langkah selanjutnya adalah mencari waktu siklus ideal. Berikut cara untuk menghitung waktu siklus ideal:

$$\textbf{\textit{Iddle cycle time}} = \textbf{Cycle time x Presentasi Waktu kerja}$$

$$Iddle\ cycle\ time = 0{,}6384 \text{ x } 0{,}663$$

$$= 0{,}423$$

Tabel 4. 14 *Iddle Cycle Time*

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	**Waktu Kerja**	***Available Time***	***Operation Time***	**Presentasi Waktu (menit)**	***Iddle Cycle Time***
Mei	31	1440	44.640	29.596	0,663	0,423
Juni	30	1440	43.200	33.466	0,775	0,449
Juli	31	1440	44.640	43.057	0,965	0,414
Agustus	31	1440	44.640	39.566	0,886	0,456
September	30	1440	43.200	39.618	0,917	0,461
Oktober	8	1440	11.520	8.844	0,768	0,377

Jika telah mendapakan nilai dari *idle cycle time*, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai *performance*. Rumus untuk mencari nilai performance adalah sebagai berikut:

$$\textbf{\textit{Performance}} = \frac{\textbf{Jumlah Produksi x iddle cycle time}}{29.596} \boldsymbol{x}\mathbf{100}\%$$

$$Performance\ (\text{mei}) = \frac{68.521{,}90 \text{ x } 0{,}423}{29.596} x100\%$$

$$= 98\%$$

Tabel 4. 15 *Performance*

Bulan	**Jumlah Hari Kerja**	**Waktu Kerja**	***Available Time***	***Operation Time***	**Presentasi Waktu (menit)**	***Iddle Cycle Time***	***performance***	***performance* (%)**
Mei	31	1440	44.640	29.596	0,663	0,423	0,98	98%
Juni	30	1440	43.200	33.466	0,775	0,449	0,98	98%
Juli	31	1440	44.640	43.057	0,965	0,414	0,98	98%
Agustus	31	1440	44.640	39.566	0,886	0,456	0,98	98%
September	30	1440	43.200	39.618	0,917	0,461	0,98	98%
Oktober	8	1440	11.520	8.844	0,768	0,377	0,97	97%

c. *Rate Of Quality*

Dalam menghitung *of quality* diperlukan data *processed amount* dan data jumlah *deffect amount*. Berikut merupakan cara untuk menghitung nilai *rate of quality*:

$$Quality\ (mei) = \frac{\text{Jumlah produksi} - \text{deffect amount}}{\text{jumlah produksi}} x100\%$$

$$Quality\ (mei) = \frac{68.521{,}90 - 184{,}72}{68.521{,}90} x100\%$$

$$= 99\%$$

Tabel 4. 16 *Quality Rate*

Bulan	***Proced ammount* (Ton)**	***Deffect amount* (Ton)**	***Quality***	***Quality* (%)**
Mei	68.521,90	184,72	0,997	99%
Juni	73.093,60	161,38	0,998	99%
Juli	102.500,70	139,64	0,999	99%

Bulan	***Proced ammount* (Ton)**	***Deffect amount* (Ton)**	***Quality***	***Quality* (%)**
Agustus	85.173,40	127,95	0,998	99%
September	84.313,30	133,21	0,998	99%
Oktober	22.755,70	148,57	0,993	99%

d. Perhitungan *Overall Equipment Efectiveness (OEE)*

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan *Overall Equipment Efectiveness (OEE)* untuk menentukan apakah nilai OEE telah mencapai standar *World Class* atau belum tercapai. Berikut merupakan cara untuk mencari nilai OEE:

$$\mathbf{OEE} = \boldsymbol{Availability\ x\ Performance\ x\ Quality}$$

$$\text{OEE (Mei)} = 0{,}68\ x\ 0{,}98\ x\ 0{,}997$$

$$= 0{,}66\ x\ 100\%$$

$$= 66\ \%$$

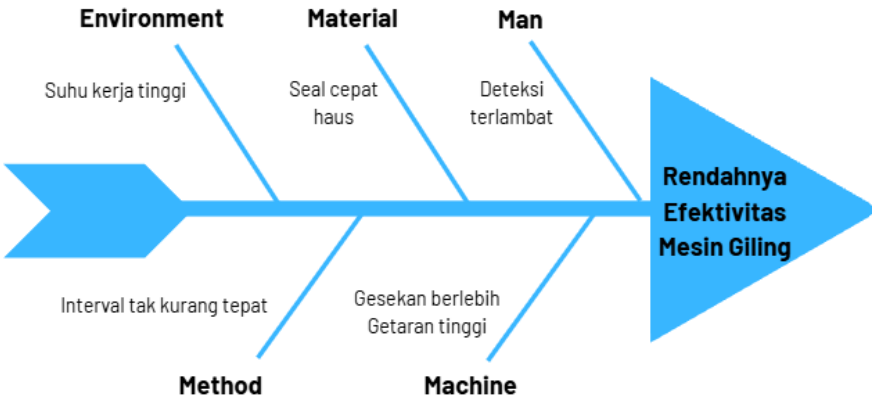
Tabel 4. 17 Hasil Nilai OEE

Bulan	***Availability***	***Performance***	***Quality***	**OEE**	**OEE (%)**
Mei	0,68	0,98	0,997	0,6644008	66%
Juni	0,79	0,98	0,998	0,7726516	77%
Juli	0,98	0,98	0,999	0,9594396	96%
Agustus	0,9	0,98	0,998	0,880236	88%
September	0,93	0,98	0,998	0,9095772	91%
Oktober	0,79	0,97	0,993	0,7609359	76%
Rata-Rata				0,824540183	82%

Berdasarkan hasil perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada periode Mei hingga Oktober, diperoleh nilai OEE yang bervariasi setiap bulannya dengan rata-rata sebesar 82%. Nilai OEE terendah terjadi pada bulan Mei sebesar 66%, yang disebabkan oleh rendahnya nilai *availability* (0,68) akibat tingginya *downtime* mesin. Pada bulan Juni terjadi peningkatan OEE menjadi 77% seiring dengan meningkatnya *availability*, meskipun masih belum mencapai kondisi optimal. Nilai OEE tertinggi tercapai pada bulan Juli sebesar 96%, yang menunjukkan bahwa mesin beroperasi dalam kondisi sangat efektif dengan *availability*, *performance*, dan *quality* yang sama-sama tinggi. Pada bulan Agustus dan September, nilai OEE masing-masing sebesar 88% dan 91%, yang menandakan kinerja mesin berada pada kategori sangat baik dan proses produksi berjalan relatif stabil. Namun, pada bulan Oktober nilai OEE kembali menurun menjadi 76%, yang dipengaruhi oleh penurunan *availability* dan *performance* mesin. Secara keseluruhan, meskipun nilai *quality* dan p*erformance* menunjukkan kestabilan yang sangat baik, fluktuasi nilai *availability* menjadi faktor utama yang memengaruhi pencapaian OEE, sehingga diperlukan upaya perbaikan khususnya dalam pengurangan *downtime* mesin melalui penerapan pemeliharaan yang lebih efektif.

4.2.2 *Root Cause Analysis (RCA)*

Berikut merupakan identifikasi akar masalah menggunakan *fishbone diagram*:



Gambar 4. 1 *fishbone diagram*

Berdasarkan hasil perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Availability* Rate,yang menunjukkan nilai efektivitas mesin giling masih berada di bawah standar ideal, dilakukan analisis akar penyebab menggunakan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap rendahnya efektivitas mesin giling. Penyebab

dikelompokkan ke dalam lima kategori (5M), yaitu *Man*, *Method*, *Machine*, *Material*, dan *Environment*.

Dari sisi *Man*, faktor keterlambatan deteksi menjadi penyebab utama, di mana operator maupun teknisi seringkali baru menyadari adanya indikasi kebocoran atau keausan komponen setelah kondisinya sudah cukup parah, sehingga tindakan perbaikan tidak dapat dilakukan secara preventif. Dari sisi *Material*, permasalahan muncul akibat seal yang cepat mengalami keausan (haus), yang disebabkan oleh ketidaksesuaian material seal eksisting terhadap kondisi kerja yang dihadapi. Kondisi tersebut diperparah oleh faktor *Environment*, yaitu suhu kerja area gilingan yang tinggi secara kontinu, yang turut mempercepat degradasi elastisitas material seal. Selanjutnya, dari sisi *Machine*, teridentifikasi dua penyebab, yaitu gesekan berlebih antara komponen logam yang saling bersinggungan serta getaran tinggi yang timbul akibat operasional mesin gilingan yang bekerja secara terus-menerus dalam menekan dan memeras tebu. Kedua kondisi ini secara langsung mempercepat proses keausan pada permukaan komponen yang bergesekan. Terakhir, dari sisi *Method*, ditemukan bahwa interval perawatan yang diterapkan belum sepenuhnya sesuai dengan kondisi kerja aktual di lapangan, sehingga penggantian maupun pemeriksaan komponen kritis tidak dilakukan pada waktu yang tepat.

Berdasarkan kelima kategori penyebab tersebut, dapat disimpulkan bahwa rendahnya efektivitas mesin giling bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan akumulasi dari kombinasi faktor manusia, material, lingkungan, mesin, dan metode perawatan yang saling memperkuat satu sama lain. Kondisi lingkungan kerja yang panas mempercepat kerusakan material seal, yang kemudian diperparah oleh gesekan dan getaran mesin, sementara keterlambatan deteksi serta interval perawatan yang kurang tepat menyebabkan kerusakan tersebut tidak tertangani sejak dini hingga akhirnya berkembang menjadi kebocoran yang berdampak pada penurunan efektivitas mesin giling secara keseluruhan.

4.2.3 VDI 2221

Dari hasil analisis *fishbone diagram* di temukan akar penyebab masalah *downtime* nya yaitu pada pelumasan khusus nya pada marsed gilingan yang sering mengalami kebocoran seal, sehingga untuk solusi perbaikan maka di lakukan desain engineering dengan metode VDI 2221. Berikut merupakan pengolahan data menggunakan metode VDI 2221:

4.2.3.1 Fase II Penjabaran Tugas (*Clarification of Task*)

Tahap awal untuk mengidentifikasi dan merumuskan kebutuhan, tujuan, batasan, serta spesifikasi yang harus dipenuhi oleh produk yang akan dirancang. Hasil tahap ini berupa daftar

kebutuhan yang diklasifikasikan menjadi *Demand* (D) dan *Wishes* (W) sebagai dasar proses perancangan. Berikut merupakan hasil wawancara yang di dapat untuk metal rol gilingan:

1. Material pelapis cangkang harus tahan terhadap gesekan tinggi dan korosi akibat panas serta uap air.
2. Material seal harus tahan terhadap suhu operasional hingga minimal 150°C secara kontinu.
3. Downtime akibat kebocoran seal berkurang minimal 50% dari kondisi eksisting.
4. Proses pelapisan tidak boleh mengubah dimensi utama cangkang (diameter dalam akhir tetap sesuai toleransi fit piston).
5. Material pengganti tersedia dan dapat diperoleh di pasar lokal maupun nasional.
6. Umur pakai seal minimal mencapai satu musim giling penuh (± 6 bulan operasi kontinu).
7. Material tidak menimbulkan kontaminasi atau reaksi kimia terhadap oli hidrolik ISO VG 68.
8. Kekerasan permukaan lapisan kuningan harus memenuhi standar bearing bronze/brass untuk aplikasi bantalan gesek (sliding bearing).
9. Biaya modifikasi tidak melebihi anggaran perawatan tahunan Stasiun Gilingan.
10. Proses instalasi/pemasangan dapat dilakukan oleh teknisi internal pabrik tanpa memerlukan alat khusus dari luar negeri.
11. Material seal memiliki koefisien gesek yang rendah terhadap permukaan liner agar mengurangi keausan.
12. Toleransi ketebalan pelapisan kuningan harus presisi agar tidak mengganggu gerakan bebas (*free running clearance*) piston.
13. Desain akhir tetap kompatibel dengan housing dan dudukan plunyer eksisting tanpa modifikasi struktur utama mesin gilingan.

Setelah hasil wawancara selanjutnya membuat daftar kebutuhan yang diklasifikasikan menjadi *Demand* (D) dan *Wishes* (W) sebagai dasar proses perancangan. Berikut tabel klasifikasi perancangan:

Tabel 4. 18 klasifikasi perancangan

No	Parameter	Daftar Kehendak	D/W
1	Material	Pelapis cangkang tahan gesekan tinggi dan korosi	D
2	Material	Seal tahan suhu operasional hingga 150°C	D

No	Parameter	Daftar Kehendak	D/W
3	Kinerja	Downtime berkurang minimal 50%	D
4	Geometri	Dimensi utama cangkang tidak berubah	D
5	Ekonomi	Material tersedia di pasar lokal/nasional	W
6	Keandalan	Umur pakai seal minimal 1 musim giling (6 bulan)	D
7	Kompatibilitas	Tidak mengontaminasi oli hidrolik	D
8	Material	Kekerasan lapisan sesuai standar bearing brass	D
9	Biaya	Biaya modifikasi sesuai anggaran perawatan	W
10	Perakitan	Instalasi oleh teknisi internal pabrik	W
11	Fungsi	Koefisien gesek seal-liner rendah	D
12	Geometri	Toleransi ketebalan pelapisan presisi	D
13	Kompatibilitas	Kompatibel dengan housing eksisting	D

Tabel di atas merupakan hasil diklasifikasikan menjadi *Demand* (D) dan *Wishes* (W) sebagai dasar proses perancangan dari alat yang akan di rancang.

4.2.2.2 Fase II Penentuan konsep (*Conseptual Design*)

Tahap berikutnya dalam proses perancangan adalah pengembangan konsep rancangan berdasarkan hasil klasifikasi yang telah diperoleh. Kegiatan pada tahap ini diawali dengan penyusunan abstraksi, dilanjutkan dengan pembentukan struktur fungsi, pengembangan prinsip-prinsip solusi, serta penyusunan berbagai alternatif kombinasi solusi yang akan menjadi acuan dalam pemilihan rancangan terbaik.

1. Abstraksi

   Abstraksi merupakan tahapan awal dalam pengembangan konsep yang bertujuan menyederhanakan permasalahan berdasarkan daftar kebutuhan atau spesifikasi yang telah disusun. Pada tahap ini, perhatian difokuskan pada aspek-aspek yang paling esensial dengan mengesampingkan rincian yang bersifat khusus agar inti permasalahan dapat diidentifikasi secara jelas. Proses abstraksi dilakukan melalui beberapa langkah, yaitu menghilangkan kebutuhan yang hanya berupa keinginan (*wishes*), mengabaikan persyaratan yang tidak berkaitan langsung dengan fungsi utama maupun kendala utama, mengubah informasi kuantitatif menjadi bentuk kualitatif yang lebih sederhana, menggeneralisasi hasil penyederhanaan tersebut, serta menyusun rumusan masalah dalam bentuk yang netral sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan

berbagai alternatif solusi. Hasil penerapan tahapan abstraksi terhadap daftar kebutuhan yang telah diperoleh sebelumnya disajikan sebagai berikut:

a. Abstraksi 1

Tahap pertama dalam proses abstraksi dilakukan dengan mengeliminasi seluruh persyaratan yang termasuk dalam kategori *wishes* (W) pada daftar kebutuhan yang telah disusun sebelumnya. Dengan demikian, hanya persyaratan yang bersifat wajib (*demands*) yang dipertahankan sebagai dasar pengembangan konsep. Hasil dari proses abstraksi tahap pertama tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 19 Abstraksi 1

No.	Parameter	Spesifikasi	D/W
1	Material	Pelapis cangkang tahan gesekan tinggi dan korosi	D
2	Material	Seal tahan suhu operasional hingga 150°C	D
3	Kinerja	Downtime berkurang minimal 50%	D
4	Geometri	Dimensi utama cangkang tidak berubah	D
5	Keandalan	Umur pakai seal minimal 1 musim giling	D
6	Kompatibilitas	Tidak mengontaminasi oli hidrolik	D
7	Material	Kekerasan lapisan sesuai standar bearing brass	D
8	Fungsi	Koefisien gesek seal-liner rendah	D
9	Geometri	Toleransi ketebalan pelapisan presisi	D
10	Kompatibilitas	Kompatibel dengan housing eksisting	D

b. Abstraksi II

Setelah proses abstraksi tahap pertama selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah abstraksi II. Pada tahap ini, dilakukan penyaringan lebih lanjut dengan menghilangkan persyaratan yang tidak berkaitan secara langsung dengan fungsi utama maupun batasan perancangan. Tujuannya adalah agar hanya aspek-aspek

yang memiliki pengaruh signifikan terhadap rancangan yang tetap dipertahankan. Hasil dari proses abstraksi II tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 20 Abstraksi II

Kategori	Esensi Fungsi & Kendala
Kendala Material & Geometri	Lapisan pengganti pada dinding cangkang harus memiliki dimensi akhir presisi sesuai toleransi fit piston eksisting, tanpa mengubah struktur housing utama.
Fungsi Ketahanan Termal	Material seal wajib mampu bekerja pada suhu tinggi (hingga 150°C) secara kontinu tanpa mengalami degradasi elastisitas.
Fungsi Sealing & Gesekan	Kombinasi material liner-seal harus menghasilkan koefisien gesek rendah untuk memperpanjang umur pakai dan menjaga kekedapan (sealing) terhadap tekanan oli hidrolik.
Fungsi Keandalan Operasional	Rancangan akhir harus mampu menurunkan frekuensi downtime akibat kebocoran seal minimal 50% dibanding kondisi eksisting.

Abstraksi II disusun berdasarkan hasil penyederhanaan yang diperoleh pada tahap Abstraksi I. Pada tahap ini, setiap kebutuhan dianalisis kembali untuk mempertahankan hanya aspek yang berkaitan langsung dengan fungsi utama dan kendala utama dari rancangan. Tujuan penyaringan ini adalah menghasilkan rumusan permasalahan yang lebih sederhana, terfokus, dan mudah dijadikan dasar dalam pengembangan konsep solusi. Berdasarkan proses tersebut, diperoleh tiga kategori utama yang menjadi fokus perancangan, yaitu fungsi ketahanan termal, fungsi sealing dan gesekan, serta fungsi keandalan operasional.

Penyederhanaan pada Abstraksi II dilakukan dengan mengelompokkan berbagai kebutuhan yang memiliki tujuan serupa ke dalam tiga kelompok utama. Pada kategori fungsi ketahanan termal, seluruh persyaratan yang berkaitan dengan kemampuan material menghadapi temperatur tinggi dirangkum menjadi satu kebutuhan utama, yaitu material seal harus tetap bekerja secara kontinu pada suhu hingga 150°C tanpa mengalami penurunan sifat elastis. Selanjutnya, kategori fungsi sealing dan gesekan memusatkan perhatian pada kemampuan sistem dalam menjaga kekedapan terhadap tekanan oli hidrolik sekaligus menghasilkan koefisien gesek yang rendah sehingga umur pakai komponen menjadi lebih panjang. Adapun kategori fungsi keandalan operasional menekankan bahwa rancangan yang dihasilkan harus mampu meningkatkan keandalan sistem dengan mengurangi frekuensi *downtime* akibat kebocoran seal sedikitnya 50% dibandingkan kondisi yang digunakan saat ini. Melalui proses penyederhanaan tersebut, kriteria desain menjadi lebih spesifik sehingga mempermudah penyusunan alternatif konsep pada tahap berikutnya. Berikut merupakan alasan terpilihnya ketiga kategori utama pada Abstraksi II sebagai representasi dari seluruh kebutuhan pada Abstraksi I sebelumnya:

1. Kategori fungsi ketahanan termal merangkum seluruh kebutuhan yang berkaitan dengan kemampuan material seal dalam mempertahankan karakteristik mekaniknya pada temperatur operasi yang tinggi. Fokus ini dipilih karena suhu kerja merupakan faktor utama yang memengaruhi umur pakai dan performa seal.
2. Kategori fungsi sealing dan gesekan menggabungkan persyaratan yang berhubungan dengan kemampuan seal menjaga kekedapan sistem hidrolik serta mengurangi gaya gesek antara liner dan seal. Kedua aspek tersebut saling berkaitan dalam meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi keausan, serta memperpanjang masa pakai komponen.
3. Kategori fungsi keandalan operasional mewakili seluruh kebutuhan yang berorientasi pada peningkatan reliabilitas sistem. Kategori ini menegaskan bahwa rancangan harus mampu menekan terjadinya kebocoran seal sehingga frekuensi *downtime* dapat dikurangi minimal 50% dibandingkan

kondisi eksisting, yang pada akhirnya mendukung kontinuitas proses produksi.

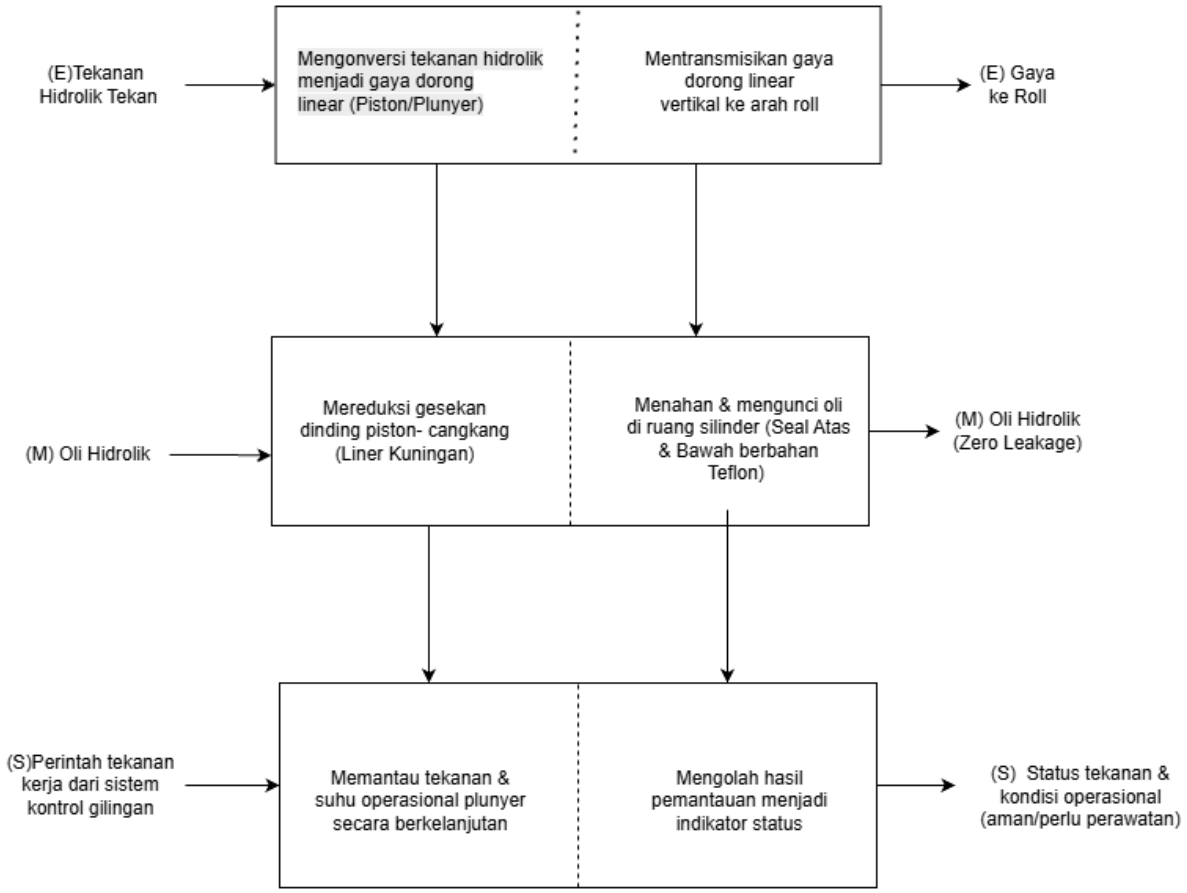
2. Struktur Fungsi

Struktur fungsi merupakan representasi hubungan antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang menggambarkan bagaimana suatu sistem menjalankan fungsi utamanya. Pada penelitian ini, struktur fungsi disusun berdasarkan prinsip kerja marsed (plunyer hidrolik) pada stasiun gilingan PT Madukismo, yaitu mengubah energi tekanan hidrolik menjadi gaya dorong untuk memberikan tekanan pada rol gilingan. Selanjutnya, fungsi utama tersebut diuraikan menjadi beberapa subfungsi yang menjelaskan proses-proses pendukung agar sistem dapat bekerja secara optimal. Subfungsi tersebut mencakup aktivitas yang berkaitan dengan pengendalian aliran oli hidrolik, pencegahan kebocoran, pengurangan gesekan, pembimbingan gerak plunyer, hingga kemampuan sistem dalam menahan tekanan dan kondisi operasi. Dengan demikian, struktur fungsi memberikan gambaran menyeluruh mengenai aliran energi dan material dalam sistem marsed sebagai dasar pengembangan alternatif konsep perbaikan. Gambar berikut menunjukkan diagram struktur fungsi utama yang menggambarkan hubungan antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*) pada sistem marsed yang dirancang.



Gambar 4. 2 Struktur Fungsi

Setelah struktur fungsi utama disusun, tahap berikutnya adalah menguraikannya menjadi struktur fungsi keseluruhan yang lebih rinci. Pada tahap ini, setiap fungsi utama dipecah menjadi beberapa subfungsi yang saling berkaitan sehingga dapat menggambarkan aliran kerja sistem marsed secara lebih lengkap. Diagram berikut menunjukkan struktur fungsi keseluruhan yang menjadi dasar dalam pengembangan konsep desain:



Gambar 4. 3 Struktur Fungsi Keseluruhan

Melalui hasil identifikasi struktur subfungsi yang telah dilakukan, dapat ditentukan berbagai komponen yang harus tersedia agar rancangan marsed gilingan mampu memenuhi kebutuhan operasional serta tujuan pembuatannya. Setiap komponen memiliki peran yang berbeda dan saling mendukung dalam menjalankan fungsi sistem secara keseluruhan. Adapun komponen utama beserta fungsinya pada marsed gilingan dijelaskan sebagai berikut:

a. Cangkang (*Housing*) berfungsi sebagai rumah utama silinder hidrolik yang menahan tekanan oli dan menjadi dudukan bagi seluruh komponen internal plunyer, termasuk piston, liner, dan seal.
b. Silinder Hidrolik berfungsi menghasilkan tekanan hidraulik yang menekan piston/plunyer secara linear untuk diteruskan ke *top roll* (rol atas) unit gilingan.
c. Piston / Plunyer berfungsi meneruskan gaya tekan hasil konversi tekanan hidrolik menuju *top roll* agar proses ekstraksi nira dari ampas tebu berlangsung optimal.

d. Liner Kuningan (*Brass Liner*) Komponen Perbaikan berfungsi sebagai lapisan pelapis pada dinding dalam cangkang yang bersentuhan langsung dengan piston, guna mengurangi kontak logam-ke-logam (*metal-to-metal contact*) yang selama ini menjadi penyebab utama gesekan berlebih dan getaran tinggi akibat operasional mesin yang bekerja terus-menerus menekan dan memeras tebu.
e. Seal Atas (*Upper Seal*) Komponen Perbaikan Berbahan Teflon (PTFE) tahan panas, berfungsi menahan tekanan oli hidrolik pada sisi atas ruang silinder agar tidak terjadi kebocoran ke luar sistem — titik kegagalan yang paling sering menyebabkan downtime pada kondisi eksisting.
f. Seal Bawah (*Lower Seal*) Komponen Perbaikan Berbahan Teflon (PTFE), berfungsi menahan tekanan ol pada sisi bawah ruang silinder agar tidak terjadi rembesan balik maupun kebocoran internal, sekaligus tahan terhadap suhu kerja area gilingan yang tinggi secara kontinu.
g. Oli Hidrolik berfungsi sebagai media penerus tekanan dari sistem pompa hidrolik menuju piston/plunyer.

3. Prinsip Solusi

Setelah struktur fungsi dan sub-fungsi marsed plunyer hidrolik ditetapkan (Rumah Piston, Piston Marsed, Seal Berserat, dan Penekan Seal Piston), tahap selanjutnya adalah menyusun prinsip solusi untuk masing-masing sub-fungsi tersebut dalam bentuk matriks morfologi (matrik solusi). Setiap sub-fungsi diberikan tiga alternatif solusi dengan prinsip kerja, material, dan pertimbangan teknis yang berbeda seperti berikut:

Tabel 4. 21 Matrik Solusi

No	**Sub Fungsi**	**Alternatif**		
		I	**II**	**III**
1	Rumah Piston (*Housing*/Cangkang)	 Besi Cor kelabu (FC300)	 Baja Cor (Cast Steel ASTM A216 WCB)	 Baja Karbon S45C (AISI 1045)

No	Sub Fungsi	Alternatif		
		I	II	III
2	Liner (Sisipan)	 Kuningan Naval Brass C46400	 Perunggu (Bronze SAE 660/C93200)	 Baja Paduan
3	Piston Marsed (Piston/Plunyer)	 *Forged Steel*	 Baja Paduan AISI 4140 (Chromoly)	 *Stainless Steel*
4	Seal Atas (*Upper Seal*)	 *PTFE Braided Packing*	 Polyurethane	
5	Seal Bawah (*Lower Seal*)	 *PTFE Braided Packing*	 Polyurethane	
6	Penekan Seal Piston	 Stainless Steel 316	 Baja karbon (mild steel) / Besi Cor	 Aluminium alloy

Setiap solusi teknis yang dihasilkan pada masing-masing sub fungsi disusun berdasarkan hasil identifikasi permasalahan yang telah dilakukan pada tahap

sebelumnya. Pemilihan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan spesifikasi teknis serta kebutuhan fungsional agar rancangan yang dihasilkan mampu bekerja secara optimal dan sesuai dengan tujuan perancangan. Setelah alternatif pada setiap sub-fungsi ditentukan, tahapan berikutnya adalah menyusun beberapa kombinasi alternatif solusi untuk memperoleh konsep desain yang paling efektif dan memenuhi kriteria yang telah ditetapkan.

4. Alternatif kombinasi solusi

Tahap ini bertujuan untuk menyusun berbagai kombinasi alternatif berdasarkan solusi yang telah diperoleh pada setiap sub fungsi. Kombinasi tersebut kemudian dijadikan sebagai beberapa konsep desain yang selanjutnya akan dievaluasi melalui proses seleksi guna menentukan alternatif yang paling sesuai dengan kebutuhan perancangan. Struktur modul hasil penyusunan kombinasi ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 4. 22 Struktur Modul

No	Unsur Mesin	Varian 1	Varian 2	Varian 3
1	Rumah Piston (*Housing*/Cangkang)			
2	Liner (Sisipan)			
3	Piston Marsed (Piston/Plunyer)			
4	Seal Atas (*Upper Seal*)			
5	Seal Bawah (*Lower Seal*)			
6	Penekan Seal Piston (Gland/Presser)			

Dari hasil kombinasi di atas, didapatkan variasi kombinasi sebagai berikut:

Varian 1 (Merah) : 1.1-2.1-3.1-4.1-5.1-6.1

Varian 2 (Kuning): 1.2-2.2-3.2-4.2-5.2-6.2

Varian 3 (Hijau) : 1.3-2.3-3.3-4.1-5.1-6.3

Gambar berikut memperlihatkan rancangan alternatif yang dihasilkan dari proses penggabungan berbagai pilihan solusi pada tahap sebelumnya. Setiap alternatif

merupakan hasil kombinasi konsep yang telah disusun dan dipilih sebagai usulan desain untuk memenuhi kebutuhan perancangan yaitu sebagai berikut:

- Varian 1 : →
- Varian 2 : →
- Varian 3 : →

Tabel 4. 23 Alternatif Varian Solusi

No	Sub Fungsi	Alternatif		
		I	II	III
1	Rumah Piston (*Housing*/Cangkang)	 Besi Cor kelabu (FC300)	 Baja Cor (Cast Steel ASTM A216 WCB)	 Baja Karbon S45C (AISI 1045)
2	Liner (Sisipan)	 Kuningan Naval Brass C46400	 Perunggu (Bronze SAE 660/C93200)	 Baja Paduan
3	Piston Marsed (Piston/Plunyer)	 *Forged Steel*	 Baja Paduan AISI 4140 (Chromoly)	 *Stainless Steel*
4	Seal Atas (*Upper Seal*)		 Polyurethane	

No	Sub Fungsi	Alternatif		
		I	II	III
		PTFE Braided Packing		
5	Seal Bawah (*Lower Seal*)	 *PTFE Braided Packing*	 Polyurethane	
6	Penekan Seal Piston	 Stainless Steel 316	 Baja karbon (mild steel) / Besi Cor	 Aluminium alloy

Tabel di atas menunjukkan hasil penyusunan beberapa kombinasi konsep desain yang diperoleh dari prinsip-prinsip solusi pada tahap sebelumnya. Setiap varian tidak disusun secara acak, melainkan dirancang berdasarkan kebutuhan fungsional marsed gilingan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo, khususnya untuk mengatasi permasalahan kebocoran oli hidrolik akibat kegagalan sistem penyekat (*seal*). Kombinasi tersebut mempertimbangkan aspek keandalan komponen, kemudahan proses perawatan, kesesuaian dengan kondisi operasional di lapangan, serta kemudahan implementasi pada sistem yang sudah ada tanpa memerlukan perubahan konstruksi secara menyeluruh. Masing-masing varian menawarkan pendekatan yang berbeda dalam meningkatkan kinerja sistem penyekat dan menjaga kestabilan tekanan hidrolik sehingga potensi terjadinya kebocoran dapat diminimalkan. Penyusunan beberapa alternatif konsep ini menjadi dasar dalam proses seleksi desain pada tahapan berikutnya. Selanjutnya, setiap varian akan dievaluasi berdasarkan kriteria teknis maupun ekonomis, seperti efektivitas dalam mencegah kebocoran, kemudahan manufaktur dan pemasangan, biaya implementasi, serta kemudahan pemeliharaan. Hasil evaluasi tersebut akan digunakan untuk menentukan konsep desain yang paling sesuai dan optimal

untuk diterapkan pada marsed gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Berikut merupakan hasil kombinasi dari masing-masing varian yang telah disusun.

Tabel 4. 24 Hasil Kombinasi Varian

No	Komponen	Varian I	Varian II	Varian III
1	Rumah Piston (*Housing*/Cangkang)	Besi Cor kelabu (FC300)	Baja Cor (Cast Steel ASTM A216 WCB)	Baja Karbon S45C (AISI 1045)
2	Liner (Sisipan)	Kuningan Naval Brass C46400	Perunggu (Bronze SAE 660/C93200)	Baja Paduan
3	Piston Marsed (Piston/Plunyer)	*Forged Steel*	Baja Paduan AISI 4140 (Chromoly)	*Stainless Steel*
4	Seal Atas (*Upper Seal*)	*PTFE Braided Packing*	Polyurethane	-
5	Seal Bawah (*Lower Seal*)	*PTFE Braided Packing*	Polyurethane	-
6	Penekan Seal Piston (Gland/Presser)	Stainless Steel 316	Baja karbon (mild steel) / Besi Cor	Aluminium alloy

Varian I memiliki keunggulan pada penggunaan material yang mengutamakan sisi ekonomis dan kemudahan fabrikasi tanpa mengorbankan fungsi dasar komponen. Rumah piston menggunakan Besi Cor Kelabu (FC300) yang mudah dicetak dan diproduksi massal dengan biaya rendah, sementara liner menggunakan Kuningan (*Brass*) yang cukup tahan korosi dan memiliki permukaan halus sehingga gesekan dengan piston tetap terjaga. Piston sendiri dibuat dari *Forged Steel* hasil tempa yang memiliki struktur butir rapat sehingga tahan terhadap beban siklik berulang. Pada bagian seal, penggunaan PTFE *Braided Packing* memberikan keunggulan berupa ketahanan

kimia yang sangat baik serta koefisien gesek rendah sehingga tidak mudah merusak permukaan liner saat piston bergerak. Sebagai penekan seal, digunakan *Stainless Steel* 316 yang menjamin ketahanan terhadap korosi meskipun berada di lingkungan basah dan asam akibat nira tebu. Secara keseluruhan, varian ini lebih menonjol dibandingkan dua varian lainnya dalam hal ketahanan seal, karena kombinasi PTFE *Braided Packing* dengan penekan seal berbahan *Stainless Steel* 316 mampu memberikan perlindungan ganda terhadap kebocoran, baik dari sisi ketahanan kimia material seal itu sendiri maupun dari sisi ketahanan korosi komponen penekannya, sehingga umur pakai seal menjadi lebih panjang dan risiko kebocoran cairan nira dapat diminimalkan.

Varian II memiliki keunggulan dalam hal keseimbangan antara kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap tekanan kerja yang lebih tinggi. Rumah piston menggunakan Baja Cor (Cast Steel ASTM A216 WCB) yang umum digunakan pada komponen bertekanan tinggi seperti valve dan perpipaan industri, sehingga mampu menahan beban kerja yang lebih berat. Liner menggunakan Perunggu (Bronze SAE 660/C93200) yang dikenal unggul dalam ketahanan aus dan gesekan, menjadikannya pilihan umum untuk bushing atau liner pompa dengan siklus kerja tinggi. Piston menggunakan Baja Paduan AISI 4140 (Chromoly) yang menggabungkan kekuatan tinggi dengan ketangguhan material, sehingga mampu bekerja optimal pada tekanan tinggi. Seal atas dan bawah menggunakan Polyurethane yang lebih tahan terhadap suhu tinggi dan keausan mekanis dibandingkan PTFE, sedangkan penekan seal menggunakan Baja Karbon (*mild steel*) atau besi cor yang lebih ekonomis dibandingkan stainless steel. Dengan demikian, varian ini lebih cocok bagi kebutuhan operasional dengan tekanan kerja tinggi namun tetap mempertimbangkan efisiensi biaya material dibandingkan Varian III.

Varian III memiliki keunggulan dalam hal ketahanan korosi maksimal, menjadikannya pilihan yang sesuai untuk lingkungan kerja dengan tingkat keasaman tinggi akibat nira tebu. Rumah piston menggunakan Baja Karbon S45C (AISI 1045) yang memiliki kekuatan mekanik tinggi dan mudah dipermesinan, cocok untuk komponen dengan beban dinamis. Liner menggunakan Baja Paduan yang memiliki kekuatan lebih tinggi meskipun memerlukan perlakuan tambahan seperti coating atau hardening agar tahan terhadap korosi. Piston menggunakan Stainless Steel yang unggul dalam ketahanan korosi terhadap nira asam, meskipun kekuatan mekaniknya relatif

lebih rendah dibandingkan Chromoly pada Varian II. Pada bagian seal, informasi material tidak tercantum secara jelas pada tabel, sedangkan penekan seal menggunakan Aluminium Alloy yang ringan namun umumnya memiliki kekuatan dan ketahanan aus lebih rendah dibandingkan stainless steel

5. Estimasi Biaya Varian

Penyusunan estimasi biaya dilakukan untuk mengetahui besaran biaya yang dibutuhkan pada tiap varian sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam proses evaluasi pemilihan konsep. Berikut merupakan estimasi biaya pada masing-masing varian per satu set perbaikan marsed gilingan:

a. Varian 1

Berikut merupakan estimasi biaya varian 1:

Tabel 4. 25 estimasi biaya varian 1

No	**Komponen**	**Spesifikasi Kebutuhan**	**Kebutuhan**	**Harga Satuan**	**Total Harga**
1	Rumah Piston	Besi Cor Kelabu FC300 (machining ulang cangkang)	1 Unit	180.000.000	180.000.000
2	Liner (Sisipan)	Kuningan Naval Brass C46400 (custom machining ⌀320 mm)	1 Unit	150.000.000	150.000.000
3	Piston Marsed	Forged Steel	1 Unit	40.000.000	40.000.000
4	Seal Atas	PTFE *Braided Packing*	1 Set	15.000.000	15.000.000
5	Seal Bawah	PTFE *Braided Packing*	2 Set	15.000.000	30.000.000
6	Penekan Seal Piston	*Stainless Steel* 316	1 Unit	2.5000.000	2.5000.000
				Total	440.000.000

b. Varian II

Berikut merupakan estimasi biaya varian II:

Tabel 4. 26 estimasi biaya varian II

No	Komponen	Spesifikasi Kebutuhan	Kebutuhan	Harga Satuan	Total Harga
1	Rumah Piston	Baja Cor (Cast Steel ASTM A216 WCB)	1 Unit	220.000.000	220.000.000
2	Liner (Sisipan)	Perunggu (Bronze SAE 660/C93200)	1 Unit	130.000.000	130.000.000
3	Piston Marsed	Baja Paduan AISI 4140 (Chromoly)	1 Unit	55.000.000	55.000.000
4	Seal Atas	Polyurethane	1 Set	10.000.000	10.000.000
5	Seal Bawah	Polyurethane	2 Set	1.000.000	20.000.000
6	Penekan Seal Piston	Baja Karbon (*Mild Steel*)/Besi Cor	1 Unit	12.000.000	12.000.000
				Total	447.000.000

c. Varian III

Berikut merupakan estimasi biaya varian III:

Tabel 4. 27 estimasi biaya varian III

No	Komponen	Spesifikasi Kebutuhan	Kebutuhan	Harga Satuan	Total Harga
1	Rumah Piston	Baja Karbon S45C (AISI 1045),	1 Unit	150.000.000	150.000.000
2	Liner (Sisipan)	Baja Paduan dengan (*custom machining*)	1 Unit	90.000.000	90.000.000
3	Piston Marsed	*Stainless Steel*	1 Unit	65.000.000	65.000.000
4	Seal Atas	PTFE *Braided Packing*	1 Set	15.000.000	15.000.000

No	Komponen	Spesifikasi Kebutuhan	Kebutuhan	Harga Satuan	Total Harga
5	Seal Bawah	PTFE *Braided Packing*	2 Set	15.000.000	30.000.000
6	Penekan Seal Piston	Aluminium Alloy	1 Set	18.000.000	18.000.000
				Total	368.000.000

4.2.2.3 Fase III: Perancangan Wujud (*Embodiment Design*)

Fase III merupakan tahapan seleksi terhadap ketiga varian yang telah disusun, dengan tujuan memperoleh satu konsep akhir yang paling tepat menjawab permasalahan kebocoran seal pada marsed gilingan. Seleksi dilakukan menggunakan Tabel Pemilihan Kombinasi, yang menilai setiap varian berdasarkan tujuh kriteria, yakni kesesuaian terhadap fungsi keseluruhan sistem, terpenuhinya seluruh daftar kehendak (*demand*), kesesuaian dengan batasan biaya investasi, kecukupan pengetahuan konsep yang dimiliki perancang, kesesuaian dengan preferensi teknis perancang, kelayakan prinsip desain untuk direalisasikan, serta pemenuhan aspek keandalan operasional berupa penurunan *downtime* akibat kebocoran seal. Ketujuh kriteria ini digunakan agar varian yang terpilih nantinya tidak hanya unggul dari sisi teknis, tetapi juga masuk akal dari sisi biaya dan layak diterapkan pada unit marsed gilingan di PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

Pengisian Tabel Pemilihan Kombinasi dilakukan oleh perancang melalui analisis teknis terhadap karakteristik material dan komponen pada masing-masing varian, dengan mempertimbangkan kondisi operasional aktual di stasiun gilingan, seperti tekanan kerja hidrolik, suhu lingkungan, dan pola kegagalan seal yang telah teridentifikasi pada tahap Root Cause Analysis sebelumnya. Hasil akhir dari penilaian ini menunjukkan varian mana yang paling sesuai untuk diusulkan sebagai konsep perbaikan marsed gilingan. Berikut merupakan hasil Tabel Pemilihan Kombinasi yang telah disusun:

Tabel 4. 28 Pemilihan Kombinasi

Universitas Islam Indonesia	**TABEL PEMILIHAN KOMBINASI** Perancangan Marsed Gilingan	
VARIASI PRINSIP SOLUSI (Sv)	**Kriteria Pemilihan** (+) Ya (-) Tidak (?) Kurang Informasi (!) Periksa Spesifikasi	**Keputusan** (+) Solusi yang dicari (-) Hapuskan Solusi (?) Kumpulkan Informasi (!) Lihat Spesifikasi

Sv		A Sesuai Fungsi Keseluruhan	B Sesuai Daftar Kehendak	C Dalam Batas Biaya	D Pengetahuan Konsep Memadai	E Material tersedia di pasaran	F Secara Prinsip dapat di Realisasikan	G Memenuhi Syarat Keamanan	Keterangan	Keputusan
V1	1	+	+	+	+	+	+	+		+
V2	2	+	+	-	+	-	?	!	Sistem Hidrolik	-
V3	3	+	-	+	+	-	+	-		-

Tanggal: 19-07-2026	Perancang: Raihan Fatharani	Teknik Industri

Berdasarkan hasil tabel pemilihan kombinasi, konsep yang terpilih sebagai usulan perbaikan marsed gilingan adalah Varian I. Pemilihan ini didasari oleh pertimbangan menyeluruh terhadap sisi teknis, tingkat keamanan, kemudahan operasional, efisiensi biaya, serta kesesuaiannya dengan kebutuhan pengguna di lapangan. Penggunaan liner berbahan Kuningan Naval Brass C46400 pada Varian I memberikan permukaan gesek yang lebih halus dan cukup tahan terhadap korosi akibat paparan nira tebu, sehingga interaksi antara liner dan piston selama

proses kerja dapat berlangsung lebih presisi dan minim keausan dibandingkan liner pada Varian III yang berbahan baja paduan. Selain itu, material PTFE *Braided Packing* yang diterapkan pada seal atas maupun seal bawah terbukti lebih unggul dibandingkan material pada Varian II dan Varian III dalam menahan sifat asam dari nira tebu, sekaligus memiliki koefisien gesek yang rendah sehingga tidak mudah merusak permukaan liner kuningan selama proses kerja piston berlangsung. Kombinasi antara liner kuningan dan seal PTFE tersebut berperan langsung dalam menekan potensi kebocoran seal, yang selama ini menjadi akar penyebab downtime pada marsed gilingan, sehingga tekanan hidrolik yang dihasilkan dapat lebih terjaga dan stabil.

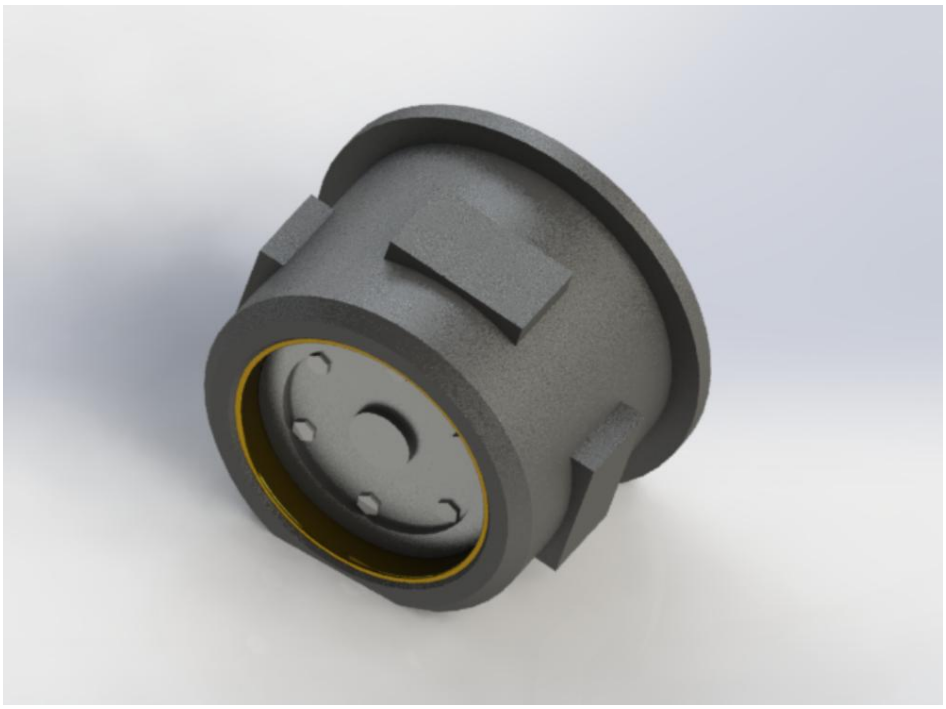
Ditinjau dari sisi biaya investasi, Varian I tercatat sebagai opsi lebih hemat dengan total estimasi Rp440.000.000, jauh lebih rendah dibandingkan Varian II yang membutuhkan biaya hingga Rp 447.000.000. Kendati demikian, dari sisi perlindungan komponen liner dan seal, Varian I tetap menjadi varian paling menyeluruh bila dibandingkan Varian II yang mengandalkan Perunggu (Bronze SAE 660) dan Polyurethane namun peningkatan performanya tidak signifikan untuk kondisi operasional marsed gilingan saat ini. Varian II akhirnya tidak dipilih karena tingkat kerumitan perawatannya lebih tinggi; material Polyurethane pada bagian seal menuntut penanganan khusus akibat sifatnya yang lebih kaku dibandingkan PTFE, ditambah biaya investasi yang membengkak tanpa disertai peningkatan berarti pada aspek ketahanan seal maupun liner. Sementara itu, Varian III juga dieliminasi karena liner berbahan baja paduan memerlukan perlakuan tambahan seperti coating atau hardening agar tahan korosi, serta spesifikasi material pada bagian sealnya tidak tercantum secara lengkap, sehingga menimbulkan keraguan terhadap tingkat keandalannya dalam mencegah kebocoran.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Varian I merupakan pilihan yang paling sesuai karena berhasil menjawab kebutuhan dan daftar kehendak yang telah dirumuskan sejak tahap awal penelitian, yakni menekan tingkat kebocoran seal yang selama ini menjadi penyebab utama downtime pada marsed gilingan. Perpaduan antara liner Kuningan (Brass) dan seal PTFE Braided Packing memberikan perlindungan yang saling melengkapi terhadap kebocoran, di mana liner kuningan menjaga presisi dan kehalusan permukaan gesek, sementara seal PTFE menahan sifat asam nira tebu dengan gesekan yang rendah, sehingga masa pakai kedua komponen tersebut dapat lebih panjang dan tekanan hidrolik pada proses ekstraksi nira tetap stabil. Atas dasar itulah Varian I dinilai sebagai solusi paling tepat untuk menekan angka downtime akibat kebocoran seal yang menjadi fokus permasalahan dalam penelitian ini.

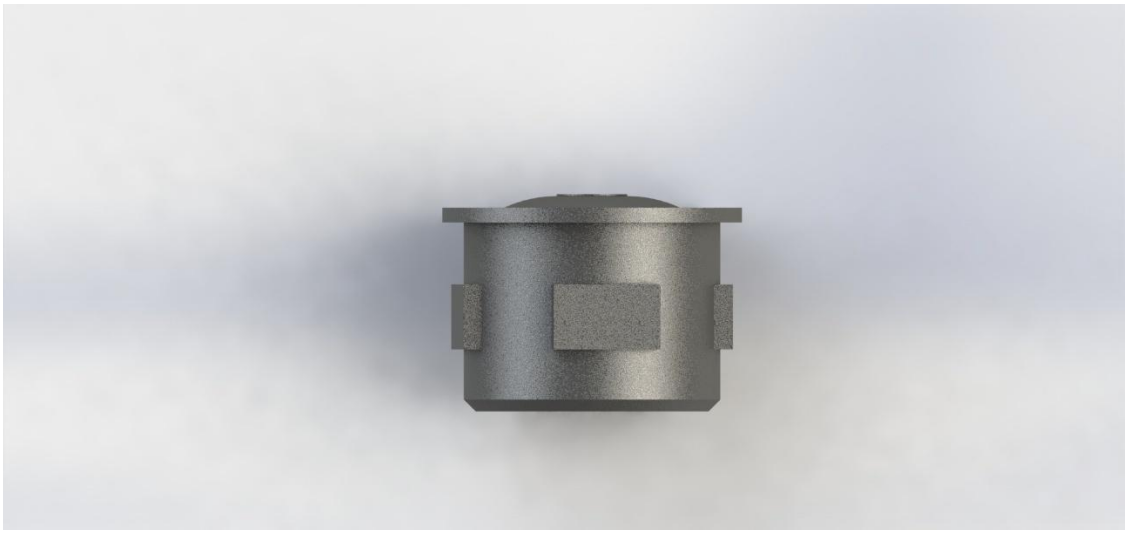
4.2.2.4 Fase IV Perancangan Detail (*Detail Design*)

Fase IV adalah tahap perancangan bentuk desain, yaitu proses menerjemahkan konsep yang telah dipilih pada fase sebelumnya menjadi rancangan beserta spesifikasi teknis yang rinci, sehingga siap untuk diwujudkan secara fisik. Pada fase ini, fokus utamanya adalah menyusun desain dalam bentuk model 3D lengkap dengan spesifikasi yang tepat, yang dirancang khusus untuk menunjang jalannya operasional alat di PT Madukismo.

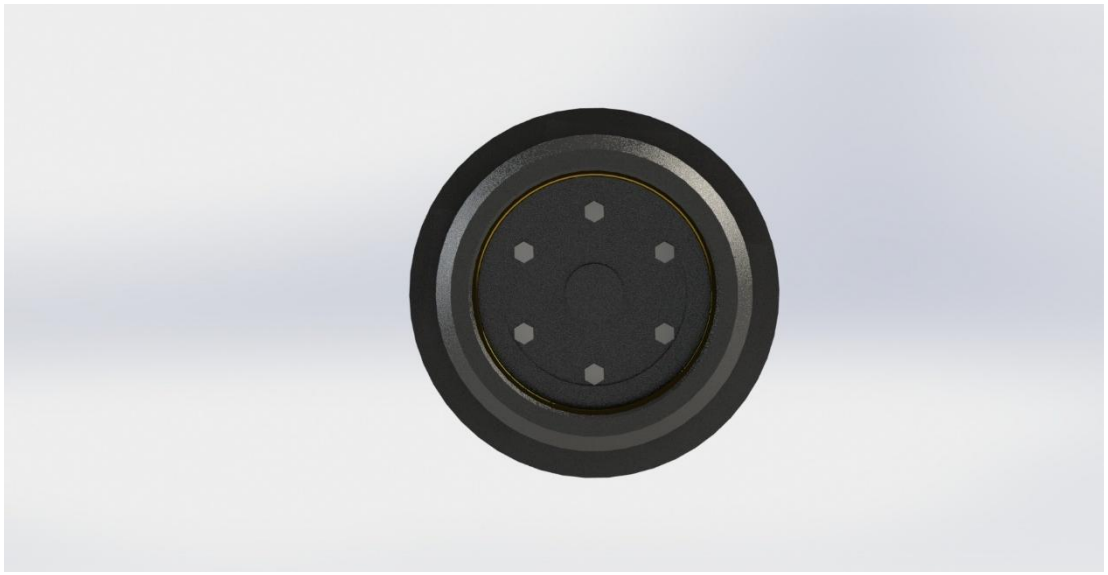
1. Pemodelan desain



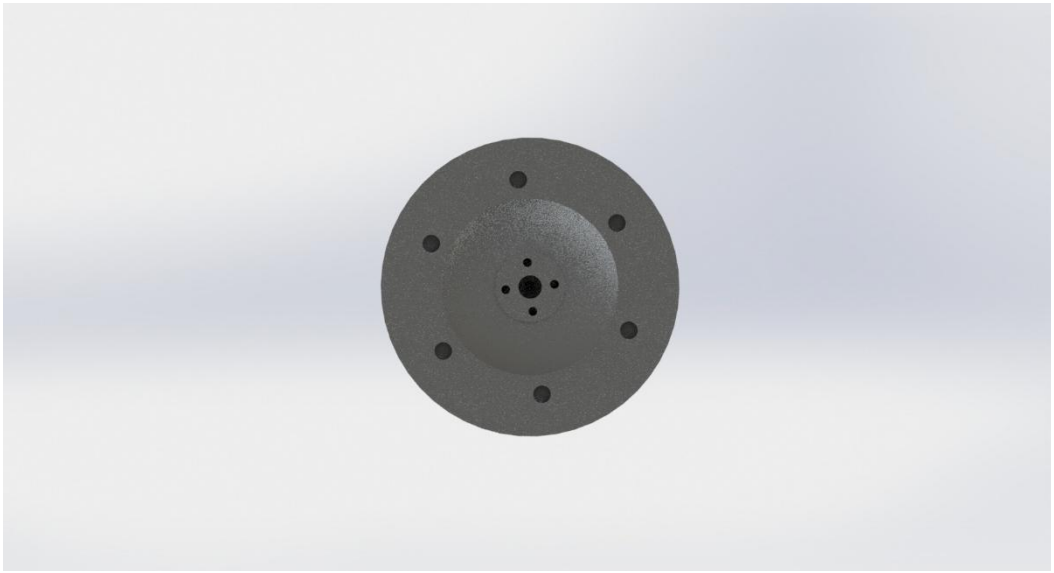
Gambar 4. 4 Marsed Gilingan



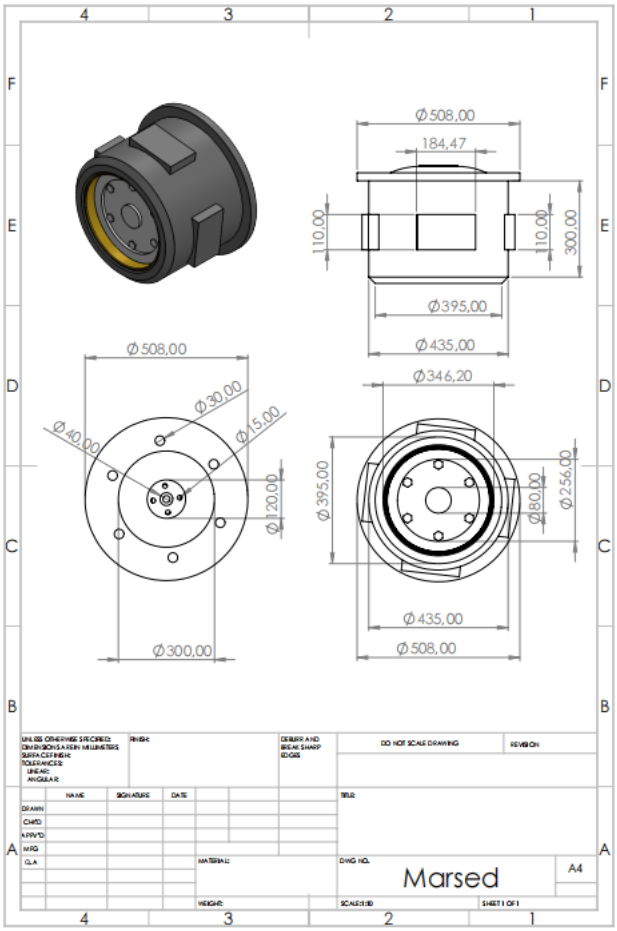
Gambar 4. 5 Tampak Samping Marsed



Gambar 4. 6 Tampak Bawah Marsed



Gambar 4. 7 Tampak atas marsed



Gambar 4. 8 Gambar teknik marsed

2. Spesifikasi Desain

Tabel 4. 29 Spesifikasi Desain

No	Komponen	Spesifikasi	Keterangan
1	Rumah Piston (*Housing*/Cangkang)	Besi Cor Kelabu (FC 300) Diameter silinder 320 mm	Menahan tekanan hidrolik 180 - 220 bar, dudukan komponen internal plunyer
2	Liner (Sisipan)	Kuningan (*Naval Brass* C46400)	Mengurangi kontak logam-ke-logam antara piston dan cangkang, tahan korosi terhadap nira tebu
3	Piston / Plunyer	*Forged Steel*	Meneruskan gaya tekan hidrolik menuju *top roll* gilingan

No	Komponen	Spesifikasi	Keterangan
4	Seal Atas (Upper Seal)	PTFE *Braided Packing*	Tahan suhu kerja hingga 200-260℃, koefisien gesek rendah, menahan tekanan oli sisi atas silinder
5	Seal Bawah (Lower Seal)	PTFE *Braided Packing*	Tahan sifat asam nira tebu, mencegah rembesan balik / kebocoran internal
6	Penekan Seal Piston (Gland/Presser)	*Stainless Steel* 316	Menjamin ketahanan korosi pada lingkungan basah dan asam akibat nira tebu, memberi perlindungan ganda terhadap kebocoran seal
7	Media Kerja	Oli Hidrolik	Suhu lingkungan area gilingan 80 - 95℃, operasional kontinu 24 jam selama musim giling
8	Rentang kerja panas seal	200-260 ℃	material masih dapat bekerja di suhu 200-260 ℃ dengan aman dan optimal tanpa mengalami kerusakan atau penurunan kinerja.
9	Rentang kerja panas liner	650 – 815 ℃	komponen dapat bekerja di suhu 650 – 815 ℃ dengan aman dan optimal tanpa mengalami kerusakan atau penurunan kinerja.

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Hasil Rancangan

Rancangan perbaikan marsed gilingan yang telah dibuat sebelumnya menggunakan konfigurasi silinder hidrolik dengan sistem piston/plunyer yang menekan top roll gilingan. Rumah piston (housing/cangkang) menggunakan material besi cor kelabu (FC 300) berdiameter silinder 320 mm yang mampu menahan tekanan hidrolik kerja sebesar 180–220 bar. Rancangan ini dibuat tetap kompatibel dengan housing dan dudukan plunyer eksisting, sehingga tidak memerlukan perubahan pada struktur utama mesin gilingan maupun proses instalasi khusus dari luar. Rancangan keseluruhan ini memiliki keunggulan mengeliminasi akar penyebab kebocoran seal yang selama ini menjadi penyumbang utama *downtime*, sehingga marsed mampu beroperasi secara kontinu selama musim giling tanpa mengalami kegagalan dini seperti pada kondisi sebelumnya.

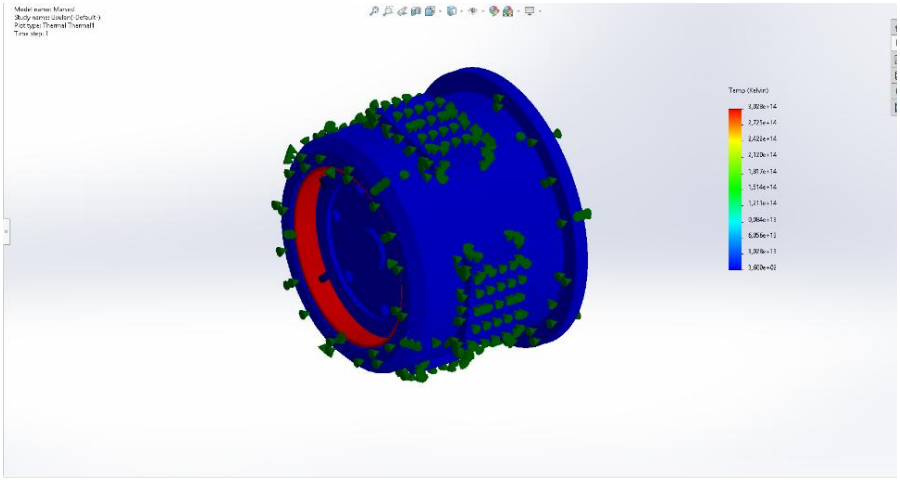
Sistem penyekat (*sealing system*) yang menggunakan PTFE braided packing pada seal atas dan seal bawah dapat mempertahankan ketahanan terhadap suhu kerja lingkungan gilingan yang mencapai 80–95°C secara kontinu selama 24 jam, jauh di bawah batas ketahanan materialnya hingga 260°C, sehingga menghindari degradasi elastisitas seal akibat panas berlebih seperti yang teridentifikasi pada hasil *root cause analysis*. Material PTFE ini juga memiliki koefisien gesek yang rendah terhadap permukaan liner, sehingga mampu mengurangi laju keausan pada seal maupun komponen yang bersinggungan dengannya. Sifat tahan asam dari material ini turut memastikan seal mampu bertahan terhadap sifat korosif nira tebu, mencegah rembesan balik maupun kebocoran internal yang sebelumnya menjadi penyebab utama tingginya *downtime* mesin giling.

Selanjutnya, komponen kritis pada rancangan ini adalah liner (sisipan) berbahan kuningan (*brass*) yang berfungsi mengurangi kontak logam ke logam secara langsung antara piston dan cangkang, sekaligus memberikan ketahanan terhadap korosi akibat paparan nira tebu. Secara mekanis, penggunaan liner kuningan ini memberikan permukaan sliding bearing yang presisi, di mana toleransi ketebalan pelapisan dijaga agar tidak mengganggu gerak bebas (*free running clearance*) piston. Penekan seal (gland/presser) berbahan stainless steel 316 memberikan perlindungan ganda terhadap kebocoran seal pada lingkungan kerja yang basah dan asam, sekaligus menjamin ketahanan korosi jangka panjang. Integrasi seluruh komponen

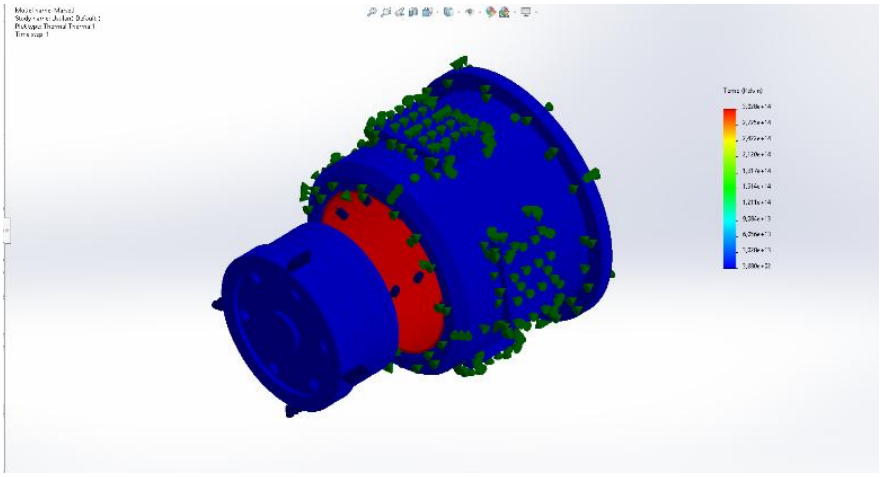
ini memastikan bahwa oli hidrolik sebagai media kerja tidak terkontaminasi maupun bereaksi kimia dengan material penyusun marsed, sehingga target penurunan *downtime* akibat kebocoran seal minimal 50% dari kondisi eksisting dapat tercapai, sekaligus menjaga standar keandalan operasional pada stasiun gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

5.2 Analisis Kekuatan Struktur

Dalam memastikan bahwa struktur mekanis marsed gilingan hasil rancangan mampu menahan beban kerja sesuai dengan kebutuhan operasional stasiun gilingan, dilakukan validasi menggunakan fitur *simulation* pada *software Solidworks*. Beban yang digunakan mengacu pada tekanan hidrolik kerja aktual sebesar 180–220 bar yang diteruskan piston/plunyer terhadap top roll gilingan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua skenario pembebanan berbeda, yaitu kondisi eksisting dengan liner berbahan besi cor kelabu (FC 300) dan kondisi usulan dengan liner berbahan kuningan (Brass), untuk mengevaluasi respon material pada masing-masing kondisi berupa distribusi tegangan (*von Mises stress*), tingkat lendutan (*displacement*), serta faktor keamanan (*factor of safety*) yang dihasilkan. Perbandingan ini bertujuan untuk membuktikan bahwa penggantian material liner pada desain usulan tidak menurunkan kekuatan struktural marsed gilingan, bahkan tetap mampu bekerja dengan aman pada beban kerja yang telah ditetapkan. Berikut merupakan hasil dari simulasi yang dilakukan:



Gambar 5. 1 Usulan Marsed



Gambar 5. 2 Usulan dalam marsed

Analisis kekuatan struktur pada tahap ini dilakukan melalui simulasi *visualisasi thermal study* pada desain usulan dengan liner kuningan (*Brass*) dan seal PTFE *Braided Packing* menunjukkan pola distribusi suhu yang jauh lebih terkendali, sebagaimana ditunjukkan pada Warna merah yang merepresentasikan suhu tinggi hanya terpusat secara eksklusif pada area liner kuningan yang bersinggungan langsung dengan piston, sementara seluruh permukaan bodi rumah marsed dan area piston bagian tengah tetap didominasi warna biru yang merepresentasikan suhu aman. Kondisi ini terjadi karena kuningan memiliki konduktivitas termal yang jauh lebih tinggi dibandingkan besi cor kelabu, yaitu berkisar antara 109–125 W/m·K, sehingga material ini mampu menyerap panas hasil gesekan secara cepat, meratakannya ke seluruh permukaan ring, kemudian membuangnya keluar menuju bodi housing sebelum sempat merambat ke komponen internal piston.

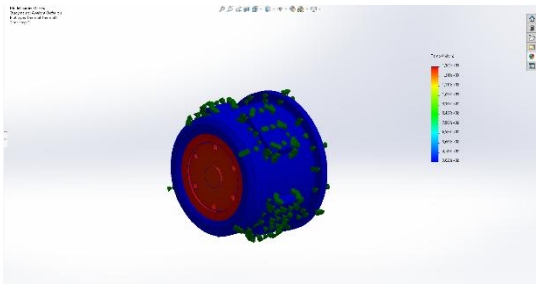
Jika ditinjau dari rentang kerja panasnya, seal PTFE *Braided Packing* yang digunakan pada desain usulan mampu bekerja secara optimal hingga suhu 150°C, jauh di atas suhu lingkungan operasional aktual area gilingan yang berkisar 80–95°C secara kontinu selama 24 jam. Artinya, terdapat margin keamanan termal yang lebar antara suhu kerja aktual dengan batas kemampuan material seal, sehingga risiko degradasi elastisitas akibat panas berlebih seperti yang terjadi pada seal Polyurethane sebelumnya dapat dihindari. Kondisi ini turut didukung oleh hasil simulasi yang menunjukkan zona merah (suhu tinggi) hanya terlokalisasi pada ring liner kuningan dan tidak menembus ke area tengah piston, sehingga beban termal tambahan akibat gesekan tidak ikut membebani seal secara signifikan. Sementara itu, material liner kuningan sendiri memiliki rentang kerja panas yang jauh lebih tinggi, yaitu 650–815°C, sehingga secara material liner tidak berisiko mengalami kerusakan struktural maupun

kehilangan sifat mekanisnya akibat panas hasil gesekan pada kondisi operasional marsed gilingan.

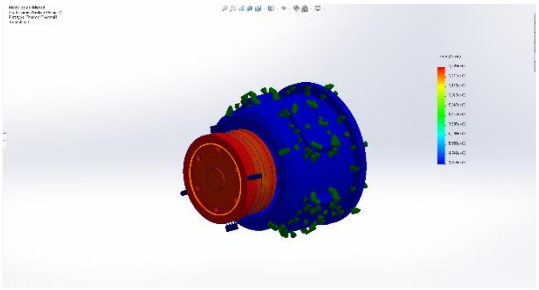
Dari sisi kekuatan struktur, kemampuan liner kuningan dalam melokalisasi panas ini memberikan dampak positif yang signifikan terhadap stabilitas dimensi komponen. Karena panas tidak lagi menjalar ke seluruh area piston, potensi pemuaian termal yang tidak merata dapat ditekan, sehingga clearance antara piston dan dinding silinder tetap terjaga sesuai toleransi rancangan. Dengan demikian, risiko galling akibat kontak logam kelogam yang berlebih dapat diminimalkan. Ditambah dengan seal PTFE yang bekerja jauh di bawah batas atas rentang kerja panasnya, risiko pengerasan (*hardening*) dan retak mikro (*micro crack*) pada material seal dapat ditekan secara signifikan, sehingga daya sekat tetap terjaga dalam jangka waktu operasional yang lebih panjang. Secara keseluruhan, kombinasi liner kuningan sebagai thermal buffer dan heat sink dengan seal PTFE yang memiliki margin keamanan termal lebar menjadikan struktur marsed gilingan pada desain usulan memiliki ketahanan yang jauh lebih baik terhadap beban panas operasional dibandingkan dengan kondisi eksisting.

5.3 Analisis Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah

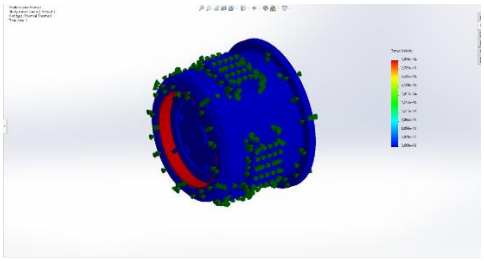
Berikut merupakan gambar simulasi perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya usulan perbaikan menggunakan software solidwork:



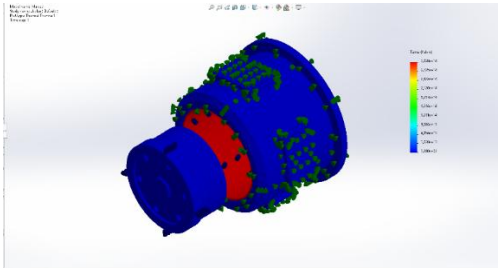
Gambar 5. 3 sebelum usulan perbaikan



Gambar 5. 4 bagian dalam seal sebelum usulan perbaikan



Gambar 5. 5 setelah dilakukan usulan perbaikan



Gambar 5. 6 Bagian dalam seal setelah usulan perbaikan

Untuk memperjelas sejauh mana rancangan usulan mampu mengatasi permasalahan yang telah diidentifikasi pada kondisi eksisting, dilakukan perbandingan secara sistematis antara kondisi sebelum dan sesudah rancangan pada beberapa parameter kunci, meliputi material komponen, mekanisme kontak antar bagian, hingga proyeksi dampaknya terhadap downtime mesin giling. Perbandingan tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Perbandingan sebelun dan sesudah usulan perbaikan

Parameter	**Kondisi Sebelum Rancangan**	**Kondisi Sesudah Rancangan**	**Dampak Perbaikan**
Material Liner (Cangkang)	Besi Cor Kelabu (FC 300)	Kuningan (*Brass*)	Konduktivitas termal lebih tinggi (109–125 W/m·K), panas gesekan terlokalisasi & tidak menjalar ke piston.
Material Seal	Polyurethane	PTFE *Braided Packing*	Rentang kerja panas naik dari 40–90°C menjadi hingga 260°C, margin aman jauh lebih lebar dari suhu operasional 80–95°C.
Kontak Logam–Logam	Langsung (piston baja vs. cangkang besi cor)	Diredam liner kuningan sebagai *sliding bearing*	Abrasi/baret pada dinding cangkang berkurang, kontaminasi oli hidrolik dari serpihan logam menurun.
Frekuensi Penggantian Seal	1 kali per 6 bulan operasi	Diproyeksikan lebih jarang (margin termal & gesekan lebih aman)	Interval perawatan lebih panjang, kegiatan *unplanned maintenance* berkurang.
Downtime Akibat Kebocoran Seal	Kontributor utama *downtime* (*Availability* terendah 68% di bulan Mei)	Ditargetkan turun minimal 50% dari kondisi eksisting	*Availability rate* mesin giling meningkat, mendukung stabilitas produksi saat musim giling.

Perbandingan antara kondisi marsed gilingan eksisting dan hasil rancangan usulan menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan tidak hanya bersifat penggantian material secara parsial, melainkan merupakan intervensi menyeluruh terhadap akar penyebab kegagalan yang telah teridentifikasi pada tahap *root cause analysis*. Sebagaimana ditunjukkan pada tabel, penggantian material liner dari besi cor kelabu (FC 300) menjadi kuningan (*brass*) secara langsung menjawab permasalahan konduktivitas termal yang rendah pada kondisi eksisting, di

mana panas hasil gesekan sebelumnya cenderung terakumulasi dan mempercepat degradasi seal. Dengan konduktivitas termal kuningan yang jauh lebih tinggi, panas dapat tersebar dan terbuang lebih cepat sebelum sempat merambat ke komponen seal, sehingga memutus salah satu rantai penyebab kebocoran yang selama ini berulang.

Perubahan material seal dari Polyurethane menjadi PTFE *Braided Packing* juga perlu dicermati bukan sekadar sebagai peningkatan spesifikasi, tetapi sebagai koreksi terhadap kesalahan margin desain pada kondisi eksisting. Rentang kerja panas seal Polyurethane sebesar 40–90°C pada dasarnya sudah nyaris tidak memiliki ruang aman terhadap suhu operasional aktual area gilingan yang mencapai 80–95°C secara kontinu, sehingga wajar apabila kegagalan akibat degradasi termal menjadi penyebab dominan downtime pada kondisi sebelumnya. Sebaliknya, PTFE dengan batas kerja hingga 260°C menyediakan *margin* keamanan yang jauh lebih realistis terhadap kondisi lapangan. Temuan ini sekaligus menjadi catatan penting bahwa pemilihan material pada rancangan awal mesin kemungkinan besar tidak sepenuhnya mempertimbangkan kondisi suhu kerja aktual di lapangan, bukan semata soal usia pakai komponen.

Meskipun demikian, perlu digarisbawahi bahwa seluruh proyeksi perbaikan pada penelitian ini termasuk target penurunan *downtime* minimal 50% dan estimasi perpanjangan interval penggantian seal masih bersifat teoretis berdasarkan hasil simulasi *software* (*Solidworks*) dan analisis sifat material, belum melalui tahap pengujian fisik atau uji coba langsung pada unit mesin giling. Dengan demikian, angka-angka tersebut sebaiknya dipandang sebagai proyeksi awal yang memerlukan validasi lebih lanjut melalui uji lapangan pada periode giling berikutnya, bukan sebagai hasil yang telah terbukti secara empiris. Keterbatasan ini juga sejalan dengan batasan penelitian yang telah dinyatakan pada Bab I, yaitu bahwa rekomendasi yang dihasilkan bersifat konseptual dan belum sampai pada tahap implementasi langsung di perusahaan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan ini memperkuat argumen bahwa rendahnya efektivitas mesin giling pada kondisi eksisting bukan disebabkan oleh kesalahan tunggal, melainkan interaksi antara pemilihan material yang kurang sesuai dengan kondisi kerja aktual dan minimnya evaluasi ulang terhadap desain seiring berjalannya waktu operasional. Implikasinya, perbaikan yang berkelanjutan tidak cukup hanya dilakukan pada tingkat komponen, tetapi juga perlu disertai dengan evaluasi berkala terhadap kesesuaian spesifikasi material dengan kondisi lingkungan kerja yang sesungguhnya.

5.4 Analisis Perbandingan Solusi dengan Penelitian Terdahulu

Untuk memperkuat posisi kontribusi dari rancangan yang diusulkan, perlu dilakukan perbandingan antara pendekatan penyelesaian masalah pada penelitian ini dengan pendekatan yang digunakan pada penelitian terdahulu yang membahas permasalahan sejenis, yaitu rendahnya efektivitas mesin akibat *downtime* yang tinggi. Berbeda dengan kajian literatur pada Bab II yang berfungsi sebagai landasan teori dan dasar penetapan kerangka penelitian, perbandingan pada bagian ini berfokus pada hasil rancangan yang telah dihasilkan, sehingga dapat diketahui sejauh mana pendekatan yang digunakan pada penelitian ini memiliki kesamaan, perbedaan, maupun keunggulan dibandingkan solusi-solusi yang telah diterapkan sebelumnya.

Sebagian besar penelitian terdahulu yang telah diuraikan pada Bab II, seperti (Amelia Kumala Sari et al., 2025), (Mujayyin & Luwi Adi, 2022), (Andreanus, 2024), dan (Rafliadi et al., 2025), menyelesaikan permasalahan rendahnya efektivitas mesin melalui pendekatan manajerial, yaitu penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) yang berfokus pada perbaikan sistem perawatan, keterlibatan operator dalam *autonomous maintenance*, penjadwalan planned maintenance, serta pelatihan sumber daya manusia. Pendekatan tersebut umumnya tidak mengubah desain maupun spesifikasi material komponen mesin, melainkan memperbaiki pola dan disiplin perawatan terhadap kondisi mesin yang ada. Hasil yang diperoleh pun diukur murni melalui peningkatan nilai OEE, misalnya dari 53,14% menjadi 78,96% pada (Mujayyin & Luwi Adi, 2022) dan dari 78,61% menjadi 80,36% pada(Andreanus, 2024).

Penelitian ini menempuh jalur yang berbeda. Berdasarkan hasil root cause analysis, akar permasalahan downtime pada mesin giling PT Madubaru (PG-PS) Madukismo teridentifikasi bersifat teknis-material, yaitu ketidaksesuaian spesifikasi material seal dan liner terhadap kondisi suhu dan sifat korosif lingkungan kerja aktual, bukan semata soal disiplin atau jadwal perawatan. Oleh karena itu, solusi yang diusulkan berupa rekayasa ulang (*redesign*) komponen kritis marsed gilingan menggunakan tahapan perancangan VDI 2221, dengan hasil berupa penggantian material liner dan seal. Pendekatan ini menempatkan perbaikan pada tingkat komponen dan material, sehingga bersifat lebih permanen dibandingkan perbaikan pada tingkat manajemen perawatan semata, meskipun keduanya pada dasarnya saling melengkapi dan tidak saling meniadakan.

Tabel 5. 2 Perbandingan solusi dengan penelitian terdahulu

Aspek	**Penelitian Terdahulu**	**Penelitian (Redesain Marsed)**	**Perbedaan Utama**
Fokus Perbaikan	Sistem dan pola perawatan (*manajerial*), seperti *autonomous* & *planned maintenance, pelatihan operator*	Komponen dan material kritis penyebab kegagalan (liner, seal)	Level intervensi berbeda, *manajerial* vs. rekayasa komponen
Metode Analisis	OEE dan atau *fishbone*/Pareto/5W+1H untuk memetakan losses	Root Cause Analysis dilanjutkan tahapan perancangan VDI 2221 hingga detail design	Penelitian ini berlanjut sampai keluaran desain fisik, bukan hanya rekomendasi manajerial
Indikator Keberhasilan	Kenaikan nilai OEE, seperti 53,14%→78,96% (Mujayyin & Luwi Adi, 2022); 78,61%→80,36% (Andreanus, 2024)	Target penurunan downtime akibat kebocoran seal minimal 50% dari kondisi eksisting	Satuan ukur berbeda (persentase OEE vs. persentase penurunan downtime), sehingga tidak dapat dibandingkan langsung secara angka
Tahap Validasi	Umumnya diukur langsung dari data historis produksi setelah implementasi berjalan	Simulasi kekuatan struktur (*SolidWorks*) dan analisis sifat material; belum uji fisik lapangan	Penelitian ini masih bersifat konseptual/teoretis, sedangkan sebagian studi pembanding sudah berbasis data implementasi riil

Berdasarkan perbandingan pada tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak bertentangan dengan temuan-temuan pada penelitian terdahulu, melainkan melengkapi dari sisi yang berbeda. Apabila penelitian-penelitian sebelumnya membuktikan bahwa perbaikan pola manajemen perawatan mampu meningkatkan OEE secara signifikan, penelitian ini menunjukkan bahwa pada kasus tertentu peningkatan efektivitas mesin memerlukan intervensi yang lebih mendasar pada tingkat pemilihan material dan desain komponen, terutama ketika akar penyebab kegagalan bersifat teknis dan tidak dapat diselesaikan hanya melalui perbaikan pola perawatan. Perbedaan mendasar lainnya terletak pada tahap validasi, di mana sebagian besar penelitian pembanding telah mengukur keberhasilan dari data implementasi riil di lapangan, sedangkan hasil pada penelitian ini masih bersifat proyeksi berdasarkan simulasi dan analisis teoretis .

5.5 Analisis Ekonomi dan Dampak Finansial

Analisis ekonomi digunakan untuk menjustifikasi kelayakan rancangan usulan perbaikan marsed gilingan pada PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Analisis ini berfokus pada besaran investasi awal yang dibutuhkan untuk penggantian material liner dan seal, serta proyeksi penghematan biaya operasional yang dihasilkan dari penurunan downtime dan berkurangnya frekuensi penggantian komponen akibat kebocoran seal.

5.5.1 Analisis Investasi Awal

Berdasarkan hasil pemilihan kombinasi, Varian I terpilih sebagai konsep yang paling sesuai dengan kebutuhan yang telah dirumuskan. Total estimasi biaya yang dibutuhkan sebesar Rp440.000.000, ditambah cadangan biaya sebesar 10% yaitu Rp44.000.000 sebagai biaya apabila diperlukan, sehingga total investasi awal diperkirakan sebesar Rp484.000.000. Besaran biaya investasi tersebut akan mengalami penyusutan (depresiasi) dengan nilai sisa yang tetap tinggi di akhir masa pakai, dikarenakan penggunaan liner kuningan (*brass)* dan seal PTFE *Braided Packing* yang tergolong komponen industri dengan ketahanan aus dan korosi tinggi, sehingga kondisinya cenderung lebih stabil sepanjang masa pakai. Maka dari itu, pemilihan investasi ini merupakan sebuah strategi mitigasi kerugian operasional dengan mentransformasikan kombinasi material liner-seal eksisting yang berisiko tinggi terhadap kebocoran menjadi konfigurasi liner kuningan dan seal PTFE yang lebih tahan suhu tinggi, dan sesuai dengan kebutuhan operasional marsed gilingan.

5.5.2 Analisis Penghematan Operasional

Permasalahan yang dihadapi sebelumnya adalah tingginya frekuensi kebocoran seal pada marsed gilingan yang berdampak secara finansial, dikarenakan setiap kejadian kebocoran mengharuskan penggantian seal secara penuh dengan biaya mencapai Rp 30.000.000 per kejadian. Berdasarkan data lapangan, frekuensi kebocoran ini terjadi rata-rata sebanyak 4 kali dalam sebulan, sehingga biaya yang ditanggung perusahaan akibat penggantian seal secara reaktif mencapai:

Biaya Bulanan Eksisting= 4×Rp 30.000.000 = Rp 120.000.000

Dalam periode musim giling selama 6 bulan (Mei–Oktober), total kerugian akibat penggantian seal berulang ini diproyeksikan mencapai:

Total 6 Bulan=Rp 120.000.000×6=Rp 720.000.000

Tingginya frekuensi ini disebabkan oleh ketidaksesuaian margin termal material seal Polyurethane eksisting (rentang kerja 40–90°C) terhadap suhu operasional aktual marsed gilingan yang mencapai 80–95°C secara kontinu, sehingga seal mengalami degradasi dipercepat dan gagal jauh lebih sering dari seharusnya.Melalui rancangan usulan berupa kombinasi liner kuningan (*brass*) dan seal PTFE *Braided Packing*, permasalahan ketidaksesuaian margin termal tersebut dapat diatasi secara langsung. Liner kuningan dengan konduktivitas termal tinggi mampu menyebarkan panas gesekan secara lebih merata sebelum merambat ke seal, sementara PTFE dengan batas kerja hingga 260°C menyediakan margin aman yang jauh lebih realistis terhadap suhu kerja aktual. Dengan perbaikan ini, frekuensi kegagalan seal ditargetkan turun minimal 50%, dari 4 kali menjadi 2 kali per bulan. Dengan asumsi biaya penggantian per kejadian tetap setara (Rp 30.000.000, mengingat biaya dominan berasal dari kompleksitas *custom machining* komponen, bukan jenis material seal itu sendiri), maka proyeksi biaya bulanan setelah perbaikan adalah:

Biaya Bulanan Usulan=2×Rp 30.000.000=Rp 60.000.000/bulan

Sehingga penghematan operasional yang diperoleh adalah:

Penghematan Bulanan=Rp 120.000.000−Rp 60.000.000=Rp 60.000.000/bulan

Dalam periode musim giling selama 6 bulan, total penghematan yang dapat diperoleh perusahaan diproyeksikan sebesar:

Total Penghematan 6 Bulan=Rp 60.000.000×6=Rp 360.000.000.

Jadi perusahaan dapat menghemat biaya Rp 360.000.000 selama 6 bulan atau Rp 60.000.000/bulan

5.5.3 Evaluasi Kelayakan Investasi

Kelayakan investasi dalam penelitian ini dievaluasi menggunakan metode *payback period* (PBP), yang berfungsi untuk mengukur seberapa efisien modal dapat dikembalikan sekaligus menilai tingkat risiko finansial yang menyertainya. *Payback period* sendiri didefinisikan sebagai lamanya waktu yang diperlukan agar nilai investasi awal dapat tertutupi sepenuhnya oleh arus kas masuk bersih atau penghematan yang dihasilkan. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya memberikan gambaran yang jelas dan pasti mengenai kecepatan pengembalian modal, khususnya yang bersumber dari penghematan biaya kualitas (*Cost of Poor Quality*). Meskipun metode ini memiliki keterbatasan berupa tidak diperhitungkannya time value of money setelah tercapainya titik impas, PBP tetap dianggap sebagai indikator penting karena secara langsung mencerminkan kecepatan pemulihan modal, yang pada gilirannya berkaitan erat dengan tingkat risiko investasi tersebut. Khusus untuk proyek inovasi teknologi tepat guna di lantai produksi yang efeknya terhadap penurunan cacat dapat dirasakan secara instan pendekatan yang berorientasi pada kecepatan pengembalian modal dinilai lebih tepat, objektif, dan mudah diterapkan oleh pengambil keputusan perusahaan, dibandingkan dengan metode proyeksi jangka panjang yang cenderung mengandung ketidakpastian lebih besar. Rumus yang digunakan untuk menghitung PBP adalah sebagai berikut:

$$PBP = \frac{I_0}{A_m}$$

Keterangan:

PBP = *Payback Period*

I0 = *Initial Investment* / Total Investasi Awal (Rp484.000.000)

Am = *Annual Savings per Month* (Rp 60.000.000)

Maka perhitungan pbp yaitu sebagai berikut:

$$PBP = \frac{484.000.000}{60.000.000}$$

$$PBP = 8{,}06$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai *payback period* (PBP) pada penerapan rancangan liner kuningan dan seal PTFE *Braided Packing* untuk marsed gilingan adalah 8,06 bulan, yang kemudian digenapkan menjadi 9 bulan. Secara teoritis, waktu pengembalian investasi yang kurang dari satu tahun ini menunjukkan bahwa rancangan usulan tersebut memiliki tingkat kelayakan investasi yang tinggi sekaligus risiko finansial yang relatif rendah. Perlu dicatat pula bahwa periode pengembalian modal selama 9 bulan ini melampaui satu musim giling penuh (6 bulan), sehingga secara praktis pemulihan modal baru dapat tercapai sepenuhnya menjelang awal musim giling berikutnya. Meski demikian, dengan penghematan operasional sebesar Rp60.000.000 per bulan yang dihasilkan dari penurunan frekuensi kebocoran seal dari 4 kali menjadi 2 kali per bulan perusahaan tetap memperoleh manfaat finansial yang signifikan, mengingat total penghematan pada satu musim giling saja telah mencapai Rp360.000.000. Setelah masa pengembalian modal terlampaui, seluruh potensi penghematan tersebut akan sepenuhnya menjadi profit bagi perusahaan pada musim-musim giling berikutnya. Hal ini menegaskan bahwa rancangan liner kuningan dan seal PTFE tidak hanya berhasil mengatasi permasalahan kebocoran akibat ketidaksesuaian margin termal, tetapi juga meningkatkan efisiensi biaya operasional serta mendukung keberlanjutan proses produksi pada marsed gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo.

5.5.4 Kesimpulan Analisis Ekonomi

Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa rancangan penggantian kombinasi liner kuningan (*brass*) dan seal PTFE *Braided Packing* pada marsed gilingan bukan hanya solusi teknis atas permasalahan kebocoran, melainkan juga investasi yang layak secara finansial bagi PT Madubaru (PG-PS) Madukismo. Akar permasalahan yang selama ini terjadi kebocoran seal akibat ketidaksesuaian *margin* termal material eksisting terhadap suhu operasional aktual mesin gilingan—dapat diatasi melalui investasi awal sebesar Rp484.000.000,00. Nilai ini bukan sekadar pengeluaran, melainkan modal yang akan kembali dalam waktu relatif singkat: hasil perhitungan *payback period* (PBP) menunjukkan angka 8,06 bulan, atau digenapkan menjadi 9 bulan. Durasi pengembalian yang kurang dari satu tahun ini menjadi indikator kuat bahwa risiko finansial dari investasi tersebut tergolong rendah, sehingga memberikan justifikasi yang meyakinkan bagi perusahaan untuk merealisasikan rancangan secara fisik.

Setelah masa pengembalian modal terlampaui, penghematan operasional sebesar Rp60.000.000,00 per bulan setara Rp360.000.000,00 dalam satu musim giling selama 6 bulan akan sepenuhnya menjadi keuntungan bersih bagi perusahaan. Penghematan ini bersumber dari

turunnya frekuensi kebocoran seal dari 4 kali menjadi 2 kali per bulan, sebuah capaian yang secara langsung memangkas biaya penggantian komponen yang selama ini bersifat reaktif dan berulang.

Nilai investasi ini tidak berhenti pada aspek finansial. Berkurangnya frekuensi kebocoran turut menekan gangguan produksi akibat penghentian mendadak (*downtime*), menjaga kelangsungan musim giling tetap stabil, sekaligus meringankan beban teknisi dari rutinitas perbaikan darurat yang selama ini menyita waktu dan sumber daya. Dari sisi teknis, keberhasilan liner kuningan dan seal PTFE dalam menjembatani kesenjangan margin termal dari rentang kerja seal Polyurethane eksisting yang hanya 40–90°C menjadi PTFE dengan batas kerja hingga 260°C menjadi fondasi meningkatnya keandalan mesin gilingan secara menyeluruh. Ditambah dengan ketahanan aus dan korosi material baru yang jauh lebih unggul, investasi ini sekaligus berfungsi sebagai langkah mitigasi risiko jangka panjang, bukan sekadar solusi jangka pendek atas masalah kebocoran.

Dengan mempertimbangkan kecepatan pengembalian modal, besarnya potensi penghematan operasional, serta manfaat tidak berwujud yang menyertainya, rancangan penggantian liner dan seal pada marsed gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo memenuhi seluruh kriteria kelayakan ekonomi dan sangat direkomendasikan untuk diimplementasikan guna mendukung keandalan dan keberlanjutan proses produksi perusahaan.

5.6 Validasi

Tahapan validasi dilakukan untuk memastikan bahwa struktur mekanis marsed gilingan hasil rancangan usulan mampu menahan beban kerja aktual sesuai kebutuhan operasional stasiun gilingan, sebelum rancangan ini dapat dipertimbangkan sebagai solusi yang layak diterapkan. Proses validasi dilakukan menggunakan fitur simulation pada *software Solidworks*, dengan mengacu pada tekanan hidrolik kerja aktual sebesar 180–220 bar yang diteruskan piston/plunyer terhadap top roll gilingan. Simulasi dijalankan pada dua skenario pembebanan yang berbeda, yaitu kondisi eksisting dengan liner berbahan besi cor kelabu (FC 300) dan kondisi usulan dengan liner berbahan kuningan (brass), untuk membandingkan respons material pada masing-masing kondisi berupa distribusi tegangan (*von Mises stress*), tingkat lendutan (*displacement*), serta faktor keamanan (*factor of safety*) yang dihasilkan.

Hasil simulasi *thermal study* pada desain usulan menunjukkan pola distribusi suhu yang jauh lebih terkendali dibandingkan kondisi eksisting. Zona bersuhu tinggi hanya terlokalisasi secara eksklusif pada area liner kuningan yang bersinggungan langsung dengan piston,

sementara seluruh permukaan bodi rumah marsed dan area piston bagian tengah tetap berada pada rentang suhu aman. Kondisi ini terjadi karena kuningan memiliki konduktivitas termal yang jauh lebih tinggi dibandingkan besi cor kelabu berkisar 109–125 W/m·K sehingga mampu menyerap dan meratakan panas hasil gesekan secara cepat sebelum sempat merambat ke komponen internal piston.

Validasi ini juga mengonfirmasi bahwa seal PTFE *Braided Packing* yang digunakan pada desain usulan memiliki *margin* keamanan termal yang lebar, mengingat batas kerja optimalnya mencapai 150°C, jauh di atas suhu operasional aktual area gilingan yang berkisar 80–95°C secara kontinu selama 24 jam. Sementara itu, material liner kuningan sendiri memiliki rentang kerja panas hingga 650–815°C, sehingga secara struktural tidak berisiko mengalami kerusakan maupun kehilangan sifat mekanisnya akibat panas hasil gesekan. Kemampuan liner dalam melokalisasi panas ini turut menjaga stabilitas dimensi komponen, menekan potensi pemuaian termal yang tidak merata, serta meminimalkan risiko galling akibat kontak logam ke logam yang berlebih.

Secara keseluruhan, hasil validasi melalui simulasi *Solidworks* memberikan keyakinan bahwa penggantian material liner dan seal pada desain usulan tidak menurunkan kekuatan struktural marsed gilingan, bahkan mampu bekerja lebih aman pada beban kerja yang telah ditetapkan dibandingkan kondisi eksisting. Meski demikian, perlu digarisbawahi bahwa validasi ini masih bersifat simulatif berdasarkan perangkat lunak dan analisis sifat material, sehingga hasil yang diperoleh termasuk proyeksi penurunan *downtime* minimal 50% perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui uji coba fisik pada unit mesin gilingan di periode giling berikutnya sebelum diimplementasikan secara penuh

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, berikut disajikan kesimpulan penelitian yang menjawab masing-masing tujuan yang telah ditetapkan:

1. Tingkat efektivitas kegiatan perawatan mesin di stasiun gilingan PT Madubaru (PG-PS) Madukismo masih berada di bawah standar world class dan bersifat fluktuatif sepanjang musim giling. Hasil perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) periode Mei–Oktober menunjukkan nilai rata-rata sebesar 82%, dengan titik terendah terjadi pada bulan Mei sebesar 66% dan titik tertinggi pada bulan Juli sebesar 96%. Fluktuasi ini didominasi oleh rendahnya nilai *availability rate*, sementara *performance rate* dan *quality rate* relatif stabil dan tinggi sepanjang periode pengamatan. Hal ini mengindikasikan bahwa akar permasalahan efektivitas mesin terletak pada seringnya *downtime* akibat kegagalan komponen, bukan pada kecepatan produksi maupun kualitas hasil giling.
2. Akar penyebab ketidakstabilan kinerja mesin giling teridentifikasi melalui analisis *fishbone diagram* pada lima kategori (5M+E), dari sisi material, seal Polyurethane eksisting mengalami keausan dipercepat karena rentang kerja panasnya (40–90°C) nyaris tidak memiliki margin aman terhadap suhu operasional aktual area gilingan yang mencapai 80–95°C secara kontinu, dari sisi *environment*, suhu kerja tinggi yang berlangsung terus-menerus mempercepat degradasi elastisitas seal, dari sisi *machine*, gesekan dan getaran berlebih akibat operasional mesin yang menekan dan memeras tebu secara kontinu turut mempercepat keausan komponen, dari sisi *man*, keterlambatan deteksi indikasi kebocoran menyebabkan tindakan perbaikan tidak dapat dilakukan secara preventif dan dari sisi *method*, interval perawatan yang diterapkan belum sepenuhnya sesuai dengan kondisi kerja aktual di lapangan. Secara keseluruhan, akar permasalahan utama adalah ketidaksesuaian margin termal material seal eksisting terhadap kondisi suhu operasional aktual, yang diperparah oleh kombinasi faktor manusia, mesin, dan metode perawatan yang saling memperkuat.
3. Usulan perawatan yang dirancang untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggantian kombinasi liner kuningan (*brass*) dan seal PTFE *Braided Packing*, yang

dikembangkan melalui pendekatan *design engineering* metode VDI 2221 berdasarkan kebutuhan (*demand dan wishes*) hasil wawancara dengan teknisi dan mandor gilingan. Validasi menggunakan simulasi thermal dan struktural pada *solidworks* menunjukkan bahwa liner kuningan (konduktivitas termal 109–125 W/m·K) mampu melokalisasi panas gesekan sehingga tidak merambat ke seal, sementara seal PTFE (batas kerja hingga 260°C) memiliki margin keamanan termal yang jauh lebih lebar dibandingkan seal eksisting. Dari sisi kelayakan ekonomi, investasi awal sebesar Rp484.000.000,00 diproyeksikan kembali dalam waktu 8,06 bulan (± 9 bulan) melalui *payback period* (PBP), dengan penghematan operasional sebesar Rp60.000.000,00 per bulan atau Rp360.000.000,00 per musim giling, yang bersumber dari penurunan frekuensi kebocoran seal sebesar 50% (dari 4 kali menjadi 2 kali per bulan). Dengan demikian, rancangan usulan ini secara teknis dan finansial layak untuk dipertimbangkan sebagai solusi peningkatan efektivitas mesin giling.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, serta keterbatasan yang telah diuraikan, berikut saran yang dapat menjadi masukan bagi perusahaan maupun pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Bagi Perusahaan
    a. Melakukan uji coba fisik (*prototype testing*) terhadap rancangan liner kuningan dan seal PTFE pada unit mesin gilingan secara terbatas sebelum diterapkan secara menyeluruh, mengingat hasil penelitian ini masih bersifat simulatif dan belum melalui pengujian empiris di lapangan.
    b. Menjadwalkan implementasi penggantian komponen pada masa off-season, sehingga proses instalasi tidak mengganggu jalannya musim giling dan mesin dapat beroperasi dalam kondisi optimal sejak awal musim berikutnya.
    c. Membangun sistem pencatatan riwayat kerusakan dan perawatan mesin secara digital dan terstruktur, guna mendukung deteksi dini indikasi kebocoran seal sehingga tindakan preventif dapat dilakukan sebelum kerusakan berkembang lebih parah.
    d. Menyesuaikan interval perawatan berkala dengan kondisi suhu kerja aktual di lapangan, tidak hanya mengacu pada jadwal waktu tetap, guna mengantisipasi percepatan keausan komponen akibat faktor lingkungan.
2. Bagi Penelitian Selanjutnya

a. Melakukan validasi hasil rancangan melalui pengujian fisik langsung pada unit mesin gilingan di periode giling berikutnya, untuk mengonfirmasi proyeksi penurunan downtime minimal 50% yang saat ini masih berupa hasil simulasi.
b. Mengembangkan analisis kelayakan investasi dengan mempertimbangkan time value of money, misalnya melalui metode *Net Present Value* (NPV) atau Internal *Rate of Return* (IRR), untuk melengkapi hasil payback period yang belum memperhitungkan nilai waktu uang setelah titik impas tercapai.
c. Memperluas cakupan penelitian pada komponen kritis lain di stasiun gilingan selain marsed, mengingat pendekatan *root cause analysis* dan design engineering yang digunakan berpotensi diterapkan pada permasalahan serupa di bagian mesin lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Adoe, D. G. H., Riwu, D. B. N., & Husein, F. B. (2022). *Rancang Bangun Alat Pirolisis Reaktor Tabung Bertingkat untuk Daur Ulang Sampah Plastik Polypropylene (PP) dengan Menggunakan Metode VDI 2221*. http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU

Amaruddin, H. (2020). Analisis Analisis Penerapan Total Productive Maintenance. *EKOMABIS: Jurnal Ekonomi Manajemen Bisnis*, *1*(02), 141–148. https://doi.org/10.37366/ekomabis.v1i02.46

Amelia Kumala Sari, N., Agus Buniarto, E., & Mutaqien, Z. (2025). Implementasi Total Productive Maintenance Pada UD. Palapa Kabupaten Nganjuk. *Zaenul Mutaqien INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, *5*, 604–613. https://j-innovative.org/index.php/Innovative

Andiyana, C., & Latif Iskandar, A. (2024). *IMPLEMENTASI SISTEM TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE DI MESIN CUTTING LASER TIPE CMA1405-FET-N*.

Andreanus, V. (2024). Perbaikan Nilai Overall Equipment Effectiveness dengan Metode Total Productive Maintenance pada PT. Electric Vehicle Trimotorindo. In *Syntax Admiration* (Vol. 5, Number 10).

Aranza Rifqi Diemsy, & Ayudyah Eka Apsari. (2024). TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) PADA PERAWATAN MESIN JAHIT MENGGUNAKAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DI CV. CAHAYA SETIA MULIA. *JURNAL ILMIAH RESEARCH AND DEVELOPMENT STUDENT*, *3*(1), 107–121. https://doi.org/10.59024/jis.v3i1.1053

Arya Guna, R., & Sultan Ageng Tirtayasa, U. (2025). *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi ANALISIS MAINTENANCE MESIN MILLING DI CV PRIMA LOTUS JAKARTA* (Vol. 2). https://journal.hasbaedukasi.co.id/index.php/jurmieHalaman:465-471

Cahyono, A. K. D., & Wulandari, R. S. (2026). Integrasi Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses sebagai Upaya Peningkatan Kinerja Mesin Rolling. *Factory Jurnal Industri, Manajemen Dan Rekayasa Sistem Industri*, *4*(3), 409–425. https://doi.org/10.56211/factory.v4i3.1598

Fachri, M., Hermawan, D., & Wijaya, A. (2026). RANCANG BANGUN HANDCYCLE BAGI KAUM DISABILITAS MELALUI PENDEKATAN ANTROPOMETRI DENGAN MENGGUNAKAN METODE VDI 2221. In *Kocenin Serial Konferensi* (Number 1). https://publikasi.kocenin.com/index.php/pakar/issue/archive

Falwaguna, M. S., & Ihsan, T. (2024). PENERAPAN SHINVA OEE MONITORING SYSTEM UNTUK MENINGKATKAN OEE DI PT. MAKMUR JAYA ABADI. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, *4*(1), 220–228. https://doi.org/10.46306/tgc.v4i1

Jurnal, H., Fatahillah, G., Anwar, N., & Nugroho, Y. A. (2022). *JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN, ELEKTRO DAN KOMPUTER PERANCANGAN ALAT PENGGULUNG BENANG MENGGUNAKAN METODE VDI 2221*.

Kasum, A., Cahyono, D., & Wulandari, R. S. (2026). *Integrasi Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses sebagai Upaya Peningkatan Kinerja Mesin Rolling Studi Kasus: UD Putra Delta*. https://doi.org/10.56211/factory.v4i3.1598

Mujayyin, F., & Luwi Adi, dan. (2022). PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) PEMBANGKIT LISTRIK WASTE HEAT RECOVERY POWER GENERATION (WHRPG). *Journal Mechanical Engineering (NJME)*, *11*(1).

Nanda, M., Waket, A., & Jufriyanto, M. (2025). Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses pada Mesin Coiling di Proses Produksi Coil Spring Plant 3A (Studi Kasus: PT Indospring Tbk). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, *4*(4), 2194–2202.

Prasetyo, R., Sutiawan, H., Saputra, R. R., & Paduloh, P. (2024). Pengendalian Kualitas Produk Teh Botol Sosro di Kota Bekasi dengan Menggunakan Metode 5W+1H. *Blend Sains Jurnal Teknik*, *2*(3), 264–270. https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i3.439

Pratitis, A. C. W., & Maryanty, Y. (2024). EVALUASI TPM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE) DAN PENERAPAN AM (AUTONOMOUS MAINTENANCE) PADA PRODUKSI SUSU KENTAL MANIS DI PABRIK DAIRY. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, *10*(1), 245–255. https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4908

Putri, W. E., & Suryani, S. (2020). ANALISIS PEMELIHARAAN MESIN PRODUKSI DENGAN METODE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PADA PT. TUNGGAL PERKASA PLANTATIONS KECAMATAN LIRIK KABUPATEN INDRAGIRI HULU. *Jurnal Ekonomi KIAT*, *31*(1). https://journal.uir.ac.id/index.php/kiat

Rafliadi, M. N., Ramadhan, B. B., Danar, A., Ariya, R., & Prastyo, Y. (2025). *ASIAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH ASIAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH Menganalisis Produktivitas Kerja Menggunakan Metode Total Productive Maintenance (TPM) dan Overall Equipment Effectivness (OEE) Pada Mesin Moulding*. *2*(1).

Rekayasa Lingkungan, J., Widyantoro, M., Vendhi Prasmoro, A., Muhazir, A., Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, F., & Teknologi Sumber Daya Alam, F. (2020). *ANALISIS PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE PADA MESIN MIXING BATCHING DENGAN METODE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS DI PT. XYZ*.

Risqi, S., Farhan, M., Saputra, R., Defriansyah, D., Wahyudi, B., Program,), Industri, S. T., & Artikel, I. (2025). *Kajian Literatur Masa Depan Manajemen Rantai Pasok dalam Perspektif Teknik Industri: Tantangan dan Strategi A Literature Review on the Future of Supply Chain Management from an Industrial Engineering Perspective: Challenges and Strategies*.

Satria, S. (2025). *Analisis Total Productive Maintenance (TPM) Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Boiler Di PT. VVF Indonesia*. https://www.doi.org/10.22303

Supriyanti, Y., & Fahrudin, W. A. (2025). *Analisis efektivitas kinerja mesin dengan metode Total Productive Maintenance di PT. BII Analysis of machine performance effectiveness using the Total Productive Maintenance method at PT. BII*. https://doi.org/10.37373/jenius.v6i2

Wahid, A., Teknik, J., Fakultas, I., & Pasuruan, T. Y. (2020). Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Produksi Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Proses Produksi Botol (PT. XY Pandaan-Pasuruan). In *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri* (Vol. 6, Number 1).

ZAKARIA, T. (2023). *USULAN PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) PADA MESIN CONTINUOUS PICKLING LINE (CPL) DI PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK.*

LAMPIRAN

Marsed Gilingan











