

# Perancangan Pemeliharaan Mesin Dengan Penerapan Total Productive Maintenance (Tpm) Dan Age Replacement Untuk Mengurangi Downtime Pada Mesin Turret Milling Di Cv Xyz

1<sup>st</sup> Haya Anuaryska Addini  
Fakultas Rekayasa Industri  
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia  
hayaaddini@student.telkomuniversity.  
ac.id

2<sup>nd</sup> Dida Diah Damayanti  
Fakultas Rekayasa Industri  
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia  
didadiah@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Endang Budiasih  
Fakultas Rekayasa Industri  
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia  
endangbudiasih@telkomuniversity.ac.i  
d

**Abstrak**—CV XYZ adalah perusahaan manufaktur yang memproduksi *spare part* mesin industri. Dalam proses produksinya, pada lini produksi *nozle wafer stick* menunjukkan adanya ketidaktercapaian target produksi. Salah satu faktor penyebab permasalahan tersebut adalah adanya kerusakan atau *downtime* pada mesin *turret milling*. *Downtime* yang terjadi sebesar 7552 menit. Sebab terjadinya *downtime* adalah terdapat komponen mesin yang mengalami kerusakan, dengan frekuensi tertinggi pada *end milling*. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan nilai efektivitas penggunaan mesin dengan menggunakan metode OEE (Overall Equipment Effectiveness). Hasil kondisi aktual sebesar 62% dan target standar internasional sebesar 85%. Hal ini menunjukkan performa mesin yang rendah dan butuh dilakukan tindakan *maintenance*. Ketidaktercapaian nilai OEE tersebut dianalisis dengan menggunakan metode *six big losses* dan ditemukan kerugian terbesar terdapat pada *reduce speed losses* sebesar 29%. Dilakukan tindakan dengan penerapan metode Total Productive Maintenance (TPM) dengan penerapan *autonomous maintenance* melalui pemeliharaan kondisi mesin menggunakan *check sheet* berstandar Cleaning Lubricating, Inspection, dan Tightening (CLIT) dan penerapan *planned maintenance* melalui pembuatan penjadwalan. Dilakukan perhitungan dengan metode *age replacement*, sehingga diperoleh hasil rancangan penjadwalan dengan waktu pemeriksaan dan penggantian komponen mesin setiap 111 jam & 180 jam. Berdasarkan nilai *availability* yang diperoleh dari perhitungan menggunakan *age replacement* sebesar 98.78%.

**Kata kunci**— OEE, Six Big Losses, TPM, Age Replacement

## I. PENDAHULUAN

CV XYZ adalah sebuah perusahaan industri manufaktur yang memproduksi *spare part* dengan merintis usaha yang bermula dari penjualan eceran sepeda motor beserta suku cadang hingga akhirnya dapat memperluas jangkauan sebagai *supplier* untuk *spare part* mesin yang dibutuhkan pabrik-pabrik manufaktur. Tujuan produksi *spare part* dilakukan guna mengantisipasi kerusakan atau kekurangan pada mesin selama proses produksi berlangsung, sehingga apabila terdapat komponen yang tidak dapat berfungsi di

tengah proses produksi dan kebutuhan *spare part* sudah terpenuhi, maka kerusakan dapat diatasi dengan cepat. Penelitian ini berfokus pada *workshop* untuk produksi *spare part* yang difasilitasi mesin *turning* dan *turret milling* dengan hasil produksi berupa *nozle wafer stick*.



GAMBAR 1  
Alur proses produksi

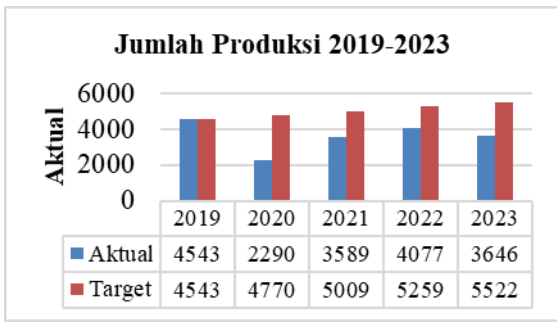


GAMBAR 2  
Nozle wafer stick



GAMBAR 3  
Produk hasil penggunaan nozle wafer stick

Proses produksi dilaksanakan pada batas waktu yang paling dekat dan bahan baku yang sudah siap. Gambar 4 menunjukkan data jumlah produksi *spare part nozle wafer stick* hasil produk mesin *turret milling* dan *turning* dari tahun 2019-2023:



GAMBAR 4  
Grafik hasil produksi *nozle wafer stick*  
(Sumber: Data produksi *nozle* 2019-2023)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa terdapat penurunan jumlah produksi pada tahun 2020 yang disebabkan oleh masa pandemik. Kemudian pada tahun 2021-2022 sempat mengalami kenaikan yang cukup signifikan, namun diikuti dengan penurunan pada tahun berikutnya. Adanya variasi jumlah *order* dan produksi *nozle wafer stick* ini menimbulkan siklus waktu pembuatan produk yang cenderung cepat dan di sisi lain lebih lambat. Menurut kepala produksi, target peningkatan yang ingin dicapai untuk produksi adalah sebesar 5% di setiap tahunnya, namun berdasarkan perbandingan antara target yang ingin dicapai dan data historis produksi yang dapat dilihat pada Gambar 4, maka diketahui bahwa produk ini belum memenuhi target produksi perusahaan seperti pada Tabel 1:

TABEL 1  
Persentase ketercapaian produksi

Tahun	Target	Aktual	GAP	Persentase	Rata-Rata Persentase
2019	4543	4543	0	100.00%	72.64%
2020	4770	2290	2480	48.01%	
2021	5009	3589	1420	71.66%	
2022	5259	4077	1182	77.52%	
2023	5522	3646	1876	66.03%	

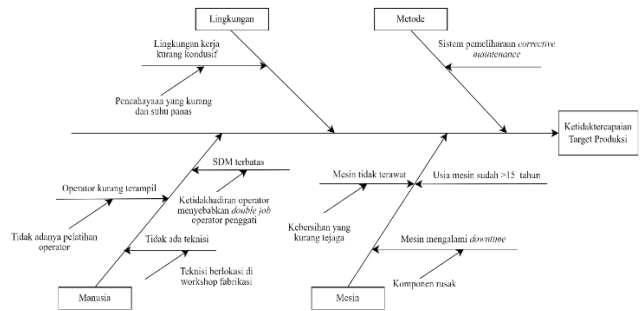
Menurut hasil wawancara terhadap kepala produksi dan kepala administrasi diperoleh faktor penyebab ketidaktercapaian produksi dan tindakan yang dilakukan seperti pada Tabel 2:

TABEL 2  
Faktor penyebab ketidaktercapaian target produksi

No	Kendala	Tindakan
1	Mesin mengalami kerusakan	Melakukan perbaikan mesin
2	Ketiadaan teknisi	Menunggu teknisi dari luar
3	Ketidakhadiran operator	Operator lain melakukan <i>double job</i>
4	Keahlian operator	Mengadakan pelatihan operator

(Sumber : Hasil wawancara dengan Pak Erik dan Pak Sugi)

Kendala di atas sering terjadi sehingga menyebabkan produksi yang kurang maksimal. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi yang dilakukan, maka dapat diidentifikasi menggunakan *fishbone* seperti pada Gambar 5:



GAMBAR 5  
*Fishbone diagram*

Dalam proses produksinya, CV XYZ sering mengalami *downtime*. Hal ini menyebabkan proses produksi menjadi terhenti karena mesin sedang diperbaiki. Tabel 3 merupakan frekuensi kerusakan mesin yang dimiliki oleh CV XYZ selama satu tahun yaitu Januari-Desember 2023:

TABEL 3  
Frekuensi kerusakan mesin

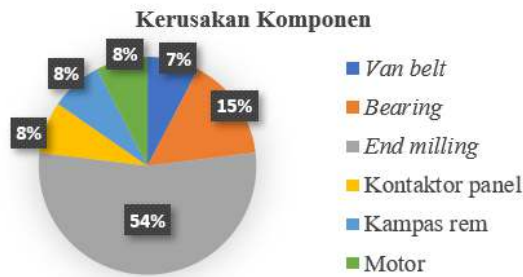
No	Nama Mesin	Frekuensi	Downtime (Menit)
1	<i>Turret Milling</i>	13	7552
2	<i>Turning</i>	6	3744

Dapat dilihat bahwa mesin *turret milling* memiliki frekuensi kerusakan dan hasil *downtime* lebih tinggi daripada mesin *turning*. Ketika mesin mengalami kerusakan, proses produksi berikutnya akan terhambat. Permasalahan yang dialami CV XYZ menunjukkan adanya arus produksi yang tidak stabil dan disebabkan oleh pemeliharaan dan perawatan mesin yang dinilai kurang efektif. Data historis *breakdown time* yang terjadi pada mesin *turret milling* pada bulan Januari-Desember 2023 terlampir pada Tabel 4:

TABEL 4  
Data historis *breakdown time* mesin *turret milling*

No	Waktu Kerusakan	Perbaikan		Breakdown Time (Menit)
		Mulai	Selesai	
1	19-Jan 13:45:00	14:25:00	15:00:00	75
2	21-Feb 09:00:00	09:45:00	10:20:00	80
3	10-Mar 11:15:00	11:30:00	13:50:00	155
4	30-Mar 10:40:00	11:00:00	11:30:00	50
5	15-Apr 14:10:00	15:15:00	16:30:00	140
6	09-Mai 10:30:00	10:50:00	12:35:00	125
7	20-Jun 09:12:00	10:12:00	11:45:00	153
8	17-Jul 13:50:00	14:10:00	15:12:00	82
9	23-Ags 11:24:00	11:50:00	13:45:00	141
10	30-Sep 09:22:00	10:00:00	11:25:00	123
11	16-Okt 15:10:00	15:45:00	16:25:00	75
12	22-Nov 08:22:00	09:10:00	10:00:00	98
13	10-Des 14:20:00	15:22:00	15:40:00	80

Berdasarkan *breakdown time* pada Tabel 4, maka diperlukan tindakan perbaikan seperti penggantian komponen yang rusak dan pemberian pelumasan. Pada Gambar 6, diketahui bahwa terdapat kerusakan komponen yang terjadi pada mesin *turret milling* dari Januari-Desember 2023:



GAMBAR 6  
Diagram persentase kerusakan komponen

Pada gambar 6, diketahui bahwa komponen dengan frekuensi kerusakan tertinggi terdapat pada *end milling*. Hal ini disebabkan karena mudahnya komponen tersebut patah dan aus sehingga dibutuhkan penanganan yang cukup memakan waktu dengan penggantian komponen akibat ketiadaan ketersediaan komponen pengganti dan teknisi. Oleh karena itu, mengakibatkan proses produksi kehilangan kesempatan untuk dapat menghasilkan produk jadi sesuai dengan target.

Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi, maka dilakukan pengukuran kinerja mesin dengan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE), kemudian akan dapat dievaluasi langkah-langkah perbaikan dalam pemeliharaan mesin. Alternatif solusi yang dilakukan adalah menggunakan metode Total Productive Maintenance (TPM). Melalui delapan pilar yang terdapat dalam TPM digunakan gambaran solusi yang diusulkan dalam rangka meminimasi *downtime* pada mesin, yaitu pembuatan jadwal pemeriksaan mesin menggunakan metode *age replacement* sebagai implementasi dari pilar *planned maintenance* dan pembuatan *check sheet* pemeliharaan mesin dengan standar Cleaning, Labricating, Inspection, dan Tightening (CLIT) sebagai implementasi dari pilar *autonomous maintenance*.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Proses Produksi

Proses produksi menurut [1] merupakan kegiatan untuk menciptakan, menghasilkan ataupun menambahkan kegunaan dari suatu barang atau jasa dengan menggunakan beberapa faktor seperti tenaga kerja, mesin, bahan baku, dan biaya agar lebih bermanfaat bagi kebutuhan manusia.

### B. Maintenance

Semua aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan operasi optimal sistem dan semua komponennya secara bersama-sama disebut sebagai *maintenance*. Hal ini dikarenakan perawatan rutin sangat mempengaruhi efisiensi mesin. [2]

### C. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah metrik yang digunakan untuk memastikan bahwa peralatan berada dalam kondisi yang baik dengan menghilangkan *six big losses* pada alat dan biasanya dapat digunakan dalam mengukur kinerja sistem produktif. Metode ini sangat bergantung pada kemampuan untuk mengidentifikasi secara jelas penyebab dan sumber masalah. [3]

Dalam perhitungannya, terdapat nilai-nilai yang digunakan dengan perumusan variabel perhitungan OEE diantaranya sebagai berikut:

#### 1. Availability rate

*Availability* adalah keadaan dimana ketersediaan atau suatu mesin beroperasi dengan perbandingan antara *operation time* dan *loading time*.

$$Availability = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2. Performance Efficiency

*Performance* merupakan rasio yang menunjukkan performa suatu alat dalam memproduksi suatu barang.

$$Performance\ Efficiency = \frac{Theoretical\ cycle\ time \times Processed\ amount}{Operation\ Time} \times 100\% \quad (2)$$

#### 3. Quality rate

*Quality rate* adalah rasio yang menunjukkan kemampuan alat dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar yang ditetapkan sebelumnya.

$$Quality\ Rate = \frac{Total\ product\ (good\ product) - Total\ defect}{Total\ product} \times 100\% \quad (3)$$

#### D. Six big losses

*Six big losses* dapat dianggap sebagai faktor-faktor umum yang menjadi penyebab ketidakefektifan pada mesin. Penggunaan mesin dengan efisien artinya memaksimalkan performa mesin atau alat produksi dengan tepat dan berdaya sesuai dengan keinginan atau target yang ingin dicapai. Untuk meningkatkan produktivitas mesin yang digunakan, analisis efisiensi dan produktivitas mesin harus dilakukan pada enam pengaruh kerugian. Perumusan yang digunakan pada *six big losses* adalah sebagai berikut: [4]

##### 1. Equipment Failure/Breakdowns

Kerugian ini disebabkan oleh cacat peralatan yang membutuhkan perbaikan.

$$Equipment\ Failure/Breakdown = \frac{Total\ breakdown}{Loading\ time} \times 100\% \quad (4)$$

##### 2. Set-up and Adjustment

*Set-up and adjustment* disebabkan oleh perubahan dalam produk dan kondisi operasi.

$$Setup\ \&\ Adjustment\ Losses = \frac{Total\ Setup\ \&\ adjustment}{Loading\ time} \times 100\% \quad (5)$$

##### 3. Idling and minor stoppages

*Idling and minor stoppages* disebabkan oleh peristiwa seperti mesin berhenti, *jamming*, dan santai.

$$Idling\ \&\ Minor\ Stoppages = \frac{Nonproductive\ time}{Loading\ time} \times 100\% \quad (6)$$

##### 4. Reduce speed

*Reduce speed* disebabkan oleh kecepatannya yang berkurang.

$$Reduce\ speed = \frac{Operating\ time - (Theoretical\ cycle\ time \times Processed\ amount)}{Loading\ time} \times 100\% \quad (7)$$

##### 5. Defect losses

*Defect losses* disebabkan oleh non-spesifikasi atau produk cacat yang diproduksi selama operasi normal.

$$\text{Defect losses} = \frac{\text{Total product defect} \times \text{Theoretical cycle time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (8)$$

#### 6. Reduced yield losses

Reduced yield losses disebabkan oleh bahan baku yang tidak digunakan atau terbuang.

$$\text{Reduce yield loss} = \frac{\text{Theoretical cycle time} \times \text{Reject production}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (9)$$

#### E. Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) adalah gagasan mengenai sistem pemeliharaan yang melibatkan seluruh pekerja melalui aktivitas grup kecil [4]. Menurut [5] pendekatan TPM adalah komponen penting dari *lean manufacturing*, yang berfokus pada komitmen seluruh tim dalam merawat dan memelihara alat untuk mencapai tingkat efisiensi terbaik. Tujuan dari metode ini adalah untuk memaksimalkan kinerja perawatan peralatan dan mesin, menghindari masalah produksi, meningkatkan kualitas produk, dan menciptakan budaya perawatan yang dilaksanakan serentak oleh seluruh anggota perusahaan.

#### F. Distribusi Data

[6] Distribusi kerusakan memberikan informasi tentang masa pakai suatu peralatan. Dalam penelitian ini, digunakan distribusi dengan variabel acak kontinu seperti waktu, jarak, atau suhu. Adapun model distribusi keandalan yang umum digunakan meliputi:

##### 1. Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* adalah salah satu distribusi empiris yang sering digunakan karena dapat mencakup tiga fase kegagalan yang berpotensi terjadi dalam suatu distribusi kerusakan. [7]

##### a. Fungsi Kumulatif Kerusakan

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (10)$$

##### b. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (11)$$

$$R(t) = e \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (12)$$

##### c. Fungsi Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (13)$$

##### d. Mean Time to Failure (MTTF)

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (14)$$

##### e. Mean Time to Repair (MTTR)

$$\text{MTTR} = \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (15)$$

##### 2. Distribusi normal

Distribusi normal yang juga dikenal sebagai distribusi *gaussian*, memiliki karakteristik simetris di sekitar rata-rata

dan ditentukan oleh parameter  $\mu$  (rata-rata) dan  $\sigma$  (standar deviasi).

#### 3. Distribusi Lognormal

Distribusi *lognormal* menggunakan parameter  $s$  untuk bentuk dan  $tmed$  sebagai parameter lokasi yang menunjukkan nilai tengah distribusi kerusakan.

#### 4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan konstan terhadap waktu, yang membuatnya paling mudah untuk dianalisis. Parameter utama dalam distribusi ini adalah  $\lambda$ , yang mengindikasikan rata-rata frekuensi kerusakan.

#### G. Reliability Engineering

Keandalan adalah probabilitas bahwa perangkat atau komponen sistem akan beroperasi dalam parameter kualitas yang didefinisikan selama periode waktu tertentu di bawah kondisi operasi yang telah ditetapkan [8]

#### H. Age replacement

*Age Replacement* merupakan metode penjadwalan perawatan komponen berdasarkan umur komponen yang tepat [9]. *Age replacement* digunakan untuk menentukan urutan penggantian suku cadang berdasarkan waktu kerusakan dan digunakan dalam upaya menstabilkan umur dan waktu operasi unit [9]

$$D(tp) = \frac{T_p \cdot R(tp) + T_p \cdot f(tp)}{(tp + T_p) \cdot R(tp) + (M(tp) + T_f) \cdot f(tp)} \quad (16)$$

Keterangan :

$t_p$  = Interval waktu penggantian pencegahan

$T_f$  = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$T_p$  = Waktu untuk melakukan penggantian preventif

$R(tp)$  = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $t_p$

$M(tp)$  = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada saat  $t_p$  yang dapat dicari dengan:

$$M(tp) = \frac{\text{MTTF}}{F(tp)} \quad (17)$$

#### I. Availability

*Availability* adalah probabilitas dari suatu komponen atau sistem yang dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada saat kondisi operasi, setelah selesai dilakukannya tindakan penggantian dan pemeliharaan pencegahan. Hasil nilai *availability* merupakan peluang waktu yang tersedia untuk komponen dapat beroperasi dengan baik. [6]

$$A(n) = 1 - D(n) \quad (18)$$

#### J. Penjadwalan

Penjadwalan adalah aktivitas dalam penentuan waktu dan urutan kegiatan produksi. Melalui penjadwalan, perusahaan dapat mendapatkan gambaran mengenai kegiatan produksi yang mendapatkan gambaran mengenai kegiatan produksi yang dilaksanakan sehingga perusahaan dapat memperkirakan mengenai kebutuhan waktu penyelesaian produksi dan biaya yang dikeluarkan. [10]



### III. METODELOGI PERANCANGAN

#### A. Sistematika Perancangan

Metodologi penelitian menjelaskan mengenai langkah-langkah yang akan diambil dan disesuaikan dengan subjek atau objek penelitian. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah
2. Perumusan masalah
3. Tujuan penelitian
4. Pengumpulan data
5. Pengolahan data dengan metode Overall Equipment

Effectiveness (OEE), *six big losses*, Total Productive Maintenance (TPM), dan *Age Replacement*.

#### B. Pengumpulan data

Terdapat dua jenis data yang digunakan diantaranya :

- a. Data primer dalam penelitian ini yang berasal dari sumber asli dan dikumpulkan secara khusus untuk menjawab pertanyaan penelitian. Data primer yang diperoleh dari CV XYZ adalah alur proses produksi, permasalahan yang terjadi selama proses produksi, dan pernyataan hasil wawancara dengan kepala dan operator yang dilakukan secara luring dan daring.
- b. Data Sekunder adalah data yang diperoleh melalui kumpulan data hasil rekap perusahaan yang dilakukan ketika proses produksi berlangsung. Data sekunder yang diperoleh dan dibutuhkan dalam penelitian ini dari CV XYZ adalah data historis produksi dan *downtime* mesin dari bulan Januari-Desember 2023, data jam kerja tersedia operator, komponen kerusakan, data *defect* dan *reject* produk, dan dokumentasi kondisi mesin.

Berdasarkan data yang diperoleh dari data primer dan sekunder, dilakukan pengolahan dan analisis data yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu:

##### 1. Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Penggunaan OEE dalam menganalisis kinerja mesin yang dilakukan olah data dengan perhitungan tiga faktor yang mempengaruhi nilai OEE diantaranya *availability*, *performance*, dan *quality* menggunakan *software microsoft excel*.

##### 2. Perhitungan Six Big Losses

Berdasarkan hasil pengolahan nilai OEE, maka akan dilakukan olah data lanjutan dengan menggunakan *six big losses* melalui perhitungan *equipment failure loss*, *setup and adjustment losses*, *idling and minor stoppages*, *reduce speed*, *defect losses*, dan *reduce yield loss* untuk mengetahui nilai pada tiap losses dan menampilkan kerugian terbesar yang menyebabkan persentase kinerja mesin rendah.

##### 3. Penerapan Total Productive Maintenance (TPM)

Berdasarkan hasil pengolahan nilai OEE dan *six big losses*, maka dilanjutkan pada analisis untuk usulan perancangan perbaikan terhadap performa mesin yang rendah. Usulan tersebut menggunakan metode Total Productive Maintenance (TPM) melalui pilar *planned maintenance* dan *autonomous maintenance*.

##### 4. Perhitungan Age Replacement

Untuk mengetahui interval waktu yang digunakan dalam pembuatan penjadwalan pemeriksaan dan penggantian komponen mesin. Dimulai dengan perhitungan *downtime* sehingga diperoleh TTR dan TTF nya. Kemudian dilakukan

uji distribusi dengan *minitab* hingga diperoleh nilai MTTR dan MTTF. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk parameternya hingga dihasilkan nilai interval untuk pembuatan penjadwalan terhadap pemeriksaan dan penggantian mesin.

Pada penelitian ini terdapat batasan dan asumsi, diantaranya:

- a. Objek penelitian yang digunakan adalah mesin *turret milling* dan lini produksi *nozle wafer stick*.
- b. Penelitian hanya dilakukan pada waktu proses produk dan mesin, sedangkan data lainnya diambil dari data historis perusahaan.
- c. Penelitian ini berfokus pada hasil analisis dan usulan perancangan perbaikan dengan menggunakan metode Total Productive Maintenance (TPM) pada dua pilar TPM yaitu *planned maintenance* dan *autonomous maintenance* berdasarkan hasil pengukuran Overall Effectiveness Equipment (OEE) dan *six big losses*.
- d. Usulan hasil rancangan berupa penjadwalan pemeriksaan mesin sebagai bagian dari penerapan TPM pada pilar *planned maintenance* dan *template* visualisasi pengukuran Overall Equipment Effectiveness (OEE) serta *check sheet* dengan *Cleaning*, *Lubricating*, *Inspection*, *Tightening* (CLIT) sebagai bagian dari penerapan TPM pada pilar *autonomous maintenance*.
- e. Asumsi bahwa uji distribusi pada Time to Failure (TTF) dan Time To Repair (TTR) dapat diketahui dan dianalisis dengan menggunakan distribusi *weibull*, eksponensial, normal, dan *lognormal*.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Perusahaan

Data jam tersedia adalah waktu beroperasinya mesin yang digunakan oleh operator dalam proses produksi. Tabel 5, merupakan data jam kerja operator di CV XYZ.

TABEL 5  
Data jam kerja

Hari Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat	Jam Kerja Efektif (Jam)
Senin-Jumat	08.00-17.00	12.00-13.00	8
Jumat	08.00-17.30	11.30-13.00	8

Terlampir Tabel 6, perhitungan jam kerja tersedia pada CV XYZ dari bulan Januari – Desember 2023:

TABEL 6  
Perhitungan jam kerja tersedia

Bulan	Jumlah Hari dalam Sebulan	Jumlah Hari Kerja	Jumlah Jam Kerja Tersedia (Jam)
Januari	31	20	160
Februari	28	20	160
Maret	31	21	168
April	30	19	152
Mei	31	21	168
Juni	30	20	160
Juli	31	20	160
Agustus	31	22	176

September	30	20	160
Oktober	31	22	176
November	30	22	176
Desember	31	20	160

Tabel 7, merupakan data *downtime* pada mesin *turret milling* dari bulan Januari – Desember 2023:

TABEL 7  
Data downtime

Bulan	Set Up and Adjustment Time (Jam)	Breakdown Time (Jam)	Downtime (Jam)
Januari	8.33	1.25	9.58
Februari	8.33	1.33	9.67
Maret	8.75	3.42	12.17
April	7.92	2.33	10.25
Mei	8.75	2.08	10.83
Juni	8.33	2.55	10.88
Juli	8.33	1.37	9.70
Agustus	9.17	2.35	11.52
September	8.33	2.05	10.38
Oktober	9.17	1.25	10.42
November	9.17	1.63	10.80
Desember	8.33	1.33	9.67
<b>Total</b>			<b>125.87</b>

Tabel 8, Data produksi mesin adalah jumlah produk *nozle wafer stick* yang dihasilkan oleh mesin *turret milling* dari bulan Januari – Desember 2023:

TABEL 8  
Data Produksi

Bulan	Total Produksi (Unit)	Defect (Unit)	Reject (Unit)
Januari	343	12	2
Februari	283	6	0
Maret	322	9	3
April	373	10	0
Mei	239	0	0
Juni	275	3	1
Juli	237	5	0
Agustus	258	6	0
September	261	0	1
Oktober	333	4	0
November	355	5	3
Desember	367	8	2
<b>Total</b>	<b>3646</b>	<b>68</b>	<b>12</b>

B. Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Perhitungan nilai OEE dilakukan untuk mengetahui nilai efektivitas dari hasil perkalian nilai *availability* (A), *performance* (p), dan *quality rate* (Q). Tabel 9 merupakan hasil perhitungan OEE pada mesin *turret milling* dari bulan Januari – Desember 2023:

TABEL 9  
Perhitungan OEE

Bulan	Availability Rate (%)	Performance Efficiency (%)	Quality Rate (%)	OEE (%)
Januari	93%	79%	97%	71%
Februari	93%	65%	98%	59%
Maret	92%	72%	97%	64%

April	92%	91%	97%	82%
Mei	93%	53%	100%	49%
Juni	92%	64%	99%	58%
Juli	93%	55%	98%	50%
Agustus	93%	54%	98%	49%
September	93%	60%	100%	56%
Oktober	93%	70%	99%	64%
November	93%	74%	99%	68%
Desember	93%	84%	98%	77%
<b>Rata-rata</b>	<b>93%</b>	<b>68%</b>	<b>98%</b>	<b>62%</b>

Terlampir pada Tabel 10, hasil perbandingan dari nilai OEE pada mesin *turret milling* dari bulan Januari – Desember 2023:

TABEL 10  
Perbandingan nilai OEE

Faktor OEE	Hasil	Standar JIPM	Pemenuhan Standar JIPM
Availability	93%	90%	Memenuhi
Performance Efficiency	68%	95%	Tidak Memenuhi
Quality Rate	98%	99%	Tidak Memenuhi
<b>OEE</b>	<b>62%</b>	<b>85%</b>	<b>Tidak Memenuhi</b>

Berdasarkan pengolahan pada Tabel 10, maka diperoleh hasil untuk masing-masing indikator OEE pada mesin *turret milling* pada bulan Januari-Desember 2023 dengan keterangan terdapat dua faktor OEE yang tidak terpenuhi yaitu nilai *availability* dan *Performance efficiency*, sehingga dihasilkan nilai OEE sebesar 62% yang menunjukkan nilai masih di bawah standar yang ditetapkan oleh Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) yaitu sebesar 85%. Dengan nilai sebesar 62%, maka kinerja mesin dapat dikategorikan standar, namun menunjukkan peluang untuk dilakukan *improvement* yang besar.

C. Persentase Six Big Losses

Setelah melakukan perhitungan *six big losses* yang dapat mempengaruhi efektivitas mesin, maka diperoleh hasil persentase dari masing-masing kerugian terbesar pada mesin *turret milling* dari bulan Januari – Desember 2023 terlampir pada Tabel 11:

TABEL 11  
Persentase six big losses

Bulan	Equip-ment Failure Loss (%)	Setup & Adjustment Loss (%)	Idling & Minor Stop-pages Loss (%)	Redu-ce Speed Loss Time (%)	Defect Loss (%)	Reduce Yield Loss (%)
Jan	7%	6%	29%	20%	3%	0%
Feb	7%	6%	21%	32%	1%	0%
Mar	8%	6%	25%	26%	2%	1%
Apr	8%	6%	22%	8%	2%	0%
Mei	7%	6%	23%	44%	0%	0%
Jun	8%	6%	22%	33%	1%	0%
Jul	7%	6%	23%	42%	1%	0%
Ags	7%	6%	23%	42%	1%	0%
Sep	7%	6%	22%	37%	0%	0%
Okt	7%	6%	22%	28%	1%	0%
Nov	7%	6%	21%	24%	1%	1%
Des	7%	6%	22%	14%	2%	0%
<b>Rata-rata</b>	<b>7%</b>	<b>6%</b>	<b>23%</b>	<b>29%</b>	<b>1%</b>	<b>0%</b>

Berdasarkan Tabel 11, maka diperoleh persentase *six big losses* dari masing-masing kerugian yang dihasilkan oleh mesin *turret milling* pada bulan Januari-Desember 2023, diantaranya nilai *equipment failure loss* sebesar 7%, *setup and adjustment losses* sebesar 6%, *idling and minor stoppages* sebesar 23%, *reduce speed* sebesar 29%, *defect losses* sebesar 0% dan *reduce yield loss* sebesar 0%. Adapun nilai rata-rata *time loss* dan *persentase loss* yang menjadi faktor penyebab kerugian efisiensi berdasarkan *six big losses* mesin *turret milling* pada periode waktu Januari – Desember 2023 terlampir pada Tabel IV.19:

TABEL 12  
Rata-rata persentase

No	Six Big Losses	Rata-rata dari Persentase Time Loss (%)	Persentase Loss (%)	Persentase Losses Kumulatif (%)
1	Reduce Speed	29%	44%	44%
2	Idling and Minor Stoppages	23%	34%	78%
3	Equipment Failure Loss	7%	11%	89%
4	Setup and Adjustment Losses	6%	9%	98%
5	Defect Losses	1%	2%	100%
6	Reduce Yield Loss	0%	0%	100%
<b>Total</b>		<b>Total</b>	<b>67%</b>	<b>100%</b>

Berdasarkan perbandingan persentase untuk masing-masing faktor diketahui bahwa kerugian terbesar berasal dari *reduce speed* yaitu kecepatan mesin yang kurang sesuai dan waktu henti kecil yaitu sebesar 29% untuk persentase *loss*-nya dan 44% untuk persentase *losses*. Sedangkan di urutan kedua terbesar adalah *idling and minor stoppages* sebesar 23% dengan 34% persentase *losses*. Kerugian ini terjadi ketika menunggu atau memberhentikan mesin sementara. Upaya untuk meningkatkan kecepatan operasi dan mengurangi gangguan kecil dapat memberikan peningkatan signifikan dalam efisiensi produksi.

D. Perancangan Penjadwalan Pemeriksaan Mesin

Dilakukan perhitungan Time to Repair (TTR) dan Time to Failure (TTF). Pada Tabel 13, diperoleh hasil rekapitulasi *index of fit* untuk TTR dan TTF setiap distribusi pada mesin *turret milling* dari 13 kerusakan pada tahun 2023 adalah sebagai berikut:

TABEL 13  
Perhitungan TTR dan TTF

Perbaikan		TTR	Waktu Akhir Rusak - Waktu Kerja Selesai (Jam)	Waktu Kerja Mulai - Waktu Kerusakan Awal (Jam)	Hari Kerja (Jam)	TTF
Mulai	Selesai					
14:25:00	15:00:00	0.58	-	-	-	-
09:45:00	10:20:00	0.58	3.25	5.75	200	209.00
11:30:00	13:50:00	1.33	8.00	1.00	184	193.00
09:10:00	10:00:00	0.83	5.75	3.25	216	225.00
15:15:00	16:30:00	1.25	0.63	0.37	216	217.00
10:50:00	12:35:00	1.75	2.83	6.17	184	193.00
10:12:00	11:45:00	1.55	6.50	2.50	200	209.00
14:10:00	15:12:00	1.03	7.80	1.20	192	201.00

11:50:00	13:45:00	1.92	8.63	5.83	200	214.47
10:00:00	11:25:00	1.42	5.60	3.40	208	217.00
15:45:00	16:25:00	0.67	7.63	1.37	200	209.00
11:00:00	11:30:00	0.50	1.83	7.17	208	217.00
15:22:00	15:40:00	0.30	6.33	2.67	208	217.00

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai Index of Fit (r) dengan menggunakan metode *Least-Square Curve-Fitting* yaitu pemilihan distribusi berdasar pada koefisien korelasi terbesar. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software minitab*.

TABEL 14  
Index of Fit dari TTR dan TTF

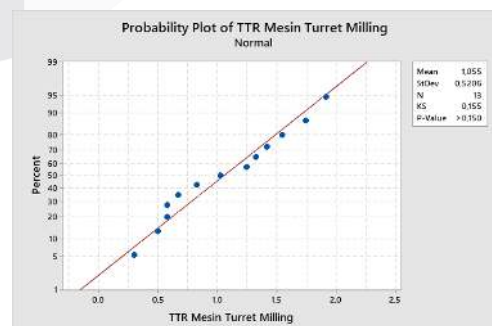
Index of Fit TTR	
Mesin Turret Milling	
Distribusi Weibull	0.986
Distribusi Normal	0.983
Distribusi Lognormal	0.976
Distribusi Exponensial	-
Index of Fit TTF	
Mesin Turret Milling	
Distribusi Weibull	0.963
Distribusi Normal	0.951
Distribusi Lognormal	0.947
Distribusi Exponensial	-

Berdasarkan Tabel 14, maka distribusi yang tepat pada data TTR dengan nilai koefisien korelasi (r) terbesar untuk mesin *turret milling* adalah *weibull*. Begitu pun distribusi yang tepat pada data TTF dengan nilai koefisien korelasi (r) terbesar untuk mesin *turret milling* adalah menggunakan distribusi *weibull*.

Pengujian kesesuaian distribusi dilakukan untuk mengetahui apakah data TTR dan TTF berdistribusi *weibull*. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil distribusi dari data TTR dan TTF terhadap mesin *turret milling*:

1. Uji Kesesuaian Distribusi TTR

Pada Gambar 7, merupakan hasil pengolahan data uji kesesuaian (*godness of fit*) terhadap waktu perbaikan (TTR):



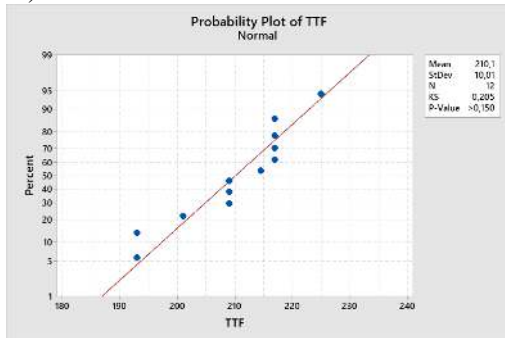
GAMBAR 7  
Pengujian distribusi dari TTR

Berdasarkan Gambar IV.4, nilai *P-value* pada mesin *turret milling* berdistribusi adalah bernilai 0.150 sehingga

nilai dinyatakan  $> 0.05$ , maka data benar berdistribusi *weibull*.

2. Uji Kesesuaian Distribusi TTF

Pada Gambar 8, merupakan hasil pengolahan data uji kesesuaian (*goodness of fit*) terhadap waktu perbaikan (TTF):



GAMBAR 8  
Pengujian distribusi dari TTF

Berdasarkan Gambar 8, nilai *P-value* pada mesin *turret milling* berdistribusi adalah bernilai 0.150 sehingga nilai dinyatakan  $> 0.05$ , maka data benar berdistribusi *weibull*.

E. Hasil Parameter

Dapat dilihat pada Tabel 15, hasil masing-masing parameter TTR dan TTF kerusakan mesin dan komponen *end milling* yang diperoleh darimasing-masing distribusi terpilih dengan *software minitab*:

TABEL 15  
Parameter dari TTR dan TTF

Parameter	TTR	TTF
$\beta$	2.05	24.28
$\theta$	1.20	214.52

F. Hasil nilai MTTR dan MTTF

Hasil nilai dari MTTF dan MTTR kerusakan mesin dan komponen *end milling* yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 14 dan 15:

TABEL 16  
Hasil MTTF dan MTTR

Mean	Hasil
MTTR	1.061173055
MTTF	209.7670415

Berdasarkan hasil perhitungan nilai MTTR dengan menggunakan distribusi *weibull*, maka dilanjutkan pada perhitungan waktu interval pemeriksaan mesin *turret milling* seperti yang terlampir pada Tabel 17:

G. Interval Waktu Pemeriksaan

Berdasarkan perhitungan di atas, maka diperoleh nilai interval waktu untuk masing-masing perhitungan seperti pada Tabel 17:

TABEL 17  
Interval waktu pemeriksaan

Interval Waktu Pemeriksaan	
Hari kerja per bulan	21
Jumlah periode (1 tahun = 12 bulan)	12

Jam kerja per hari	8
Rata – rata kerja per bulan	168
Jam Kerusakan	13
Waktu pemeriksaan	0.5
Rata – rata perbaikan	158.31
Rata – rata pemeriksaan	336
Rata – rata kerusakan	1.08
Frekuensi pemeriksaan optimal	1.51
<b>Interval waktu</b>	<b>111 jam</b>

Dapat dilihat pada Tabel 17, hasil perhitungan untuk interval waktu pemeriksaan mesin *turret milling* adalah sebanyak 111 jam.

H. Perhitungan *age replacement*

Berdasarkan hasil perhitungan nilai MTTR dan MTTF dengan menggunakan distribusi *weibull*, maka dilanjutkan pada perhitungan waktu interval penggantian komponen pada mesin *turret milling* sebagai tindakan pencegahan terjadinya kerusakan secara mendadak. Terlampir pada Tabel 18 yang menunjukkan perhitungan interval waktu penggantian komponen mesin dengan menggunakan persamaan 16 dan 17:

TABEL 18  
Perhitungan *age replacement*

Age Replacement				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
155	0.992391462	0.007608538	27569.95388	0.002910123
160	0.987778754	0.012221246	17164.12865	0.002876799
165	0.980679746	0.019320254	10857.36464	0.002847714
170	0.969932002	0.030067998	6976.422058	0.002824397
175	0.953936816	0.046063184	4553.898017	0.002809066
180	0.930571264	0.069428736	3021.328808	0.002804880
185	0.897149895	0.102850105	2039.541347	0.002816270
190	0.850513462	0.149486538	1403.250377	0.002849355
195	0.787369619	0.212630381	986.5337242	0.002912388
200	0.705048505	0.294951495	711.1916526	0.003016085

Dapat dilihat pada Tabel 18, nilai D(tp) paling kecil adalah 0.002804880. Diketahui bahwa nilai tp 180 adalah nilai yang tepat karena pada tp sebelumnya, hasil D(tp) menurun dan pada tp 185, nilai D(tp) meningkat. Oleh karena itu, pada Tp 180 merupakan nilai interval untuk waktu perbaikan yang tepat.

TABEL 19  
Rekapitulasi *availability*

Keterangan	Hasil Availability Setelah Age Replacement
Pemeriksaan	99.39%
Penggantian	99.7%
Total Availability	98.78%

Berdasarkan nilai *availability* yang diperoleh dari perhitungan menggunakan *age replacement* seperti perhitungan pada persamaan 18, maka diperoleh nilai



availability sebesar 98.78%. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan nilai *availability* sebesar 5.78% .

I. Hasil Rancangan Penjadwalan

Penjadwalan ini dirancang dengan asumsi waktu kerja mesin adalah 8 jam sehari, 5 hari kerja dalam seminggu, dan libur pada hari Sabtu-Minggu.

Pemeriksaan = 111 jam : 8 jam = 14 hari  
 Penggantian pencegahan = 180 jam : 8 jam = 23 hari

PENJADWALAN PEMELIHARAAN MESIN TURRET MILLING TAHUN 2024														
SEPTEMBER							OKTOBER							KETERANGAN
MG	SN	SL	RB	KM	JM	SD	MG	SN	SL	RB	KM	JM	SD	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Pemeriksaan
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
29	30						27	28	29	30	31			Penggantian Komponen
NOVEMBER							DESEMBER							
MG	SN	SL	RB	KM	JM	SD	MG	SN	SL	RB	KM	JM	SD	
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28	
29	30						29	30	31					

GAMBAR 9 Usulan penjadwalan

J. Hasil Rancangan *Autonomous Maintenance*

Hasil usulan rancangan adalah untuk melakukan *monitoring* hasil analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan *six big losses* yang dilakukan pada mesin *turret milling* dan mesin *turning* dengan menggunakan *google spreadsheet* sebagai mediana.



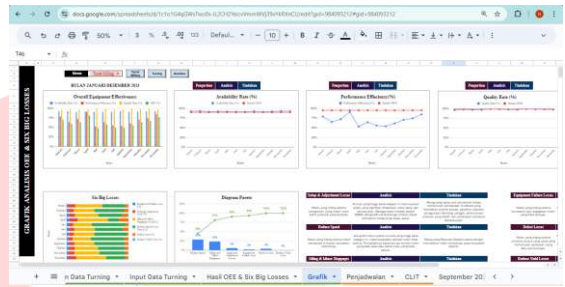
GAMBAR 10 Barcode form kendala mesin

GAMBAR 11 Sheet kendala mesin

MESIN TURRET MILLING	Asm Script	Barometer (mm)	Total Produksi (Pcs)	Planned Production (Pcs)	Overhead (Pcs)	Defect (Pcs)	Defect Rate (%)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)	Defect Time (Jam)
001	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
002	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
003	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
004	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
005	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
006	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
007	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
008	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
009	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
010	01.01	142	20	20	0.00000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

GAMBAR 12 Sheet input data turret milling

GAMBAR 13 Sheet hasil OEE & Big Six Losses



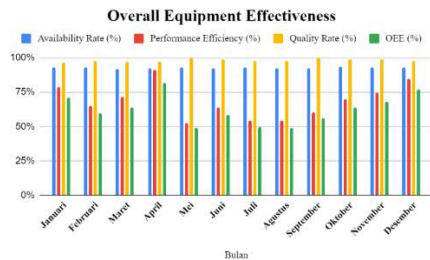
GAMBAR 14 Sheet hasil grafik

Mesin : Turret Milling		CLEANING, LUBRICATING, INSPECTION, TIGHTENING (CLIT) SHEET																								Formul No.				
No	Aktivitas	Item	Standard	Periode	Minggu-1				Minggu-2				Minggu-3				Minggu-4				Bulan	Spesifikasi								
					2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
1	C	Membersihkan	Perubahan dari standar sebelumnya	H																										
2	C	Trusmi berkala	Perubahan berkala	H																										
3	C	Mesin	Perubahan bagian busbar dan relay	M																										
4	C	Mesin	Perubahan pemrosesan mesin	H																										
5	C	Lubricasi	Perubahan bagian busbar dan relay	M																										
6	C	Lubricasi	Perubahan pemrosesan mesin	H																										
7	L	Mesin	Perubahan pada mesin	H																										
8	L	Box & Capas mesin	Perubahan pemrosesan mesin	H																										
9	I	Trusmi berkala	Cek trusmi berkala, sudah terpasang	H																										
10	I	Spesifikasi	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
11	I	Check	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
12	I	Kontrol	Cek spesifikasi dan spesifikasi	M																										
13	I	Lubricasi pemrosesan	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
14	I	Sukatan oli	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
15	I	Beban	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
16	I	Capas besi	Cek spesifikasi dan spesifikasi	H																										
17	I	Mula mesin	Cek spesifikasi dan spesifikasi	M																										
18	I	Mula mesin	Cek spesifikasi dan spesifikasi	M																										
19	I	Mula mesin	Cek spesifikasi dan spesifikasi	M																										
20	T	Blat	Cek spesifikasi dan spesifikasi	M																										

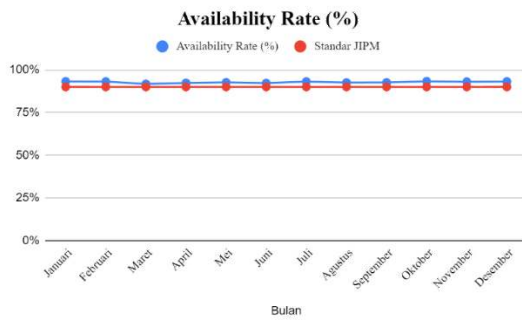
GAMBAR 15 Lembar CLIT

GAMBAR 16 Rekap sheet CLIT

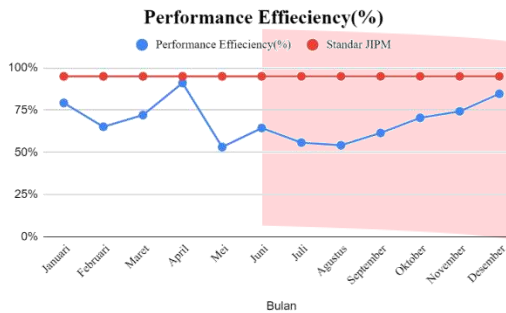
K. Analisis Rancangan



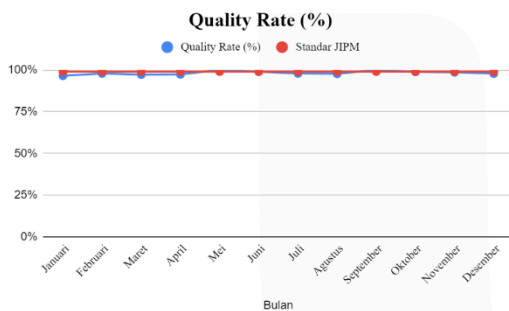
GAMBAR 17 Grafik analisis nilai OEE



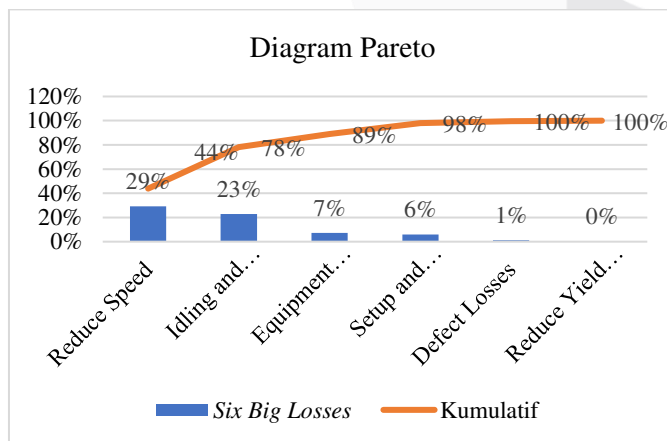
GAMBAR 18 Grafik analisis availability rate



GAMBAR 19 Grafik analisis performance efficiency



GAMBAR 20 Grafik analisis quality rate



GAMBAR 21 Grafik analisis six big losses

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada hasil pengukuran efektivitas pada mesin

turret milling pada produksi nozle wafer stick di CV XYZ periode Januari-Desember 2023. Maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengukuran kinerja mesin menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) yang menunjukkan bahwa kinerja mesin turret milling masih berada di bawah standar yang ditetapkan JIPM, yaitu berada pada angka 62%. Faktor yang mempengaruhi diantaranya rendahnya nilai performance efficiency dan quality rate yang dihasilkan mesin yaitu sebesar 68% dan 98%. Sedangkan availability dan berada pada batas atas yaitu sebesar 93%.
2. Faktor yang mempengaruhi nilai OEE yang rendah dan dapat diidentifikasi menggunakan six big losses, sehingga diperoleh kerugian terbesar pada penggunaan mesin turret milling yaitu pada reduce speed losses dengan nilai 29%.
3. Untuk mendukung pemeliharaan kondisi mesin yaitu dengan menggunakan metode Total Productive Maintenance (TPM), maka diterapkan pilar autonomous maintenance melalui hasil rancangan formulir kendala mesin yang dibuat secara otomatis dengan menggunakan spreadsheet serta pembuatan check sheet berstandar Cleaning, Lubricating, Inspection, dan Tightening (CLIT).
4. Salah satu tindakan untuk mengurangi downtime adalah melakukan pencegahan terhadap komponen end mill. Diperoleh interval pemeriksaan mesin selama 111 jam dan penggantian pencegahan komponen selama 180 jam. Maka dapat diketahui juga tingkat availability untuk mesin turret milling dan komponen yang bernilai 98.78%.

REFERENSI

- [1] Mukhtar, M., Abdhi A., & Febryanto, I. Proses Manufaktur ECO. Purwekerto: CV Pena Persada, 2023.
- [2] Ansori, N. & Mustajib, M. Sistem Perawatan Terpadu. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [3] Pranowo, I. D. Sistem Manajemen dan Pemeliharaan. Yogyakarta: Deepublish Publisher, 2019. [Accessed 18 Juli 2024]
- [4] Nakajima, S. TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance, 1989.
- [5] Rochman, D. D., Suyono, A. M., Anwar, A., & Ferdian, R. Lean Dan Six Sigma: Apakah Mereka Sudah Usang Di Dunia Industri 4.0?. Makassar: Nas Media Pustaka, 2024.
- [6] Taufik, T. & Septyani, S. Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Turbin Di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkit Ombilin. Padang: Universitas Andalas, 2015.
- [7] Ebeling, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Singapore: Me Graw Hill Book Co, 1997.
- [8] Farinha, J. Asset Maintenance Engineering Methodologies. United Kingdom: Taylor & Francis Group, 2020.

- [9] A. K. S. Jardine & A. H. C. Tsang. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, 2nd ed.* US: CRC Press, 2013.
- [10] Ambarwati, R. & Supardi. *Manajemen Operasional dan Implementasi Industri.* Magelang: Pustaka Rumah Cinta, 2021. [Accessed 20 Juli 2024]

