

Analisis Tingkat Efisiensi Mesin CNC Milling Berdasarkan Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses

Rizal Mustofa^{a*}, Venditias Yudha^a, Muhammad Faizin^b

^aJurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

^bDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Jl. Raya Mayjen Sungkono No.KM 5, Dusun 2, Blater, Kec. Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah 53371

*E-mail: rizal.mustofa@polines.ac.id

Abstract

The efficiency of CNC Milling machines significantly impacts the productivity of the manufacturing industry. Decreased machine performance often occurs due to operational disruptions that have not been systematically analyzed. The Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses methods are used to measure machine effectiveness and identify the main sources of efficiency loss. This study aims to analyze the efficiency level of CNC Milling machines based on the Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses values during the period from January to June. OEE is calculated based on three main parameters, namely Availability Rate, Performance Efficiency, and Rate of Quality. The results of the analysis show that the average Availability reaches 99%, Rate of Quality 100%, and Performance Efficiency is 84.67%, with an average OEE value of 83.83%. This value indicates that machine performance is in the good category, but has not yet reached world-class standards. The main factor that reduces OEE is performance efficiency that is still below optimal. The results show that the largest losses come from the Speed Losses category, namely Idle and Minor Stoppages (41.72%) and Reduced Speed Losses (35.35%), with a total contribution of 77.07% to the lost time. Downtime Losses contributed 22.93%, while Defect Losses were not recorded. These findings indicate that machine efficiency is more influenced by work speed and minor disruptions than product damage or defects. Optimization of the operational process and the implementation of Total Productive Maintenance (TPM) are recommended to improve machine effectiveness. Therefore, increasing work efficiency and reducing minor obstacles need to be done to increase overall machine productivity and effectiveness.

Keywords: CNC Milling; Machine Efficiency; OEE; Six Big Losses; TPM

Abstrak

Efisiensi mesin CNC Milling sangat berpengaruh terhadap produktivitas industri manufaktur. Penurunan kinerja mesin sering terjadi akibat gangguan operasional yang belum dianalisis secara sistematis. Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Six Big Losses* digunakan untuk mengukur efektivitas mesin serta mengidentifikasi sumber utama kehilangan efisiensi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat efisiensi mesin CNC Milling berdasarkan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Six Big Losses* selama periode Januari hingga Juni. OEE dihitung berdasarkan tiga parameter utama, yaitu *Availability Rate*, *Performance Efficiency*, dan *Rate of Quality*. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata *Availability* mencapai 99%, *Rate of Quality* 100%, dan *Performance Efficiency* sebesar 84,67%, dengan nilai OEE rata-rata sebesar 83,83%. Nilai ini menunjukkan bahwa performa mesin berada pada kategori baik, namun belum mencapai standar kelas dunia. Faktor utama yang menurunkan OEE adalah efisiensi performa yang masih di bawah optimal. Hasil menunjukkan bahwa kerugian terbesar berasal dari kategori *Speed Losses*, yaitu *Idle and Minor Stoppages* (41,72%) dan *Reduce Speed Losses* (35,35%), dengan total kontribusi 77,07% terhadap waktu kerugian. *Downtime Losses* menyumbang 22,93%, sementara *Defect Losses* tidak tercatat. Temuan ini mengindikasikan bahwa efisiensi mesin lebih dipengaruhi oleh kecepatan kerja dan gangguan kecil dibandingkan kerusakan atau cacat produk. Optimalisasi proses operasi dan penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) direkomendasikan untuk meningkatkan efektivitas mesin. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi kerja dan pengurangan hambatan minor perlu dilakukan untuk meningkatkan produktivitas dan efektivitas mesin secara keseluruhan.

Kata kunci: CNC Milling; Efisiensi Mesin; OEE; Six Big Losses; TPM

1. Pendahuluan

Industri manufaktur modern menuntut peningkatan efisiensi dan produktivitas secara berkelanjutan, khususnya dalam pemanfaatan mesin-mesin produksi seperti CNC (*Computer Numerical Control*) Milling [1,2]. Mesin CNC Milling

memiliki peran penting dalam proses pemesinan presisi karena kemampuannya dalam menghasilkan komponen dengan akurasi tinggi dan waktu siklus yang relatif singkat. Namun, dalam praktiknya, performa mesin tidak selalu optimal karena berbagai faktor kehilangan waktu produksi (*losses*) yang dapat menurunkan efisiensi operasi secara keseluruhan [3–5].

Mesin CNC Milling merupakan salah satu teknologi permesinan modern yang banyak digunakan dalam proses pemotongan logam di industri manufaktur [1,4]. CNC Milling bekerja dengan prinsip pergerakan pahat pemotong (*cutting tool*) yang dikontrol secara numerik melalui sistem komputer, sehingga mampu menghasilkan bentuk dan ukuran produk dengan tingkat akurasi serta presisi yang tinggi. Dibandingkan mesin konvensional, CNC Milling menawarkan keunggulan berupa fleksibilitas dalam pengerjaan komponen kompleks, kecepatan produksi yang lebih tinggi, serta kemampuan untuk mengurangi kesalahan akibat faktor manusia [3,5].

Namun demikian, performa CNC Milling dalam suatu sistem produksi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologinya, melainkan juga oleh efektivitas operasional mesin. Efisiensi penggunaan CNC Milling sangat dipengaruhi oleh faktor ketersediaan mesin, kecepatan operasi, serta kualitas produk yang dihasilkan. Apabila mesin sering mengalami *downtime*, penurunan kecepatan, atau cacat produk, maka kapasitas produksi tidak akan optimal [1,2]. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis yang mampu mengukur kinerja mesin CNC Milling secara menyeluruh.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi efisiensi mesin adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) [6,7]. OEE merupakan indikator kinerja yang dikembangkan dalam kerangka kerja *Total Productive Maintenance* (TPM), yang mengukur efektivitas peralatan berdasarkan tiga komponen utama: *availability* (ketersediaan mesin), *performance* (kecepatan produksi), dan *quality* (kualitas output). Nilai OEE ideal adalah 100%, namun dalam kenyataannya angka tersebut sulit dicapai karena berbagai hambatan operasional yang diklasifikasikan sebagai *six big losses* [8,9]. *Six big losses* atau enam kerugian besar merupakan enam kategori utama penyebab penurunan efisiensi mesin, yaitu: kerusakan peralatan (*equipment failures*), *set-up* dan *adjustment*, *idling* dan *minor stoppages*, pengurangan kecepatan (*reduced speed*), cacat proses (*process defects*), dan produk cacat pada *start-up*. Identifikasi dan analisis keenam kategori ini sangat penting untuk mengungkap akar penyebab penurunan efisiensi dan mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan perawatan dan peningkatan performa mesin [8,9].

Selain itu, pengaplikasian metode OEE dan *six big losses* juga mendukung implementasi TPM, suatu pendekatan manajemen yang bertujuan meningkatkan produktivitas dan efektivitas mesin dengan minimalisasi kerugian manufaktur sekaligus meningkatkan kualitas produksi [10,11]. Dengan demikian, analisis tingkat efisiensi mesin CNC Milling berdasarkan nilai OEE dan *six big losses* memiliki relevansi tinggi dalam rangka meningkatkan efektivitas operasional mesin, mengurangi *downtime*, meminimalisir cacat produk, dan meningkatkan kinerja produksi secara menyeluruh di sektor manufaktur.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat efisiensi mesin CNC Milling melalui pendekatan nilai OEE serta mengidentifikasi kontribusi masing-masing kategori *six big losses* yang mempengaruhi performa mesin. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi dasar strategis dalam implementasi TPM serta perencanaan tindakan perbaikan yang lebih tepat sasaran di industri manufaktur.

2. Material dan metode penelitian

2.1. Overall Equipment Effectiveness

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah suatu metode pengukuran kinerja peralatan produksi yang dikembangkan dalam kerangka kerja *Total Productive Maintenance* (TPM). OEE digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana suatu mesin atau peralatan digunakan secara efektif dalam suatu proses produksi. OEE pertama kali diperkenalkan oleh Seiichi Nakajima pada tahun 1980-an sebagai indikator utama dalam pelaksanaan TPM [12]. OEE menggabungkan tiga faktor utama yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Sehingga memberikan gambaran menyeluruh tentang efisiensi dan efektivitas operasional peralatan produksi. Nilai OEE dinyatakan dalam persen, dengan nilai maksimal sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa peralatan bekerja secara optimal tanpa gangguan, tanpa penurunan kecepatan, dan tanpa menghasilkan produk cacat [13].

Availability mengukur sejauh mana mesin dapat digunakan dari waktu yang direncanakan. Nilai ini mempertimbangkan waktu henti (*downtime losses*) akibat kerusakan mesin atau waktu *set-up*. Persamaan 1 perhitungannya sebagai berikut.

$$A = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (1)$$

Performance mengukur kecepatan aktual produksi dibandingkan dengan kecepatan ideal atau desain. Penurunan *performance* biasanya disebabkan oleh mesin berjalan lebih lambat dari seharusnya atau adanya *minor stoppages*. Persamaan 2 perhitungan *performance* sebagai berikut.

$$P = \frac{\text{Ideal Cycle Time (menit)} \times \text{Actual Product (unit)}}{\text{Operating Time (menit)}} \times 100\% \quad (2)$$

Quality menunjukkan proporsi produk yang memenuhi standar kualitas dibandingkan dengan total *output* yang dihasilkan. Cacat produk atau produk yang harus diperbaiki mempengaruhi nilai kualitas. Persamaan 3 sebagai berikut.

$$Q = \frac{\text{Good Product}}{\text{Actual Product}} \times 100\% \quad (3)$$

Nilai OEE diperoleh dari tiga komponen di atas, yaitu *Avalilability* (A), *Performance* (P), dan *Quality* (Q). Oleh karena itu, OEE dirumuskan sebagai Persamaan 4 berikut.

$$OEE = A \times P \times Q \quad (4)$$

Standar *benchmark world class* yang dianjurkan JIPM, yaitu OEE = 85%, dengan nilai yang harus dipenuhi untuk masing-masing faktor OEE. Nilai OEE yang ideal menurut standar internasional (*world class manufacturing*) adalah nilai *availability* $\geq 90\%$, nilai *performance* $\geq 95\%$, dan nilai *quality* $\geq 99\%$, Sehingga OEE $\geq 85\%$ dianggap sebagai kategori *world class* [12,14,15].

2.2. Six Big Losses

Setelah nilai OEE diperoleh, maka tahapan selanjutnya adalah untuk mengetahui penyebab rendahnya kinerja mesin/peralatan dengan cara melakukan perhitungan lalu melakukan identifikasi kerugian/pemborosan melalui analisis *six big losses*. Dengan melakukan analisis *six big losses*, maka tindakan-tindakan perbaikan dapat segera dilakukan dengan berfokus pada *losses*/kerugian tertinggi yang menyebabkan kinerja mesin/peralatan rendah. Berikut adalah rumus perhitungan dari *six big losses* disertai dengan uraian dan penjelasannya [12].

2.2.1. Downtime Losses (Penurunan Waktu)

a. Equipment Failure / Breakdown Losses (Kerusakan Peralatan)

Breakdown losses merupakan waktu henti akibat dari kerusakan mesin yang tidak terduga. Waktu henti dihitung semenjak mesin tersebut rusak sampai dengan selesai diperbaiki dan bisa beroperasi kembali. Akibat dari kerugian ini pengerjaan proses produk harus dialihkan ke mesin lain atau bahkan harus berhenti sama sekali [12]. Persamaan 5 perhitungan persentase *breakdown losses* yaitu sebagai berikut.

$$BL = \frac{\text{Breakdown Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (5)$$

b. Setup and Adjustment Losses (Persiapan Peralatan)

Setup and Adjustment merupakan waktu kerugian yang disebabkan dari pemasangan, penyetelan dan penyesuaian parameter mesin untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan pada saat pertama kali mulai memproduksi komponen tertentu [12]. Persamaan 6 perhitungan persentase *setup and adjustment* yaitu sebagai berikut.

$$SAL = \frac{\text{Total Setup and Adjustment Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (6)$$

2.2.2. Setup and Adjustment Losses (Persiapan Peralatan)

a. Reduced Speed Losses (Kecepatan Rendah)

Reduced speed losses merupakan kerugian yang terjadi akibat peralatan dioperasikan di bawah standar kecepatan. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan waktu estimasi yang seharusnya dengan waktu aktual [12]. Persamaan 7 perhitungan persentase *reduce speed* yaitu sebagai berikut.

$$RSL = \frac{(\text{Actual Cycle Time} - \text{Ideal Cycle Time}) \times \text{Actual Production}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (7)$$

b. Idling and Minor Stoppage Losses (Beroperasi Tanpa Beban Maupun Berhenti Sesaat)

Idling and minor stoppages merupakan kerugian akibat beroperasi tanpa beban dan berhenti sesaat berulang-ulang sehingga tidak berjalan pada kecepatan yang stabil. Hal ini dikarenakan berhentinya peralatan sebagai akibat terlambatnya pasokan bahan baku atau tidak adanya operator walaupun WIP (*Work in Process*) tersedia [12]. Persamaan 8 perhitungan persentase *idling and minor stoppage* yaitu sebagai berikut.

$$IMSL = \frac{\text{non-Productive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (8)$$

2.2.3. Defect Losses (Cacat)

a. Rework Losses (Produk Cacat dan Pekerjaan Ulang Produk)

Rework losses merupakan waktu peralatan yang terbuang untuk menghasilkan produk cacat serta pengerjaan ulang pada saat mesin berjalan terus-menerus setelah proses penyetelan dan penyesuaian [12]. Persamaan 9 perhitungan persentase *rework* yaitu sebagai berikut.

$$RL = \frac{\text{Cycle Time} \times \text{Product Rework}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (9)$$

b. *Yield/Scrap Losses* (Produksi yang Stabil)

Yield/Scrap losses merupakan kerugian yang diakibatkan percobaan bahan baku pada saat melakukan setting mesin yang akan beroperasi sampai tercapainya proses yang stabil [12]. Persamaan 10 perhitungan persentase *yield/scrap* yaitu sebagai berikut.

$$YL = \frac{\text{Cycle Time} \times \text{Product Scrap}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) adalah perhitungan pada tingkat keefektifan penggunaan mesin tersebut dalam kondisi beroperasi. Setelah hasil perhitungan persentase nilai *availability rate*, *performance efficiency*, *rate of quality*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai OEE untuk mengetahui besarnya efektifitas mesin CNC Milling. Perhitungan persentase nilai OEE mesin CNC Milling pada bulan Januari - Juni dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. OEE Mesin CNC Milling bulan Januari - Juni

No	Bulan	<i>Availability Rate</i> (%)	<i>Performance Efficiency</i> (%)	<i>Rate of Quality</i> (%)	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (%)
1	Januari	98	80	100	78,4
2	Februari	99	100	100	99
3	Maret	99	84	100	83,16
4	April	100	80	100	80
5	Mei	98	80	100	78,4
6	Juni	100	84	100	84
Rata-rata		99	84,67	100	83,83

Berdasarkan Tabel 1, performa mesin CNC Milling selama periode Januari hingga Juni dapat dianalisis melalui tiga komponen utama dalam pengukuran OEE, yaitu *availability rate*, *performance efficiency*, dan *rate of quality*. Nilai *availability rate* rata-rata mencapai 99%, menunjukkan bahwa mesin hampir selalu tersedia untuk digunakan dalam proses produksi dengan gangguan waktu henti (*downtime*) yang sangat minimal. Dua bulan bahkan menunjukkan tingkat ketersediaan sempurna (100%), yaitu pada bulan April dan Juni. Hal ini mengindikasikan sistem pemeliharaan dan pengoperasian mesin yang sangat baik dari sisi ketersediaan.

Selanjutnya, pada aspek *performance efficiency*, rata-rata yang dicapai adalah 84,67%. Walaupun nilai tertinggi mencapai 100% pada bulan Februari, beberapa bulan lainnya seperti Januari, Maret, Mei, dan Juni masih menunjukkan nilai di bawah standar ideal, yaitu berkisar 80–84%. Hal ini dapat menunjukkan adanya hambatan dalam kecepatan produksi aktual dibandingkan kecepatan ideal mesin. Faktor-faktor penyebab dapat berupa kelelahan operator, pengaturan mesin yang belum optimal, atau waktu henti minor selama proses produksi.

Sementara itu, pada aspek *rate of quality*, seluruh bulan menunjukkan nilai 100%. Artinya, semua produk yang dihasilkan oleh mesin CNC Milling dalam kurun waktu tersebut memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, tanpa adanya produk cacat. Ini merupakan indikator bahwa mesin memiliki stabilitas proses yang sangat tinggi dan sistem kontrol mutu berjalan dengan optimal.

Secara keseluruhan, nilai OEE rata-rata yang diperoleh adalah 83,83%. Meskipun belum mencapai kategori kelas dunia ($\geq 85\%$), nilai tersebut menunjukkan performa mesin yang sangat baik dan hampir mendekati standar internasional. Nilai tertinggi dicapai pada bulan Februari (99%) dan nilai terendah sebesar 78,4% terjadi pada bulan Januari dan Mei. Penyebab utama turunnya nilai OEE pada bulan-bulan tersebut bukan karena *availability* atau *quality*, melainkan dari sisi *performance efficiency* yang cenderung rendah. Oleh karena itu, upaya perbaikan sebaiknya difokuskan pada peningkatan efisiensi kerja mesin, pengurangan waktu henti minor, dan optimalisasi kecepatan operasi agar keseluruhan nilai OEE dapat meningkat dan konsisten pada level kelas dunia. Selanjutnya perbandingan antara nilai OEE mesin CNC Milling dengan standar nilai OEE menurut *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai OEE Mesin CNC Milling bulan Januari – Juni

OEE Faktor	Standar Nilai OEE (JIPM)	Nilai OEE Mesin CNC Milling
<i>Availability Rate</i> (%)	90%	99%
<i>Performance Efficiency</i> (%)	95%	84,67%
<i>Rate of Quality</i> (%)	99%	100%
OEE	85%	83,83%

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa nilai faktor OEE yang telah mencapai standar adalah *availability rate* sebesar 99% dan *rate of quality* sebesar 100%, sedangkan untuk *performance efficiency* belum memenuhi

standar dengan nilai sebesar 84,67%. Nilai *performance efficiency* sudah mendekati nilai standar karena disebabkan oleh kemampuan mesin yang dipergunakan belum optimal, namun sudah cukup bagus.

Analisis *six big losses* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi rendahnya efektivitas penggunaan mesin CNC Milling berdasarkan perhitungan nilai OEE. Hubungan antara OEE dengan *losses* memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Apabila nilai OEE rendah, maka akan menghasilkan nilai *six big losses* yang tinggi, begitu pula sebaliknya mengacu pada enam jenis kerugian tersebut. Persentase *six big losses* yang terjadi pada bulan Januari – Juni dapat dilihat pada Tabel 3.

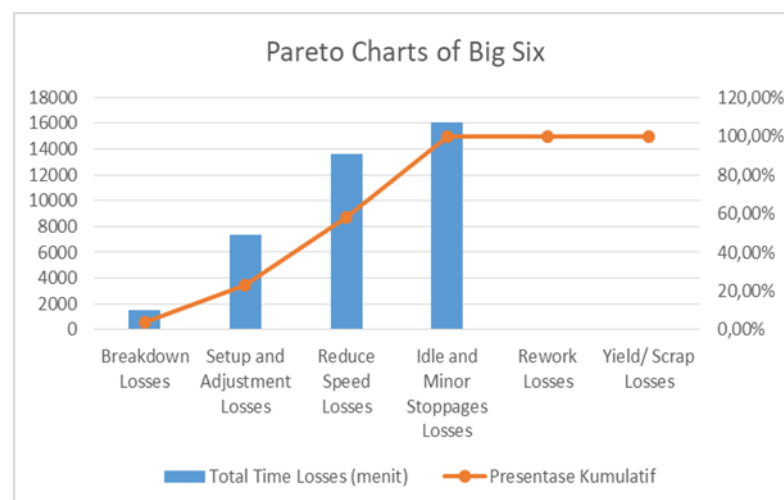
Tabel 3. *Six Big Losses* Mesin CNC Milling bulan Januari - Juni

No	Kategori <i>Losses</i>	<i>Six Big Losses</i>	Total Time <i>Losses</i> (menit)	Presentase Time <i>Losses</i> (%)	Presentase Kumulatif
1	<i>Downtime Losses</i>	<i>Breakdown Losses</i>	1476	3,82%	3,82%
2	<i>Downtime Losses</i>	<i>Setup and Adjustment Losses</i>	7380	19,11%	22,93%
3	<i>Speed Losses</i>	<i>Reduce Speed Losses</i>	13647,22	35,34%	58,28%
4	<i>Speed Losses</i>	<i>Idle and Minor Stoppages Losses</i>	16106,72	41,71%	100%
5	<i>Defect Losses</i>	<i>Rework Losses</i>	0	0%	100%
6	<i>Defect Losses</i>	<i>Yield/ Scrap Losses</i>	0	0%	100%
Total			38609,94	100%	

Tabel 3 menunjukkan analisis *six big losses* pada mesin CNC Milling selama periode Januari hingga Juni. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis kerugian yang menyebabkan penurunan efisiensi mesin berdasarkan waktu kerugian yang terjadi. Enam jenis kerugian ini dikategorikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu *downtime losses*, *speed losses*, dan *defect losses*. Berdasarkan data pada tabel, kerugian terbesar berasal dari kategori *speed losses*, khususnya pada jenis *idle and minor stoppages losses* yang mencapai 16.106,72 menit atau sebesar 41,72% dari total waktu kerugian. Disusul oleh *reduce speed losses* sebesar 13.647,224 menit (35,35%) dan *setup and adjustment losses* dari kategori *downtime* sebesar 7.380 menit (19,11%).

Sementara itu, *breakdown losses* tercatat relatif kecil yaitu hanya 1.476 menit atau 3,82%, dan tidak ditemukan adanya kerugian dari *defect losses* (*rework* dan *scrap losses*) selama periode pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas hasil produksi cukup baik dan stabil. Namun demikian, dominasi kerugian dari *speed losses* mengindikasikan adanya permasalahan pada kecepatan kerja mesin atau ketidakefisienan operasional, seperti jeda kerja singkat, pengaturan kecepatan yang kurang optimal, atau intervensi manual yang tidak efisien.

Secara keseluruhan, total waktu kerugian mencapai 38.609,94 menit. Untuk meningkatkan efektivitas mesin, upaya perbaikan sebaiknya difokuskan pada pengurangan kerugian dari *speed losses* dan *setup losses*. Strategi yang dapat diterapkan meliputi pelatihan operator, pengoptimalan parameter pemotongan, serta penerapan sistem perawatan terpadu seperti TPM. Dengan mengurangi kerugian-kerugian ini, efisiensi produksi mesin CNC Milling dapat ditingkatkan secara signifikan.



Gambar 1. Diagram pareo *six big losses* mesin CNC Milling bulan Januari – Juni

Gambar 1 merupakan *Pareto chart* dari "*six big losses*" yang menunjukkan berbagai jenis kerugian waktu dalam proses produksi, khususnya yang berkaitan dengan efisiensi kerja mesin. Grafik ini menggunakan prinsip Pareto atau aturan 80/20, yang menyatakan bahwa sekitar 80% dari total kerugian umumnya berasal dari sekitar 20% penyebab utama. Dalam grafik ini, ditampilkan enam jenis kerugian utama (*big six losses*), yaitu *breakdown losses*, *setup and adjustment losses*, *reduce speed losses*, *idle and minor stoppages losses*, *rework losses*, serta *yield/scrap losses*. Sumbu vertikal kiri

menunjukkan total waktu kerugian dalam satuan menit, sedangkan sumbu kanan menunjukkan persentase kumulatif dari total kerugian.

Berdasarkan grafik batang, dapat diamati bahwa tiga kategori kerugian terbesar adalah *idle and minor stoppages losses* (sekitar 15.800 menit), *reduce speed losses* (sekitar 13.200 menit), dan *setup and adjustment losses* (sekitar 7.500 menit). Ketiganya berkontribusi lebih dari 90% terhadap total kerugian waktu secara kumulatif. Dengan demikian, fokus perbaikan dan efisiensi sebaiknya diarahkan terlebih dahulu pada ketiga kategori ini karena mereka memberikan kontribusi dominan terhadap hilangnya waktu produksi. Perbaikan pada aspek ini diprediksi akan memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi operasional.

Keenam jenis kerugian ini berkaitan langsung dengan parameter utama dalam perhitungan OEE, yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Misalnya, *breakdown losses* dan *setup losses* mempengaruhi *availability*, sedangkan *reduce speed losses* dan *minor stoppages* mempengaruhi *performance*, dan *rework* serta *scrap losses* berpengaruh terhadap *quality*. Oleh karena itu, pemahaman terhadap distribusi kerugian seperti yang ditunjukkan dalam grafik ini sangat penting dalam pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision making*) dalam upaya peningkatan efisiensi dan produktivitas mesin produksi.

Sehingga grafik ini memberikan informasi kritis bagi manajemen produksi untuk menetapkan prioritas perbaikan. Dengan menerapkan analisis Pareto terhadap *six big losses*, perusahaan dapat secara efektif mengalokasikan sumber daya untuk menangani masalah-masalah yang paling berdampak, sehingga tercapai peningkatan efisiensi produksi yang maksimal.

4. Kesimpulan

Mesin CNC Milling memiliki kinerja yang baik dengan rata-rata OEE sebesar 83,83%. *Availability* dan *quality* menunjukkan hasil optimal, masing-masing 99% dan 100%. Namun, *performance efficiency* yang hanya mencapai 84,67% menjadi faktor pembatas utama. Perbaikan efisiensi kerja dan pengurangan hambatan minor perlu dilakukan agar OEE dapat mencapai standar kelas dunia ($\geq 85\%$). Hasil analisis menunjukkan bahwa kerugian terbesar pada mesin CNC Milling berasal dari kategori *speed losses*, yaitu *idle and minor stoppages* (41,72%) dan *reduce speed* (35,35%), dengan total kontribusi 77,07% dari seluruh waktu kerugian. *Downtime losses* menyumbang 22,93%, sedangkan *defect losses* tidak ditemukan. Ini menunjukkan bahwa hambatan utama terletak pada efisiensi operasi, bukan kualitas produk. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi dapat dicapai melalui optimasi kecepatan kerja, pengurangan gangguan kecil, serta penerapan program pemeliharaan seperti TPM.

Daftar Pustaka

- [1] Mongan PG, Hinchy EP, O'Dowd NP, McCarthy CT, Diaz-Elsayed N. An ensemble neural network for optimising a CNC milling process. *J Manuf Syst* 2023;71:377–89. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.09.012>.
- [2] Soori M, Ghaleh Jough FK, Dastres R, Arezoo B. Sustainable CNC machining operations, a review. *Sustainable Operations and Computers* 2024;5:73–87. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2024.01.001>.
- [3] Patel D, Maiti C, Muthuswamy S. Real-Time Performance Monitoring of a CNC Milling Machine using ROS 2 and AWS IoT Towards Industry 4.0. *IEEE EUROCON 2023 - 20th International Conference on Smart Technologies, IEEE*; 2023, p. 776–81. <https://doi.org/10.1109/EUROCON56442.2023.10199020>.
- [4] Equbal A, Equbal MdA, Equbal MdI, Ravindrannair P, Khan ZA, Badruddin IA, et al. Evaluating CNC Milling Performance for Machining AISI 316 Stainless Steel with Carbide Cutting Tool Insert. *Materials* 2022;15:8051. <https://doi.org/10.3390/ma15228051>.
- [5] Dwi Saputra L, Yudiyanto E. Analisis Performa Mesin CNC Milling Mini 3 Sumbu Terhadap Akurasi Gerak Pemotongan. *Journal of Mechanical Engineering* 2024;1. <https://doi.org/10.47134/jme.v1i3.3117>.
- [6] Hadi Ariyah. Penerapan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dalam Peningkatan Efisiensi Mesin Batching Plant (Studi Kasus : PT. Lutvindo Wijaya Perkasa). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan* 2022;1:70–7. <https://doi.org/10.55826/tmit.v1i1.10>.
- [7] Ullah MR, Molla S, Siddique IM, Siddique AA, Abedin MdM. Optimizing Performance: A Deep Dive into Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Operational Excellence. *Journal of Industrial Mechanics* 2023;8:26–40. <https://doi.org/10.46610/JoIM.2023.v08i03.004>.
- [8] Sunarya S, Zeny Fatimah Hunusalela, Hermanto Ruslan. Pengukuran Efektivitas Mesin Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness, Overall Resource Effectiveness dan Gupta Pada Mesin Injection Molding PT. Neohyolim Platech. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri* 2022;5:160–70. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v5i2.1036>.
- [9] Singh S, Khamba JS, Singh D. Analyzing the Role of Six Big Losses in OEE to Enhance the Performance: Literature Review and Directions, 2021, p. 411–21. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_37.
- [10] *1 S, Purba HH. A Systematic Literature Review of Total Productive Maintenance on Industries. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri* 2021;20:97–108. <https://doi.org/10.20961/PERFORMA.20.2.50087>.
- [11] Mutaqiem A, Soediantono D, Staf Dan Komando Angkatan Laut S. Literature Review of Total Productive Maintenance (TPM) and Recommendations for Application in the Defense Industry. *Journal of Industrial Engineering & Management Research* 2022;3:48–60. <https://doi.org/10.7777/JIEMAR.V3I2.275>.

- [12] Nakajima S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Productivity Press; 1988.
- [13] Muchiri P, Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. Int J Prod Res 2008;46:3517–35. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>.
- [14] De Ron AJ, Rooda JE. *OEE* and equipment effectiveness: an evaluation. Int J Prod Res 2006;44:4987–5003. <https://doi.org/10.1080/00207540600573402>.
- [15] Muchiri P, Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. Int J Prod Res 2008;46:3517–35. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>.