

Analisis Total Productive Maintenance Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) sebagai Baseline Kebijakan Perawatan Laboratorium Simulasi dan Komputasi

Nurfaisal Harun^a, Andi M. Umara^a, Richard R. Bukamo^c

^aDepartemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

^bHuman Resource Department (HRD), P.T. Banggai Sentral Sulawesi, Luwuk, Indonesia.

Corresponding author : nurfaisal.harun@ung.ac.id

Received: 15th September 2025; Revised: 18th November 2025; Accepted: 15th June 2026;

Available online: 27th Oktober 2026; Published regularly: January 2027

Abstract

The Simulation and Computing Laboratory of the Industrial Engineering Department, Universitas Negeri Gorontalo, is the busiest among six existing laboratories, serving two undergraduate programs Industrial Engineering and Mechanical Engineering Education alongside the national student admission selection test via Computer Assisted Test. Research applying OEE in educational laboratories remains sparse; most studies report values in the 64–78% range, well short of the 85% world-class standard, with none addressing split-start parallel scheduling or recording Reduced Speed Loss in CAD applications as a distinct category. This study measures equipment performance using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) method within a Total Productive Maintenance (TPM) framework as the basis for laboratory maintenance policy formulation. Data were collected through structured observation and semi-structured interviews from August to December 2025, covering two scheduling groups: Group A from August 19 and Group B from October 13 2025, one week after mid semester examinations, totaling 199 practical sessions with a Loading Time of 597 hours. OEE measurement produced a baseline of 84.42%, only 0.58 points below the world-class standard, with Availability at 88.89% (gap 1.11 points), Performance Rate at 90.48% (gap 4.52 points), and Quality Rate at 94.97% (gap 4.93 points). Six Big Losses analysis identified Setup and Adjustment Loss as the largest contributor at 66.33 hours (43.30%), followed by Equipment Failure at 56.86 hours (37.12%), together accounting for 80.42% of total quantified losses. Grounded in the OEE baseline and loss distribution map, this study produced three implementation-ready maintenance policy outputs: (1) a five-level tiered Preventive Maintenance schedule from daily to annual, (2) a Laboratory Preparation Standard Operating Procedure mandating a 30-minute pre-session setup to eliminate 66.33 hours of delays per semester, and (3) a three-level operator training module. Full implementation is projected to raise Availability to 100%, Performance Rate to 95.24%, and OEE to 93.82%.

Keywords: Total Productive Maintenance; Overall Equipment Effectiveness; Six Big Losses; Parallel Scheduling; Reduced Speed Loss; Educational Computer Laboratory

Abstrak

Laboratorium Simulasi dan Komputasi Jurusan Teknik Industri Universitas Negeri Gorontalo adalah laboratorium tersibuk dari enam laboratorium yang ada, melayani mahasiswa dari program studi S1 Teknik Industri dan S1 Pendidikan Teknik Mesin, serta menjadi tempat pelaksanaan Seleksi Nasional Penerimaan Mahasiswa Baru berbasis *Computer Assisted Test* setiap tahunnya. Penelitian OEE di laboratorium pendidikan belum populer; mayoritas melaporkan angka 64–78%, jauh dibawah standar 85%, dan belum ada yang menangani jadwal dua kelompok dengan waktu mulai berbeda maupun mencatat *Reduced Speed Loss* pada aplikasi CAD sebagai kategori terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kinerja peralatan dengan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dalam kerangka *Total Productive Maintenance* (TPM) sebagai dasar penyusunan kebijakan perawatan laboratorium. Data dikumpulkan lewat observasi terstruktur dan wawancara semi terstruktur sepanjang Agustus hingga Desember 2025, mencakup dua kelompok jadwal: Kelompok A mulai 19 Agustus dan Kelompok B mulai 13

Oktober 2025, sepekan setelah Ujian Tengah Semester, dengan total 199 sesi praktikum dan Loading Time 597 jam. Pengukuran OEE menghasilkan nilai *baseline* 84,42% — hanya 0,58 poin di bawah standar kelas dunia 85%, dengan *Availability* 88,89% (gap 1,11 poin), *Performance Rate* 90,48% (gap 4,52 poin), dan *Quality Rate* 94,97% (gap 4,93 poin). Analisis *Six Big Losses* mengidentifikasi *Setup* dan *Adjustment Loss* sebagai kontributor terbesar dengan 66,33 jam (43,30%), diikuti *Equipment Failure* 56,86 jam (37,12%), yang bersama-sama menanggung 80,42% total kerugian terukur. Berdasarkan nilai OEE *baseline* dan peta kerugian tersebut, penelitian ini menghasilkan tiga dokumen kebijakan perawatan yang siap diimplementasikan: (1) jadwal *Preventive Maintenance* berjenjang lima level dari harian hingga tahunan, (2) Standar Operasional Prosedur persiapan laboratorium 30 menit pra-sesi untuk mengeliminasi 66,33 jam keterlambatan per semester, dan (3) modul pelatihan operator tiga level. Implementasi ketiga kebijakan ini diproyeksikan meningkatkan *Availability* menjadi 100%, *Performance Rate* menjadi 95,24%, dan mendorong OEE keseluruhan dari 84,42% menjadi 93,82%.

Kata kunci: *Total Productive Maintenance*; *Overall Equipment Effectiveness*; *Six Big Losses*; Jadwal Paralel; *Reduced Speed Loss*; Laboratorium Komputer Pendidikan.

PENDAHULUAN

Perawatan laboratorium di perguruan tinggi Indonesia lebih sering diterapkan setelah ada yang rusak. Pendekatan reaktif ini bukan tanpa konsekuensi, gangguan tidak terencana terus menggerus efektivitas penggunaan fasilitas (Nurchahyo et al., 2018), dan kualitas praktikum ikut terdampak setiap kali peralatan tiba-tiba tidak bisa dipakai.

Laboratorium Simulasi dan Komputasi Jurusan Teknik Industri Universitas Negeri Gorontalo (UNG) adalah yang tersibuk dari enam laboratorium yang dimiliki, bersama Laboratorium Analisis Perancangan Kerja dan Ergonomi, Laboratorium Manufaktur, Laboratorium Metalurgi, Laboratorium Konversi Energi, dan Laboratorium Otomotif. Laboratorium Simulasi dan Komputasi melayani dua program studi sekaligus yakni S1 Teknik Industri dan S1 Pendidikan Teknik Mesin, disisi lain laboratorium tersebut melayani kegiatan eksternal semisal SNPMB berbasis CAT dan praktikum mahasiswa dari institusi lain yang berlangsung 8 Agustus hingga 22 September 2025.

Kegiatan praktikum Semester Ganjil 2025/2026 dimulai pada 19 Agustus, sedangkan UTS dilaksanakan pada 7–12 Oktober, dan UAS dilaksanakan pada 16–21 Desember. Delapan mata kuliah dijalankan dalam dua kelompok jadwal dengan total 199 sesi, 597 jam *Loading Time*. Dari 21 unit komputer aktif, dua tidak bisa dioperasikan karena kendala teknis. Persiapan teknis sebelum sesi rata-rata molor 20 menit. Beberapa unit yang sudah berumur menunjukkan tanda *overheating* saat menjalankan *software* AutoCAD atau dalam matakuliah CAD/CAM dan Menggambar Teknik, hal ini menyebabkan pelayanan praktikum mengalami perlambatan yang terasa dilapangan, tapi belum pernah diukur.

Total Productive Maintenance (TPM) merespons persis kondisi seperti ini diantaranya pendekatan perawatan yang melibatkan semua pihak, dari operator hingga manajemen, dengan tujuan menekan kerusakan, cacat, dan kecelakaan ke nol (Suzuki, 1994). Alat ukur yang digunakan adalah *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), didalamnya terdapat *Availability*, *Performance Rate*, dan *Quality Rate* dimana angka 85% adalah nilai standar kelas dunia (Nakajima, 1998). Penerapannya di laboratorium sudah dibuktikan oleh Jannahti et al. (2024) dan Nurchahyo et al. (2018).

TPM sendiri bukan ide baru. Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) mengembangkannya di awal 1970-an dari preventive maintenance, dengan keyakinan bahwa perawatan bukan urusan satu tim teknis saja melainkan tanggung jawab bersama (Nakajima, 1998). Hallioui et al., (2023) mengkonfirmasi lewat kajian komprehensifnya bahwa TPM yang dijalankan konsisten terbukti meningkatkan produktivitas dan memangkas biaya perawatan, termasuk disektor jasa dan pendidikan. Dari delapan pilar yang diidentifikasi Suzuki (1994), *Planned Maintenance* dan *Autonomous Maintenance* paling relevan untuk konteks laboratorium. Iskandar and Padmakusumah (2023) menunjukkan bahwa manfaatnya sudah bisa dilihat bahkan sebelum implementasi selesai penuh.

OEE mengukur seberapa jauh peralatan benar-benar dimanfaatkan dibanding kapasitas penuhnya (Nakajima, 1998). Nilainya dihitung dari tiga komponen:

$$\text{OEE} = \text{Availability (A)} \times \text{Performance Rate (P)} \times \text{Quality Rate (Q)}$$

$$A = (\text{Operating Time} / \text{Loading Time}) \times 100\%$$

$$P = (\text{Output Aktual} \times \text{Ideal Cycle Time} / \text{Operating Time}) \times 100\%$$

$$Q = (\text{Output Baik} / \text{Total Output}) \times 100\%$$

Hansen (2001) dan Nakajima, (1998) menetapkan patokan kelas dunia: *Availability* $\geq 90\%$, *Performance Rate* $\geq 95\%$, *Quality Rate* $\geq 99,9\%$, dan OEE keseluruhan $\geq 85\%$. Wibowo dan Padilah (2023) melaporkan OEE 89,28% pada mesin industri, dengan *Equipment Failure* dan *Idling & Minor Stoppages* sebagai penyebab utama, pola yang muncul lagi dalam penelitian ini. Wahyudi et al. (2023) mencatat sesuatu yang sama relevannya : *Reduced Speed Loss* termasuk kerugian terbesar, tapi juga yang paling jarang terukur secara sistematis. Raju et al. (2022) menemukan bahwa *speed losses* dan *downtime* berlebihan secara konsisten menjadi penghalang utama pencapaian OEE di atas 85%, sejalan dengan pola *Equipment Failure* dan *Reduced Speed Loss* yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

Jannahti et al. (2024) mengaplikasikan OEE pada instrumen HPLC di laboratorium farmasi dan mendapat angka 78,42%, dengan *Availability* 90,73%, *Performance Rate* 90,45%, dan *Quality Rate* 95,55%. Lebih dari sekadar angka pembandingan, penelitian itu menegaskan bahwa metode OEE tidak terbatas pada rantai produksi dan itulah salah satu alasan penelitian ini menggunakannya sebagai rujukan metodologis.

Six Big Losses diidentifikasi oleh Nakajima (1998) sebagai enam sumber kerugian utama yang menekan OEE. Muhammad & Budi (2024) menunjukkan bahwa analisis Pareto atas keenam kategori ini secara konsisten mengarah ke dua atau tiga penyebab yang menanggung lebih dari 80% total kerugian dan itu yang memandu prioritas analisis dalam penelitian ini. Untuk konteks laboratorium komputer, keenam kategori diterjemahkan secara praktis: *Equipment Failure* berarti komputer atau jaringan yang tidak bisa digunakan; *Setup & Adjustment* adalah waktu yang habis untuk persiapan teknis sebelum sesi; *Idling & Minor Stoppages* mencakup gangguan kecil seperti *hang* atau *restart*; *Reduced Speed* terjadi ketika unit berjalan lambat akibat *overheating* atau *hardware* yang mulai aus; *Process Defects* adalah sesi yang tidak bisa diselesaikan; dan *Startup/Reduced Yield* mencatat kerugian saat sistem pertama kali dinyalakan.

Nurchahyo et al., (2018) adalah yang pertama mengaplikasikan OEE pada laboratorium pendidikan di Indonesia, tepatnya pada laboratorium struktur Universitas Indonesia, dan membuktikan bahwa kerangka TPM bekerja diluar konteks manufaktur. Jannahti et al., (2024) mengikuti dengan OEE 78,42% pada instrumen laboratorium farmasi. Wibowo dan Padilah, (2023) melaporkan 89,28% pada mesin industri, dengan *Equipment Failure* dan *Idling & Minor Stoppages* sebagai penyebab utama turunnya nilai, dua kategori yang juga mendominasi dalam penelitian ini. Wahyudi et al. (2023) menemukan hal yang lebih mengusik: pada mesin packing dengan OEE 78,17%, *Reduced Speed Loss* ternyata berkontribusi besar, padahal selama ini jarang diukur. Muhammad dan Budi (2024) mengkonfirmasi bahwa Pareto atas *Six Big Losses* memang efektif menentukan kemana intervensi perawatan harus diarahkan. Adaptasi OEE ke konteks non-manufaktur juga dibuktikan oleh Doyer dan Bean (2023), yang mengembangkan model *Time-on-Task* berbasis kerangka OEE untuk menganalisis produktivitas pembelajaran di sekolah, menegaskan bahwa prinsip OEE bekerja jauh melampaui rantai produksi. Aryanti et al. (2023) membuktikan bahwa implementasi TPM berbasis pengukuran OEE secara langsung menghasilkan kebijakan perawatan yang terukur dan dapat diterapkan, pendekatan yang menjadi acuan metodologis dalam penelitian ini OEE 84,42% yang diperoleh penelitian ini berada di atas semua angka dari laboratorium pendidikan yang ada dalam literatur, dengan rata-ratanya 64–78%. Tapi 0,58 poin dari standar kelas dunia masih belum terjembatani, dan *Reduced Speed Loss* yang belum terukur bisa saja membuat angka aktualnya lebih rendah dari yang dilaporkan. Tabel 1 memetakan posisi penelitian ini terhadap studi-studi terdahulu berdasarkan objek, nilai OEE, kelengkapan analisis *Six Big Losses*, konteks penerapan, dan ketercakupan *Reduced Speed Loss* — dari situ gap yang menjadi dasar penelitian ini terlihat jelas.

Hansen (2001) dan Nakajima (1998) menetapkan patokan kelas dunia: *Availability* $\geq 90\%$, *Performance Rate* $\geq 95\%$, *Quality Rate* $\geq 99,9\%$, dan OEE keseluruhan $\geq 85\%$. Wibowo dan Padilah (2023) melaporkan OEE 89,28% pada mesin industri, dengan *Equipment Failure* dan *Idling & Minor Stoppages* sebagai penyebab utama pola yang muncul lagi dalam penelitian ini. Wahyudi et al. (2023) mencatat sesuatu

yang sama relevannya: *Reduced Speed Loss* termasuk kerugian terbesar, tapi juga yang paling jarang terukur secara sistematis. Raju et al. (2022) menemukan bahwa *speed losses* dan *downtime* berlebih secara konsisten menjadi penghalang utama pencapaian OEE diatas 85%, maka temuan yang sejalan dengan pola *Equipment Failure* dan *Reduced Speed Loss* yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

Jannahti et al. (2024) mengaplikasikan OEE pada instrumen HPLC di laboratorium farmasi dan mendapat angka 78,42%, dengan *Availability* 90,73%, *Performance Rate* 90,45%, dan *Quality Rate* 95,55%. Lebih dari sekadar angka pembanding, penelitian itu menegaskan bahwa metode OEE tidak terbatas pada rantai produksi dan itulah salah satu alasan penelitian ini menggunakannya sebagai rujukan metodologis.

Six Big Losses diidentifikasi oleh Nakajima (1998) sebagai enam sumber kerugian utama yang menekan OEE. Muhammad dan Budi (2024) menunjukkan bahwa analisis Pareto atas keenam kategori ini secara konsisten mengarah ke dua atau tiga penyebab yang menanggung lebih dari 80% total kerugian, hal itu yang memandu prioritas analisis dalam penelitian ini. Untuk konteks laboratorium komputer, keenam kategori diterjemahkan secara praktis: *Equipment Failure* berarti komputer atau jaringan yang tidak bisa digunakan; *Setup & Adjustment* adalah waktu yang habis untuk persiapan teknis sebelum sesi; *Idling & Minor Stoppages* mencakup gangguan kecil seperti *hang* atau *restart*; *Reduced Speed* terjadi ketika unit berjalan lambat akibat *overheating* atau hardware yang mulai aus; *Process Defects* adalah sesi yang tidak bisa diselesaikan; dan *Startup/Reduced Yield* mencatat kerugian saat sistem pertama kali dinyalakan.

Nurchahyo et al. (2018) adalah yang pertama mengaplikasikan OEE pada laboratorium pendidikan di Indonesia tepatnya pada laboratorium struktur Universitas Indonesia dan penelitian tersebut membuktikan bahwa kerangka TPM bekerja diluar konteks manufaktur. Jannahti et al. (2024) mengikuti dengan OEE 78,42% pada instrumen laboratorium farmasi. Wibowo dan Padilah (2023) melaporkan 89,28% pada mesin industri, dengan *Equipment Failure* dan *Idling & Minor Stoppages* sebagai penyebab utama turunnya nilai dari dua kategori yang juga mendominasi dalam penelitian ini. Wahyudi et al. (2023) menemukan hal yang lebih mengusik, pada mesin packing dengan OEE 78,17%, *Reduced Speed Loss* ternyata berkontribusi besar, padahal selama ini jarang diukur. Muhammad dan Budi (2024) mengkonfirmasi bahwa Pareto atas *Six Big Losses* memang efektif menentukan ke mana intervensi perawatan harus diarahkan.

Adaptasi OEE ke konteks non-manufaktur juga telah dibuktikan oleh Doyer dan Bean (2023), yang mengembangkan model *Time-on-Task* berbasis kerangka OEE untuk menganalisis produktivitas pembelajaran disekolah yang menegaskan bahwa prinsip OEE bekerja jauh melampaui rantai produksi. Aryanti et al. (2023) membuktikan bahwa implementasi TPM berbasis pengukuran OEE secara langsung menghasilkan kebijakan perawatan yang terukur dan dapat diterapkan pada pendekatan yang menjadi acuan metodologis dalam penelitian ini.

OEE 84,42% yang diperoleh penelitian ini berada diatas semua angka dari laboratorium pendidikan yang ada dalam literatur dengan angka rata-ratanya ialah 64–78%. Tapi diperlukan poin sebesar 0,58 untuk mencapai standar kelas dunia, dan *Reduced Speed Loss* yang belum terukur bisa saja membuat angka aktualnya lebih rendah dari yang dilaporkan. Tabel 1 memetakan posisi penelitian ini terhadap studi-studi terdahulu berdasarkan objek, nilai OEE, kelengkapan analisis *Six Big Losses*, konteks penerapan, dan ketercakupan *Reduced Speed Loss*.

Tabel 1. Matriks Komparatif *State of the Art* Penelitian TPM-OEE

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Nilai OEE	Six Big Losses	Konteks	Reduced Speed	Keterangan Utama
Nurchahyo et al.	2018	Laboratorium struktural Universitas Indonesia	--	✓ (Pareto + fishbone)	Lab Pendidikan	X Tidak dibahas	Pelopor OEE di lab pendidikan Indonesia
Jannahti et al.	2024	Instrumen HPLC lab farmasi industri	78,42%	Parsial (FMEA)	Lab Industri	X Tidak dibahas	A=90,73%, P=90,45%, Q=95,55%
Wibowo & Padilah	2023	Mesin Length Adjustment industri manufaktur	89,28%	✓ Lengkap	Manufaktur	X Tidak dibahas	Equipment Failure & Idling dominan

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Nilai OEE	Six Big Losses	Konteks	Reduced Speed	Keterangan Utama
Wahyudi et al.	2023	Mesin packing industri	78,17%	✓ Lengkap	Manufaktur	✓ Terukur (7,85%)	Reduced Speed terukur sebagai faktor utama kedua
Hariono & Naza Fawwaz	2024	Mesin seamer industri kaleng	--	✓ Lengkap	Manufaktur	X Tidak dibahas	Konfirmasi prinsip Pareto 80-20 pada Six Big Losses
Penelitian Ini	2025	Lab komputer pendidikan -- dua kelompok jadwal paralel	84,42%	✓ + kualitatif	Lab Pendidikan	✓ Kualitatif (pertama)	OEE mendekati world-class; dua kelompok jadwal; Reduced Speed teridentifikasi

Sumber : Kompilasi Penelitian dari Tinjauan Literatur

Tabel 1 memperlihatkan tiga celah yang belum disentuh studi sebelumnya. Tidak ada yang mengaplikasikan OEE pada laboratorium komputer dengan jadwal dua kelompok paralel, di mana sebagian mata kuliah baru dimulai setelah UTS, sehingga model *Loading Time* yang ada tidak dirancang untuk kondisi seperti ini. Semua penelitian di laboratorium pendidikan juga melaporkan OEE di bawah 85%, tanpa satu pun yang mendokumentasikan laboratorium yang benar-benar mendekati standar kelas dunia. *Reduced Speed Loss* akibat overheating pada aplikasi AutoCAD dan CAD/CAM belum pernah diidentifikasi secara eksplisit dikonteks laboratorium komputer. Wahyudi et al. (2023) memang sudah mengukurnya, tapi pada mesin manufaktur, bukan komputer pendidikan. Ketiga celah tersebut yang berusaha dijawab oleh penelitian ini.

BAHAN DAN METODE

Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus tunggal (*single case study*). Lokasi penelitian adalah Laboratorium Simulasi dan Komputasi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Negeri Gorontalo. Pengumpulan data dilakukan selama Semester Ganjil 2025/2026, yaitu dari 19 Agustus 2025 (awal perkuliahan) hingga 13 Desember 2025 (akhir praktikum), dengan UAS berlangsung 16–21 Desember 2025.

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah 21 unit komputer aktif beserta infrastruktur pendukungnya (server jaringan, switch, dan monitor). Komputer dipilih sebagai objek utama karena ketersediaannya menentukan kapasitas efektif laboratorium. Spesifikasi rata-rata unit komputer yang digunakan adalah Acer Aspire TC-705 dengan RAM 4GB, Prosesor Core I5-4460, HDD 500 GB, sistem operasi Win 8.1 Single Language serta Grafis NVIDIA GeForce GT 720, unit komputer ini merupakan pengadaan tahun 2015 dan telah memasuki fase akhir masa pakai produktifnya, yang berkontribusi pada munculnya gejala penurunan performa (*overheating*) saat menjalankan aplikasi berat seperti AutoCAD dan software CAD/CAM.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tiga teknik: (1) observasi terstruktur menggunakan lembar pencatatan harian yang telah divalidasi oleh kepala laboratorium, untuk merekam waktu operasi, *downtime*, dan gangguan peralatan; (2) wawancara semi-terstruktur dengan kepala laboratorium, Pranata Laboratorium Pendidikan, Laboran dan asisten laboraotrium untuk verifikasi data dan identifikasi penyebab gangguan; serta (3) dokumentasi log kerusakan yang tersedia di laboratorium. Pencatatan dilakukan secara konsisten oleh asisten laboratorium yang telah diberi penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian.

Definisi Operasional Variabel

Loading Time adalah total jam sesi praktikum terjadwal (597 jam). *Operating Time* adalah Loading Time dikurangi *downtime Setup & Adjustment*. *Ideal Cycle Time* adalah durasi standar satu sesi (3 jam).

Sesi Bermasalah adalah sesi yang dimulai tetapi tidak dapat diselesaikan optimal akibat gangguan teknis. Koreksi Kapasitas adalah rasio unit berfungsi terhadap total unit ($19/21 = 90,48\%$). *Reduced Speed Loss* diidentifikasi secara kualitatif namun tidak dikuantifikasi dalam periode penelitian ini karena ketiadaan data benchmark kecepatan pemrosesan yang terstandar.

Metode Analisis

Analisis dilakukan dalam empat tahap: (1) perhitungan tiga komponen OEE (*Availability*, *Performance Rate*, *Quality Rate*) dan nilai OEE keseluruhan; (2) analisis *Six Big Losses* menggunakan prinsip Pareto untuk mengidentifikasi kontributor dominan; (3) identifikasi kualitatif kerugian yang tidak terkuantifikasi (*Reduced Speed Loss*); dan (4) perumusan rekomendasi kebijakan perawatan berbasis temuan OEE dan *Six Big Losses* mengacu pada pilar-pilar TPM (Suzuki, 1994).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan penelitian secara berurutan, dari data jadwal sebagai dasar perhitungan *Loading Time*, kondisi peralatan sebagai sumber *downtime*, perhitungan tiga komponen OEE, analisis *Six Big Losses*, hingga perumusan kebijakan perawatan, dan diakhiri dengan implikasi, keterbatasan, serta rekomendasi penelitian lanjutan. Setiap temuan disertai interpretasi sebab akibat dan dikaitkan dengan literatur terdahulu.

Pendekatan kuantitatif deskriptif dengan studi kasus tunggal dipilih karena penelitian ini bertujuan mengukur kondisi aktual satu objek secara mendalam, sesuatu yang tidak dapat dilakukan melalui survei kuesioner yang hanya menghasilkan data persepsi, atau *action research* yang mencampurkan pengukuran *baseline* dengan efek intervensi. Berbeda dengan *multi case study* yang mensyaratkan akses sebanyak laboratorium secara bersamaan, studi kasus tunggal memungkinkan pencatatan data operasional harian yang presisi selama satu semester penuh, sebagaimana direkomendasikan Yin (2018) untuk penelitian yang bertujuan menghasilkan pemahaman mendalam tentang fenomena dalam konteks nyatanya. Pilihan ini sejalan dengan penggunaan metode serupa oleh Nurcahyo et al. (2018) dan (Jannahti et al., 2024) dalam penelitian OEE di laboratorium pendidikan.

Data Jadwal dan *Loading Time*

Tabel 2 menyajikan rincian jadwal delapan mata kuliah praktikum dalam dua kelompok jadwal yang berbeda. Pembagian dua kelompok ini mencerminkan struktur kurikulum dimana empat mata kuliah Kelompok B mensyaratkan kompetensi dasar dari mata kuliah semester sebelumnya, sehingga baru dapat diselenggarakan setelah pertengahan semester.

Tabel 2. Jadwal Praktikum Laboratorium Simulasi dan Komputasi Semester Ganjil 2025/2026

No.	Mata Kuliah	Kelompok	Sesi/Minggu	Durasi/Sesi	Minggu Aktif	Total Sesi	Total Jam
1	GAMTEK	A	2x	3 jam	17 minggu	34	102 jam
2	Pemrograman Komputer	A	2x	3 jam	17 minggu	34	102 jam
3	APSI	A	2x	3 jam	17 minggu	34	102 jam
4	Tata Letak Fasilitas	A	2x	3 jam	17 minggu	34	102 jam
5	Perancangan & Pengem. Produk	B	2x	3 jam	9 minggu	18	54 jam
6	CAD/CAM	B	2x	3 jam	9 minggu	18	54 jam
7	APU	B	2x	3 jam	9 minggu	18	54 jam
8	Pneumatik & Hidrolik	B	1x	3 jam	9 minggu	9	27 jam
Total						199 sesi	597 jam

Sumber: Data Jadwal Praktikum Jurusan Teknik Industri UNG, Semester Ganjil 2025/2026

Kelompok A menghasilkan 136 sesi (408 jam) selama 17 minggu, sementara Kelompok B menghasilkan 63 sesi (189 jam) selama 9 minggu. Perbedaan beban ini mencerminkan asimetri jadwal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan perawatan, mengingat bulan Oktober–Desember memiliki beban tertinggi karena kedua kelompok berjalan bersamaan.

Asimetri jadwal antara Kelompok A (17 minggu) dan Kelompok B (9 minggu) bukan sekadar perbedaan durasi, ini menciptakan pola beban operasional yang bergelombang sepanjang semester. Pada Agustus dan September, hanya Kelompok A yang beroperasi sehingga laboratorium menanggung 8 sesi per minggu. Memasuki Oktober, beban melonjak menjadi 15 sesi per minggu saat Kelompok B bergabung. Kondisi ini memiliki implikasi langsung terhadap strategi perawatan: intervensi berat seperti reinstalasi sistem operasi atau audit hardware tidak dapat dijadwalkan sembarangan karena tidak ada jeda panjang yang tersedia ditengah semester. Temuan ini mendukung argumen Nakajima (1998) bahwa perencanaan Planned Maintenance harus selalu mempertimbangkan pola beban operasional aktual, bukan hanya interval waktu yang seragam.

Tabel 3. Distribusi *Loading Time* per Bulan (Agustus–Desember 2025)

Bulan	Mg Kel. A	Mg Kel. B	Total Mg	Total Sesi	Loading Time (jam)	Keterangan	Akumulasi (jam)
Agustus 2025	2	—	2	16	48	Kel. A mulai 19 Agustus	48
September 2025	5	—	5	40	120	Kel. A operasional penuh	168
Oktober 2025	4	3	7	53	159	Kel. B mulai 13 Okt (pasca UTS)	327
November 2025	4	4	8	60	180	Kedua kelompok penuh	507
Desember 2025	2	2	4	30	90	2 mg aktif; 2 mg UAS (16–21 Des)	597
Total	17	9	26	199 sesi	597 jam	*Tidak dijumlah (dua kelompok berjalan paralel)	597 jam

Sumber: Kalender Akademik UNG & Data Jadwal Praktikum, Semester Ganjil 2025/2026

Tabel 3 menunjukkan bahwa November 2025 merupakan bulan dengan beban tertinggi (60 sesi, 180 jam) karena kedua kelompok berjalan penuh. Oktober menjadi bulan transisi dimana Kelompok B baru dimulai setelah UTS. Temuan ini penting untuk perencanaan PM: perawatan berat (bulanan dan semesteran) sebaiknya dijadwalkan pada awal Agustus sebelum semester dimulai, dan pada jeda antara akhir November hingga awal Desember sebelum memasuki UAS.

Data Kondisi Peralatan dan Sumber *Downtime*

Tabel 3 merangkum seluruh sumber gangguan yang teridentifikasi selama observasi, termasuk *Reduced Speed Loss* yang teridentifikasi secara kualitatif.

Tabel 4. Data Gangguan dan *Downtime* Laboratorium Simulasi dan Komputasi

Jenis Gangguan	Deskripsi	Frekuensi	Durasi	Dampak
<i>Equipment Failure</i>	2 dari 21 unit komputer tidak dapat dioperasikan sepanjang semester	Permanen selama semester	—	Kapasitas turun 9,52% → Performance Rate turun
<i>Setup & Adjustment Loss</i>	Keterlambatan persiapan teknis (konfigurasi software, cek jaringan) setiap awal sesi	Setiap sesi (199 sesi/semester)	20 mnt/sesi	66,33 jam hilang → Availability turun
<i>Process Defects</i>	Sesi dimulai tetapi tidak selesai optimal: komputer crash, data hilang, software error	~2 sesi/bulan × 5 bulan	1 sesi = 3 jam	10 sesi bermasalah → Quality Rate turun
<i>Reduced Speed Loss</i>	Komputer lambat/ <i>overheating</i> saat menjalankan aplikasi berat (AutoCAD, CAD/CAM)	Tidak terdata sistematis	—	Belum terkuantifikasi — lihat keterbatasan penelitian

Sumber: Observasi dan Pencatatan Lapangan, Semester Ganjil 2025/2026

Penting untuk dicatat bahwa *Reduced Speed Loss* akibat komputer *overheating* saat menjalankan AutoCAD dan aplikasi CAD/CAM teridentifikasi secara kualitatif melalui keluhan mahasiswa dan pengamatan langsung, namun tidak terkuantifikasi karena penelitian ini tidak dilengkapi dengan pengukuran *benchmark* kecepatan pemrosesan yang terstandar. Hal ini merupakan keterbatasan penelitian yang dibahas lebih lanjut pada bagian kesimpulan.

- Perhitungan Komponen OEE

1. *Availability*

Availability mengukur proporsi waktu laboratorium tersedia untuk beroperasi dari total waktu terjadwal. *Downtime* yang diperhitungkan adalah *Setup & Adjustment Loss* sebesar 66,33 jam akibat keterlambatan 20 menit per sesi dari 199 sesi.

$$\text{Operating Time} = 597 - (199 \times 20 \div 60) = 597 - 66,33 = 530,67 \text{ jam}$$

$$\text{Availability} = (530,67 / 597) \times 100\% = 88,89\%$$

Nilai *Availability* 88,89% berada 1,11 poin di bawah standar 90%. Gap ini sepenuhnya disebabkan oleh keterlambatan persiapan yang bersifat sistemik dan dapat dieliminasi melalui penerapan SOP persiapan laboratorium tanpa memerlukan investasi peralatan tambahan.

Akar penyebab keterlambatan ini bersifat sistemik dan bukan teknis : tidak ada SOP tertulis yang mewajibkan asisten laboratorium hadir lebih awal sebelum sesi dimulai. Tanpa prosedur yang mengikat, persiapan dilakukan reaktif, dimulai setelah mahasiswa sudah berada di ruangan. Kondisi ini identik dengan apa yang oleh Imai (1986) disebut sebagai ketidakstabilan proses standar yang menjadi sumber pemborosan tersembunyi terbesar dalam sistem operasional apapun. Bahwa kerugian ini mencapai 66,33 jam per semester yang setara dengan lebih dari 22 sesi penuh yang terbuang, ini menunjukkan betapa besar dampak kumulatif dari satu kebiasaan kecil yang tidak terstandar.

2. *Performance Rate*

Performance Rate mengukur efektivitas operasional peralatan relatif terhadap kapasitas idealnya. Dengan 2 unit komputer tidak berfungsi dari 21 unit, kapasitas efektif laboratorium adalah $19/21 = 90,48\%$. Nilai ini menjadi faktor koreksi dalam perhitungan:

$$\text{Performance Rate} = (199 \times 3 \times 19/21) / 530,67 \times 100\% = 540,14 / 530,67 \times 100\% = 101,78\%$$

Karena *Performance Rate* tidak dapat melebihi 100%, nilai dikoreksi menjadi 90,48% yang merepresentasikan kapasitas unit yang berfungsi. Perlu dicatat bahwa nilai ini belum memperhitungkan *Reduced Speed Loss*; apabila komputer yang beroperasi lambat akibat *overheating* diukur, nilai *Performance Rate* aktual kemungkinan lebih rendah dari 90,48%.

$$\text{Performance Rate} = 90,48\% \text{ (dibatasi kapasitas unit berfungsi; belum termasuk Reduced Speed Loss)}$$

Nilai *Performance Rate* 90,48% yang dibatasi oleh kapasitas unit berfungsi (19/21) mencerminkan persoalan yang lebih dalam dari sekadar dua unit rusak. Dalam kerangka TPM, *Equipment Failure* yang berlangsung permanen selama satu semester penuh adalah indikator kegagalan sistem perawatan preventif, kondisi yang seharusnya tidak terjadi apabila jadwal pemeriksaan hardware berkala sudah berjalan. Wibowo & Padilah (2023) menemukan pola serupa: *Equipment Failure* mendominasi *Six Big Losses* justru difasilitasi yang belum memiliki jadwal PM terstruktur, dan intervensi PM terbukti menurunkan kontribusi kategori ini secara signifikan. Lebih jauh, nilai 90,48% ini masih bersifat optimistik karena belum memperhitungkan *Reduced Speed Loss*, apabila *overheating* pada unit yang masih "berfungsi" diukur secara sistematis, nilai aktual *Performance Rate* dan OEE kemungkinan lebih rendah dari yang dilaporkan.

3. *Quality Rate*

Quality Rate mengukur proporsi sesi yang diselesaikan secara optimal. Dengan rata-rata 2 sesi bermasalah per bulan selama 5 bulan aktif (Agustus–Desember 2025):

$$\text{Sesi bermasalah} = 2/\text{bulan} \times 5 \text{ bulan} = 10 \text{ sesi}$$

$$\text{Quality Rate} = (199 - 10) / 199 \times 100\% = 189/199 \times 100\%$$

$$\text{Quality Rate} = 94,97\%$$

Nilai *Quality Rate* 94,97% berarti satu dari setiap 20 sesi praktikum tidak dapat diselesaikan secara optimal namun bukan kejadian acak, melainkan manifestasi dari kondisi hardware yang sudah melampaui batas toleransi operasionalnya. Komputer *crash* dan data hilang ditengah sesi terjadi karena tidak ada prosedur *backup data* sebelum sesi dimulai dan tidak ada sistem monitoring kondisi *hardware* secara berkala yang memberi peringatan dini sebelum kegagalan terjadi. Nakajima (1998) menegaskan bahwa *Process Defects* dalam *Six Big Losses* pada dasarnya adalah bukti bahwa standar kualitas proses belum ditegakkan, bukan semata masalah teknis peralatan. Sesi yang gagal diselesaikan bukan hanya kerugian waktu; ini adalah kerugian kualitas pembelajaran yang dampaknya tidak terukur dalam angka OEE tetapi dirasakan langsung oleh mahasiswa.

4. Nilai OEE Final

$$\text{OEE} = 88,89\% \times 90,48\% \times 94,97\%$$

$$\text{OEE} = 84,42\%$$

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai OEE Laboratorium Simulasi dan Komputasi (Semester Ganjil 2025/2026)

Komponen OEE	Nilai Aktual (%)	Standar Kelas Dunia (%)	Gap (poin %)	Status
Availability (A)	88,89	$\geq 90,00$	-1,11	Di bawah standar
Performance Rate (P)	90,48	$\geq 95,00$	-4,52	Di bawah standar
Quality Rate (Q)	94,97	$\geq 99,90$	-4,93	Di bawah standar
OEE	84,42	$\geq 85,00$	-0,58	Di bawah standar

Sumber: Hasil Perhitungan Peneliti, Semester Ganjil 2025/2026

Nilai OEE 84,42% menempatkan Laboratorium Simulasi dan Komputasi UNG pada posisi yang sangat mendekati standar kelas dunia 85%, dengan gap hanya 0,58 poin. Dibandingkan dengan temuan Jannahti et al., (2024) sebesar 78,42% pada laboratorium farmasi, dan rata-rata laboratorium pendidikan yang umumnya berada di kisaran 64–78%, nilai ini relatif tinggi. Namun kondisi ini tidak berarti laboratorium bebas dari masalah perawatan, gap 0,58 poin tersebut, ditambah potensi *Reduced Speed Loss* yang belum terukur, menegaskan urgensi intervensi perawatan yang terstruktur.

Penting untuk mencermati bahwa nilai OEE 84,42% ini lebih tinggi dari seluruh laboratorium pendidikan yang ada dalam literatur, bukan karena perawatannya lebih baik, melainkan karena beban operasional yang sangat tinggi (199 sesi, 597 jam). *Loading Time* yang besar secara matematis mengecilkan proporsi *downtime* terhadap total waktu tersedia. Dengan kata lain, laboratorium yang sangat sibuk cenderung menghasilkan nilai *Availability* yang lebih tinggi secara perhitungan meskipun total jam *downtime* absolutnya sama atau bahkan lebih besar. Fenomena ini merupakan temuan metodologis penting: interpretasi nilai OEE absolut dikonteks laboratorium pendidikan harus selalu disertai konteks beban operasional yang eksplisit. Tanpa informasi *Loading Time*, angka 84,42% bisa menyesatkan pembaca untuk menyimpulkan bahwa laboratorium ini tidak membutuhkan intervensi perawatan.

- Analisis Six Big Losses

Tabel 6 menyajikan analisis *Six Big Losses* beserta distribusi Pareto. Tiga kategori yang berhasil dikuantifikasi mencakup 100% total waktu kerugian yang terukur.

Tabel 6. Analisis Six Big Losses Laboratorium Simulasi dan Komputasi (Agustus–Desember 2025)

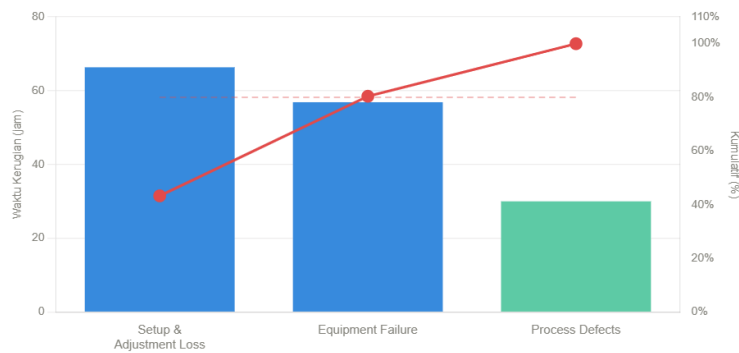
No.	Kategori	Deskripsi	Waktu Hilang (jam)	Persentase (%)	Kumulatif (%)	Komponen OEE
1	Setup & Adjustment Loss	Keterlambatan 20 mnt × 199 sesi	66,33	43,30	43,30	Availability
2	Equipment Failure	2 unit mati → kapasitas -9,52% × 597 jam	56,86	37,12	80,42	Performance Rate
3	Process Defects	10 sesi tidak tuntas × 3 jam	30,00	19,58	100,00	Quality Rate
4	Reduced Speed Loss	Komputer lambat/overheating (tidak terkuantifikasi)	—	—	—	Performance Rate
5	Idling & Minor Stoppages	Gangguan minor tidak terdata sistematis	—	—	—	Performance Rate
6	Startup/Reduced Yield	Inisiasi sistem awal hari (estimasi minor)	—	—	—	Quality Rate
Total Teridentifikasi (terukur)			153,19 jam	100,00		

Sumber: Hasil Analisis Six Big Losses, Semester Ganjil 2025/2026

Dari keenam kategori *Six Big Losses*, hanya tiga yang berhasil diidentifikasi berdasarkan data observasi lapangan, dengan total waktu kerugian terukur sebesar 153,19 jam. *Setup* dan *Adjustment Loss* menempati posisi pertama dengan 66,33 jam (43,30%), seluruhnya bersumber dari keterlambatan persiapan teknis 20 menit per sesi yang terjadi secara konsisten disetiap sesi praktikum sepanjang semester. Kerugian ini sepenuhnya bersifat prosedural tidak ada kerusakan hardware dibalikinya yang berarti dapat dieliminasi tanpa biaya investasi peralatan apapun, cukup dengan penerapan SOP persiapan yang disiplin.

Equipment Failure berada di urutan kedua dengan 56,86 jam (37,12%), merepresentasikan hilangnya kapasitas layanan akibat dua unit komputer yang tidak berfungsi sepanjang semester. Tidak seperti kategori pertama yang bersifat prosedural, kerugian ini memerlukan tindakan teknis langsung berupa perbaikan atau penggantian unit. Dua kategori ini bersama-sama menanggung 80,42% dari seluruh kerugian terukur hingga melampaui ambang batas Pareto 80% dan menjadikannya prioritas utama intervensi perawatan.

Process Defects berkontribusi 30,00 jam (19,58%) dari 10 sesi praktikum yang dimulai tetapi tidak dapat diselesaikan secara optimal akibat kegagalan teknis ditengah sesi. Tiga kategori lainnya seperti *Reduced Speed Loss*, *Idling* dan *Minor Stoppages*, serta *Startup/Reduced Yield* tidak terkuantifikasi karena ketiadaan sistem pencatatan data yang terstandar selama periode observasi. *Reduced Speed Loss* khususnya teridentifikasi secara kualitatif melalui gejala *overheating* pada sejumlah unit saat menjalankan AutoCAD dan CAD/CAM, namun tanpa data *benchmark* kecepatan pemrosesan yang terstandar, kerugian ini tidak dapat dimasukkan ke dalam perhitungan. Potensi dampaknya terhadap *Performance Rate* dan OEE dibahas lebih lanjut pada bagian keterbatasan penelitian.



Gambar 1 menunjukkan diagram pareto.

Diagram Pareto pada Gambar 1 memvisualisasikan distribusi tiga kategori kerugian terukur beserta kurva kumulatifnya. Batang biru menunjukkan besaran waktu kerugian masing-masing kategori pada sumbu kiri, sementara garis merah menggambarkan akumulasi persentase pada sumbu kanan. Garis putus-putus horizontal pada angka 80% merupakan batas Pareto titik di mana intervensi pada kategori-kategori di sebelah kirinya sudah cukup untuk menyelesaikan mayoritas masalah.

Kurva kumulatif menembus batas 80% tepat setelah batang kedua, yakni pada titik 80,42%. Ini berarti dua intervensi saja yakni menerapkan SOP persiapan laboratorium untuk mengeliminasi keterlambatan, dan memperbaiki dua unit komputer yang tidak berfungsi hal ini diharapkan secara teoritis sudah cukup untuk memulihkan lebih dari empat per lima dari seluruh waktu yang hilang. Temuan ini penting secara strategis karena menunjukkan bahwa solusi utama untuk meningkatkan OEE laboratorium tidak memerlukan program perawatan yang kompleks atau investasi besar, melainkan dua tindakan konkret yang dapat dimulai dalam waktu dekat.

Perlu dicatat bahwa diagram ini hanya menampilkan kerugian yang berhasil dikuantifikasi. Apabila *Reduced Speed Loss* teridentifikasi secara kualitatif, distribusi Pareto kemungkinan akan bergeser dan urutan prioritas intervensi dapat berubah, khususnya pada komponen *Performance Rate*.

Analisis Pareto menunjukkan bahwa *Setup & Adjustment Loss* (43,30%) dan *Equipment Failure* (37,12%) merupakan dua kontributor dominan yang bertanggung jawab atas 80,42% total kerugian, prinsip Pareto 80-20 sebagaimana ditemukan oleh Muhammad dan Budi (2024). *Setup & Adjustment Loss* 66,33 jam murni disebabkan oleh ketiadaan prosedur persiapan standar, bukan kerusakan *hardware*, artinya dapat dieliminasi tanpa biaya investasi peralatan. *Equipment Failure* akibat 2 unit komputer tidak berfungsi mengakibatkan pengurangan kapasitas permanen selama satu semester, serupa dengan temuan Wibowo dan Padilah (2023) yang mengidentifikasi *Equipment Failure* sebagai faktor dominan OEE.

Reduced Speed Loss (kategori ke-4) merupakan temuan kualitatif penting dalam penelitian ini. Beberapa unit komputer menunjukkan gejala *overheating* yang mengakibatkan perlambatan kecepatan pemrosesan saat menjalankan AutoCAD, terutama pada sesi CAD/CAM dan Menggambar Teknik. Wahyudi et al., (2023) melaporkan bahwa *Reduced Speed Loss* dapat berkontribusi hingga 7–16% dari total waktu kerugian OEE. Apabila temuan ini dikuantifikasi pada penelitian selanjutnya, nilai *Performance Rate* dan OEE aktual kemungkinan lebih rendah dari yang dilaporkan, memperbesar urgensi tindakan perawatan hardware.

- Kebijakan Perawatan Berbasis OEE

1. Kebijakan 1: *Preventive Maintenance* Terstruktur Berjenjang

Untuk mengatasi *Equipment Failure* sekaligus mencegah berkembangnya *Reduced Speed Loss* yang teridentifikasi secara kualitatif, ditetapkan jadwal PM berjenjang pada Tabel 6. Prioritas utama adalah perbaikan segera 2 unit komputer tidak berfungsi untuk memulihkan kapasitas penuh, diikuti program pembersihan debu secara rutin untuk mencegah *overheating* pada unit yang aktif.

Tabel 7. Usulan Jadwal *Preventive Maintenance* Laboratorium Simulasi dan Komputasi

Frekuensi	Jenis Kegiatan	Target	Pelaksana	Estimasi Waktu
Harian	Pembersihan debu monitor & keyboard; cek koneksi jaringan; startup 30 mnt sebelum sesi	Semua unit PC & monitor	Asisten Lab	30 menit sebelum sesi
Mingguan	Disk cleanup, update antivirus, defragmentasi HDD, hapus temporary files	Semua unit PC	Teknisi Lab	2 jam (Jumat/Sabtu)
Bulanan	Bersihkan internal CPU (debu), cek RAM, kabel, suhu idle	Semua unit CPU	Teknisi Lab	4 jam
Per Semester	Reinstalasi OS, audit hardware, backup data, evaluasi unit layak pakai	Semua unit & server	Teknisi + Kepala Lab	2 hari kerja
Tahunan	Evaluasi kelayakan hardware, penggantian komponen kritis, upgrade RAM/SSD jika perlu	Semua unit	Tim IT UNG + Vendor	1 minggu

Sumber: Rekomendasi Peneliti berdasarkan Analisis OEE dan Six Big Losses, 2025

Jadwal PM harian yang mencakup prosedur startup 30 menit sebelum sesi dirancang sekaligus untuk mengeliminasi *Setup & Adjustment Loss*. Pembersihan debu bulanan pada internal CPU menjadi intervensi kritis untuk mencegah *overheating* yang menjadi akar penyebab *Reduced Speed Loss*. Adinda dan Suseno (2025) membuktikan bahwa *Autonomous Maintenance* yang melibatkan operator secara aktif dalam perawatan harian mampu menurunkan *downtime* secara signifikan.

2. Kebijakan 2: SOP Persiapan Laboratorium

Untuk mengeliminasi *Setup & Adjustment Loss* sebesar 66,33 jam per semester, dikembangkan SOP Persiapan Laboratorium yang mewajibkan asisten laboratorium memulai persiapan 30 menit sebelum jadwal sesi. SOP mencakup: prosedur startup berurutan untuk seluruh 21 unit, pemeriksaan koneksi jaringan dan server, preloading *software* per mata kuliah, dan formulir pelaporan unit bermasalah. Eliminasi penuh keterlambatan ini akan meningkatkan *Operating Time* dari 530,67 jam menjadi 597 jam dan *Availability* dari 88,89% menjadi 100%, sebuah perbaikan signifikan tanpa investasi hardware apapun.

3. Kebijakan 3: Program Pelatihan Operator

Program pelatihan dirancang dalam tiga level: (1) asisten laboratorium: *troubleshooting hardware* dasar (identifikasi *overheating*, pembersihan debu, pengecekan RAM), pencatatan log harian, dan penanganan gangguan minor; (2) kepala laboratorium: orientasi sistem TPM, analisis data OEE berkala, dan pengambilan keputusan perawatan berbasis data; serta (3) mahasiswa pengguna: sosialisasi etika penggunaan peralatan, prosedur *shutdown* yang benar, dan pelaporan gangguan. Ganep dan Erik Nugraha (2022) membuktikan bahwa program pelatihan operator sebagai bagian dari TPM secara efektif mengurangi kerusakan akibat kesalahan pengguna hingga 40%.

• Proyeksi Peningkatan OEE

Tabel 8 menyajikan proyeksi nilai OEE setelah implementasi penuh tiga kebijakan perawatan dalam satu semester ke depan. Proyeksi didasarkan pada asumsi: (1) SOP persiapan diimplementasikan penuh sehingga *Availability* mencapai 100%; (2) 2 unit komputer rusak diperbaiki sehingga kapasitas kembali ke 21/21 unit; dan (3) frekuensi sesi bermasalah berkurang 50% melalui PM rutin dan pelatihan operator.

Tabel 8. Proyeksi Peningkatan OEE Setelah Implementasi Kebijakan Perawatan

Komponen	Baseline (%)	Target Proyeksi (%)	Δ (poin)	Standar Dunia (%)	Status
Availability	88,89	100,00	+11,11	$\geq 90,00$	Melampaui
Performance Rate	90,48	95,24	+4,76	$\geq 95,00$	Mencapai
Quality Rate	94,97	98,49	+3,52	$\geq 99,90$	Mendekati

OEE	84,42	93,82	+9,40	≥ 85,00	Melampaui
-----	-------	-------	-------	---------	-----------

OEE proyeksi = $100\% \times 95,24\% \times 98,49\% = 93,82\%$ (implementasi penuh). Sumber: Proyeksi Peneliti, 2025

Proyeksi menunjukkan bahwa implementasi Kebijakan 2 (SOP Persiapan) saja tanpa biaya hardware apapun sudah cukup membawa *Availability* ke 100% dan mengangkat OEE melampaui standar kelas dunia jika dikombinasikan dengan perbaikan 2 unit komputer. Ini adalah temuan strategis yang penting. Solusi utama untuk meningkatkan OEE Laboratorium Simulasi dan Komputasi UNG dari 84,42% ke atas 85% tidak memerlukan investasi besar, melainkan hanya disiplin prosedural dan perbaikan hardware minor.

- Implikasi, Keterbatasan, dan Rekomendasi

1. Implikasi Teoretis dan Praktis

Penelitian ini memberikan tiga implikasi bagi pengembangan ilmu manajemen perawatan fasilitas pendidikan. Pertama, secara metodologis, penelitian ini membuktikan bahwa model OEE konvensional perlu diadaptasi ketika diterapkan pada laboratorium dengan struktur jadwal tidak seragam. Model *Loading Time* dua kelompok paralel yang dikembangkan disini dapat menjadi referensi bagi penelitian serupa diinstitusi lain yang memiliki pola penyelenggaraan praktikum bertahap. Kedua, secara teoretis, temuan bahwa nilai OEE laboratorium yang sangat sibuk cenderung lebih tinggi bukan karena perawatannya lebih baik melainkan karena *Loading Time* yang besar mengecilkan proporsi *downtime*, mengindikasikan bahwa interpretasi nilai OEE absolut dikonteks pendidikan memerlukan informasi konteks beban operasional yang eksplisit. Ini merupakan kontribusi pada diskusi metodologis penerapan OEE diluar konteks manufaktur yang mulai berkembang sejak Nurcahyo et al. (2018) dan Doyer dan Bean (2023). Ketiga, secara praktis, penelitian ini membuktikan bahwa intervensi perawatan terbesar yang dibutuhkan laboratorium ini bersifat prosedural (SOP), bukan kapital melainkan sebuah argumen penting bagi pengelola laboratorium diinstitusi dengan keterbatasan anggaran.

2. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki tiga keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan temuan. Pertama dan paling signifikan, *Reduced Speed Loss* tidak terkuantifikasi karena penelitian ini tidak dilengkapi dengan pengukuran *benchmark* kecepatan pemrosesan yang terstandar. Wahyudi et al. (2023) melaporkan bahwa *Reduced Speed Loss* berkontribusi hingga 7–16% dari total waktu kerugian OEE pada konteks serupa, apabila rentang ini berlaku untuk laboratorium ini, nilai OEE aktual bisa berada di kisaran 71–78%, lebih rendah dari 84,42% yang dilaporkan. Kedua, data sesi bermasalah untuk komponen *Quality Rate* didasarkan pada estimasi rata-rata (2 sesi/bulan) dan bukan catatan kejadian yang terverifikasi per sesi, sehingga mengandung tingkat ketidakpastian yang perlu diakui. Ketiga, penelitian ini hanya mencakup satu semester dan satu laboratorium, sehingga temuan tidak dapat digeneralisasi ke laboratorium lain atau semester lain tanpa verifikasi tambahan.

3. Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Tiga arah penelitian lanjutan paling mendesak diidentifikasi dari temuan ini. Pertama, kuantifikasi *Reduced Speed Loss* melalui pengukuran terstandar menggunakan metode stopwatch untuk mencatat waktu booting, waktu membuka AutoCAD, dan durasi rendering atau menggunakan *software monitoring hardware* (HWMonitor, CPU-Z) untuk merekam suhu CPU dan kecepatan clock secara real-time. Ini akan merevisi nilai *Performance Rate* dan OEE secara signifikan serta mengubah prioritas dalam diagram Pareto. Kedua, evaluasi longitudinal pasca-implementasi ketiga kebijakan perawatan selama minimal dua semester untuk mengukur efektivitas aktual dibandingkan proyeksi 93,82% yang dihasilkan penelitian ini. Ketiga, replikasi penelitian di laboratorium lain dalam jurusan atau di institusi pendidikan tinggi lain yang memiliki struktur jadwal serupa, untuk menghasilkan perbandingan lintas laboratorium dan memvalidasi model *Loading Time* dua kelompok paralel yang dikembangkan dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menjawab tiga tujuan yang ditetapkan. Pengukuran OEE Laboratorium Simulasi dan Komputasi Jurusan Teknik Industri Universitas Negeri Gorontalo pada Semester Ganjil

2025/2026 menggunakan model yang mengakomodasi dua kelompok jadwal paralel menghasilkan nilai *baseline* sebesar 84,42%, dengan *Availability* 88,89%, *Performance Rate* 90,48%, dan *Quality Rate* 94,97% hanya terpaut 0,58 poin dari standar kelas dunia 85%. Analisis *Six Big Losses* berbasis Pareto mengidentifikasi *Setup & Adjustment Loss* (66,33 jam; 43,30%) dan *Equipment Failure* (56,86 jam; 37,12%) sebagai dua kontributor dominan yang menanggung 80,42% total kerugian terukur, disertai identifikasi kualitatif *Reduced Speed Loss* akibat *overheating* yang belum terkuantifikasi. Berdasarkan temuan tersebut, dirumuskan tiga kebijakan perawatan berbasis data yang siap diimplementasikan yakni *Preventive Maintenance* terstruktur berjenjang, SOP Persiapan Laboratorium, dan Program Pelatihan Operator, yang secara kolektif diproyeksikan meningkatkan OEE menjadi 93,82%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium, para Pranata Laboratorium Pendidikan yang bertugas, Laboran dan asisten laboratorium Jurusan Teknik Industri Universitas Negeri Gorontalo, atas kerjasamanya selama proses pengumpulan data. Penghargaan juga disampaikan kepada Bapak Ir. Richard Renaldi Bukamo, ST. dan Jurusan Teknik Industri UNG yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini. Penulis menggunakan alat bantu kecerdasan buatan (AI) untuk membantu penyusunan draf awal naskah dan perbaikan tata bahasa. Seluruh data lapangan, analisis data, interpretasi hasil, dan penarikan kesimpulan dilakukan sepenuhnya secara mandiri oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinda, P. B., & Suseno. (2025). Evaluasi Pengaruh Autonomous Maintenance terhadap Kinerja Mesin Bubut dalam Penerapan Total Productive Maintenance di PT XYZ implementasi pilar kedua TPM , dimana AM merupakan cara perawatan mesin yang. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 4, 117–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jtmei.v4i1.4786>
- Aryanti, F. I., Santoso, T. B., Christian, F. P., Artamifian, D., Studi, P., Kimia, T., Putih, C., & Pusat, J. (2023). Implementasi Total Productive Maintenance (TPM) dalam Penerapan Overall Equipment Effectiveness (OEE) di PT . XYZ. *Journal of Community Services in Sustainability*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.52330/jocss.v1i1.135>
- Doyer, I., & Bean, W. L. (2023). As easy as OEE : Enabling productivity improvement in schools by using Overall Equipment Effectiveness as framework for quantitative classroom data analysis. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(5), 1055–1074. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2022-0057>
- Ganep, M., & Erik Nugraha, A. (2022). Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Pada Perawatan Mesin Cutter di PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(June), 205–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6645451>
- Hallioui, A., Herrou, B., Katina, P. F., Santos, R. S., Egbue, O., Jasiulewicz-kaczmarek, M., Soares, J. M., & Marques, P. C. (2023). A Review of Sustainable Total Productive Maintenance (STPM). *MDPI Journal*, 15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su151612362>
- Hansen, R. C. (2001). *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits* (J. Carleo & R. Weinstein (eds.); 1st ed.). Industrial Press.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success* (1st ed.). McGraw-Hill Education.
- Iskandar, S., & Padmakusumah, R. R. (2023). Jurnal Impresi Indonesia (JII) Analisis Progress Implementasi TPM (Total Productive Maintenance) dan Proyeksi Manfaatnya bagi Peningkatan Produktivitas (Studi Kasus pada Perusahaan X). *Jurnal Impresi Indonesia*, 2532–2547.
- Jannahti, A. B., Lasmana, C., & Fauzi, M. (2024). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) Using Overall Equipment Effectiveness (OEE) Method on HPLC Instruments in Laboratory. *Jurnal Teknik Industri : Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 10(1), 223–230.
- Muhammad, A. N. F., & Budi, H. (2024). Analisis Penerapan Metode Total Productive Maintenance berdasarkan Perhitungan OEE dan Faktor Six Big Losses pada Mesin Seamer Hor Yang di PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 24(2), 151–156. <https://doi.org/10.25047/jii.v24i2.4658>
- Nakajima, S. (1998). *Introduction to TPM : Total Productive Maintenance*. Cambridge : Productivity Press.

- Nurcahyo, R., Dachyar, M., & Habiburrahman, M. (2018). Overall Equipment Effectiveness (OEE) at the Laboratory of Structure Testing. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM 2018)* (pp. 1080–1090).
- Raju, S., Kamble, H. A., & Srinivasaiah, R. (2022). Anatomization of the overall equipment effectiveness (OEE) for various machines in a tool and die shop. *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, 3(1), 97–105. <https://doi.org/10.1108/JIMSE-01-2022-0004>
- Suzuki, T. (1994). *TPM In Process Industries* (T. Suzuki (ed.)). CRC Press.
- Wahyudi, R., Ferdana, R. G., & Nugraha, A. T. (2023). Penerapan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses untuk Mengukur Efektivitas Mesin Packing pada PT . Surya Tsabat Mandiri. *Jurnal Optimalisasi Teknik Industri*, 09(02), 82–89.
- Wibowo, P. A., & Padilah, I. (2023). Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses Pada Mesin Length Adjusment Line 3 Departemen Belt Assy PT XYZ. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 7(2), 439–449. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i2.2236>