Jurnal Teknik Indonesia

Volume 5 Nomor 3 Agustus 2026

https://jti.publicascientificsolution.com/index.php/rp

Integrasi Overall Equipment Effectiveness dan Root Cause Analysis sebagai Dasar Rekomendasi Perbaikan Sistem Produksi pada Operasi Mesin Bubut

Ardi Surya Sabana*, M. Imron Mas'ud
Universitas Yudharta Pasuruan, Indonesia
Email: Ardisurya1512@gmail.com*

Keywords:

Overall Equipment Effectiveness; Root Cause Analysis; Downtime; Machine Lathe; Productivity Manufacturing.

Abstract

This study applied Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Root Cause Analysis (RCA) to evaluate machine effectiveness and identify the root causes of productivity losses in lathe operations at a hydraulic-cylinder component manufacturer in Pasuruan, Indonesia. A one-month observation of all 17 lathes in Machining Division 1 recorded a total loading time of 5,681.55 hours with 2,344.10 hours of downtime (41.26%), with none of the machines achieving world-class availability standards. The L60 machine, as the unit with the highest output but the second-lowest availability, was selected for in-depth analysis and yielded an OEE of 19.20% (Availability 44.03%, Performance 43.60%, Quality 100.00%) — well below the world-class threshold of 85%. A Pareto analysis of 236.85 hours of time non-value-added identify three loss Dominant factors: No Job (76.04%), Hoist Waiting (20.54%), and Time-Based Maintenance (3.42%). Fishbone and 5-Why analyses traced these losses to weaknesses in the production management system, not equipment failures. Five priority improvement recommendations were formulated; the conservative scenario projected OEE recovery of up to 22.91%, and the moderate scenario up to 33.79%. These findings indicate that the OEE-RCA integration effectively identified the primary sources of productivity losses and provided a practical basis for improving manufacturing performance through better production planning.

Kata kunci:

Overall Equipment Effectiveness; Root Cause Analysis; Waktu Henti; Mesin Bubut; Produktivitas Manufaktur.

Abstrak

Penelitian ini menerapkan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Root Cause Analysis (RCA) untuk mengevaluasi efektivitas mesin sekaligus mengidentifikasi akar penyebab kerugian produktivitas pada operasi mesin bubut di sebuah produsen komponen hidrolik-silinder di Pasuruan, Indonesia. Observasi selama satu bulan terhadap seluruh 17 mesin bubut di Divisi Machining 1 mencatat total loading time 5.681,55 jam dengan downtime 2.344,10 jam (41,26%), tanpa satu pun mesin mencapai standar availability kelas dunia. Mesin L60, sebagai unit dengan output tertinggi namun availability terendah kedua, dipilih untuk dianalisis secara mendalam dan menghasilkan nilai OEE 19,20% (Availability 44,03%, Performance 43,60%, Quality 100,00%) — jauh di bawah ambang kelas dunia 85%. Analisis Pareto terhadap 236,85 jam waktu non-value-added mengidentifikasi tiga kerugian dominan: No Job (76,04%), Hoist Waiting (20,54%), dan Time-Based Maintenance (3,42%). Analisis fishbone dan 5-Why menelusuri kerugian tersebut hingga ke kelemahan sistem manajemen produksi, bukan kegagalan peralatan. Lima rekomendasi perbaikan prioritas

dirumuskan; skenario konservatif memproyeksikan pemulihan OEE hingga 22,91%, dan skenario moderat hingga 33,79%. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi OEE-RCA efektif mengidentifikasi sumber utama kerugian produktivitas dan memberikan basis praktis untuk perbaikan kinerja manufaktur melalui perencanaan produksi yang lebih baik.

PENDAHULUAN

Sebuah paradoks mendasar sering muncul pada industri manufaktur yang padat aset: mesin yang paling diandalkan untuk menghasilkan output justru sering menjadi mesin yang paling terkendala oleh waktu tidak produktif, sementara sumber penyebabnya kerap salah didiagnosis (Muchiri & Pintelon, 2008; Nakajima, 1988). Asumsi yang dominan dalam literatur OEE menempatkan inefisiensi pada kegagalan teknis — breakdown, penurunan kecepatan, dan cacat kualitas (Ljungberg, 1998; Nakajima, 1988; Tsarouhas, 2019) — sehingga mendorong praktisi ke intervensi di level mesin, padahal akar masalah sesungguhnya sering terletak pada sistem manajemen produksi di sekitar mesin tersebut (Costa et al., 2024; Muchiri & Pintelon, 2008). OEE, yang diperkenalkan (Nakajima, 1988) dalam kerangka Total Productive Maintenance (TPM), menguraikan kinerja mesin menjadi tiga komponen — Availability, Performance, dan Quality — dengan ambang kelas dunia OEE ≥ 85% (Dal et al., 2000; Nakajima, 1988). Ketika Quality berada pada level kelas dunia sementara Availability dan Performance justru tertekan kritis, kerangka Six Big Losses mengarahkan perhatian pada kerugian akibat idling dan pemberhentian terjadwal — yang sifatnya manajerial dan koordinatif, bukan teknis (Muchiri & Pintelon, 2008; Nakajima, 1988).

Berbagai penelitian terdahulu telah menerapkan OEE di berbagai sektor manufaktur. Sitorus et al. (2023) menganalisis OEE mesin bubut LB 02 di PT Bakrie Autoparts dan menemukan nilai OEE rata-rata 81,43%, dengan Equipment Failure Losses sebagai faktor dominan (8,40%) yang mempengaruhi penurunan efektivitas mesin. Fauzan & Azizah (2024) menerapkan OEE dan Six Big Losses pada mesin bubut SY-GF 250H di CV Jasa Bhakti, menemukan OEE rata-rata 75% dengan Reduced Speed Losses (35%) dan Idle & Minor Stoppage (6%) sebagai penyebab utama rendahnya performance rate. Penelitian di sektor manufaktur komponen hidrolik-silinder yang berbasis pesanan khusus (low-volume, high-variety) masih sangat terbatas, sementara Costa et al. (2024) menunjukkan bahwa inefisiensi aliran informasi antara perencanaan dan operasi menjadi penggerak utama waktu menganggur pada manufaktur komponen logam. Penelitian tentang integrasi OEE dengan Root Cause Analysis juga semakin berkembang, dengan Syaker & Nugraha (2025) menerapkan OEE dan RCA pada mesin transfer gandum dan mengidentifikasi Reduced Speed Losses sebagai faktor utama; studi kasus di pabrik alas kaki Indonesia menunjukkan bahwa faktor manusia dan mesin menjadi kontributor dominan inefisiensi pada mesin injeksi; serta studi di pabrik pengolahan marmer Indonesia berhasil meningkatkan OEE dari 59% menjadi 70% melalui integrasi TPM dan Lean Manufacturing (de Ron & Rooda, 2006).

Root Cause Analysis (RCA), melalui diagram Fishbone (Ishikawa, 1986) dan teknik 5-Why (De Fretes, 2022; Moso & Olanrewaju, 2024), menyediakan lapisan kausalitas yang tidak dapat diberikan OEE semata: OEE menunjukkan apa yang hilang, sedangkan RCA menjelaskan mengapa. Integrasi OEE dengan RCA menggeser fokus intervensi dari gejala ke mekanisme penyebabnya, dan terbukti meningkatkan ketepatan sasaran tindakan korektif

dibandingkan pendekatan tunggal (Ilham et al., 2026; Ito et al., 2022). Integrasi semacam ini masih kurang terwakili dalam konteks manufaktur komponen di negara berkembang, di mana kegagalan sisi permintaan dan koordinasi perencanaan — bukan kerusakan teknis — dinilai menjadi sumber utama waktu menganggur (Costa et al., 2024; Wijesinghe & Illankoon, 2024). Studi OEE di Asia Tenggara umumnya berfokus pada sektor otomotif, makanan, dan elektronik (de Ron & Rooda, 2006; Huang et al., 2003; Tsarouhas, 2019); sementara manufaktur komponen hidrolik-silinder, sebagai sektor low-volume, high-variety (LMHV) berbasis pesanan khusus, hampir tidak mendapat perhatian sistematis dalam kajian OEE di Indonesia, dan belum ada studi yang mengukur kontribusi program manajerial (non-modal) terhadap pemulihan OEE pada sektor ini.

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan OEE dan RCA pada Divisi Machining 1, PT Andalan Fluid Sistem (PT AFS), Pasuruan — produsen komponen hidrolik-silinder. Observasi menyeluruh terhadap 17 mesin bubut selama 46 hari-shift menemukan tidak ada satu pun mesin yang mencapai availability kelas dunia, rasio NVA tingkat divisi sebesar 41,26%, dan mesin fokus (L60) menunjukkan Quality Rate 100% berdampingan dengan Availability (44,03%) dan Performance (43,60%) yang tertekan kritis, menghasilkan OEE 19,20% — profil yang secara langsung bertentangan dengan asumsi dominasi teknis, karena proses yang sepenuhnya kapabel (Quality = 100%) berarti kerugian OEE pasti bersumber dari tempat lain. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur OEE Mesin L60 terhadap standar kelas dunia; (2) memprioritaskan kategori waktu non-value-added melalui analisis Pareto; (3) menelusuri akar penyebab melalui RCA; dan (4) merumuskan rekomendasi prioritas yang didukung analisis sensitivitas.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus tunggal embedded (Yin, 2018), menggabungkan pengukuran OEE dan analisis Pareto secara kuantitatif dengan RCA secara kualitatif. Desain kasus tunggal sesuai digunakan ketika kasus bersifat menyimpang secara teoretis (theoretically deviant) — memberikan daya analitis maksimal untuk pengujian atau pengembangan teori.

Lokasi Penelitian

PT Andalan Fluid Sistem (PT AFS), Divisi Machining 1, Pasuruan, Jawa Timur, memproduksi komponen silinder hidrolik dengan sistem pesanan khusus (custom-order). Divisi ini mengoperasikan 17 mesin bubut dengan 26 operator pada dua shift harian.

Pemilihan Kasus: Justifikasi Teoretis

Mesin L60 dipilih melalui proses purposif berbasis kriteria, bukan pengambilan sampel acak. Dua kriteria diterapkan secara simultan pada seluruh 17 mesin: output produksi tertinggi (108 unit/bulan) dan availability terendah kedua (44,03%). Kombinasi keduanya pada satu mesin membentuk kasus ekstrem secara teoretis [9] — mesin yang paling diandalkan sistem produksi justru paling terkendala waktu tidak produktif.

Pengumpulan Data

Data primer dikumpulkan selama satu bulan (Oktober 2025) melalui: (a) dokumentasi log aktivitas sistematis di seluruh 46 hari-shift, diverifikasi silang dengan catatan Work Order (WO) dari departemen PPIC; dan (b) wawancara terstruktur dengan PPIC Leader dan

supervisor shift produksi untuk memvalidasi data operasional dan menangkap konteks yang tidak tercakup dalam catatan formal. Peran penulis pertama sebagai operator mesin di divisi tersebut memungkinkan akses langsung dan berkelanjutan terhadap status mesin secara real-time, sehingga mengurangi bias recall retrospektif yang umum terjadi pada studi waktu di lantai produksi.

Kerangka Analisis

Analisis dilakukan dalam empat tahap berurutan. OEE dihitung mengikuti formula Nakajima: OEE = Availability × Performance × Quality, dengan Availability = Operating Time / Loading Time, Performance = (ICT × Output) / Operating Time, dan Quality = Unit Baik / Total Unit. Waktu NVA kemudian diuraikan, dipetakan ke taksonomi Six Big Losses, dan diperingkat melalui analisis Pareto. RCA diterapkan pada setiap kategori NVA prioritas menggunakan diagram Fishbone 5M+1E dilanjutkan analisis 5-Why iteratif. Terakhir, analisis sensitivitas berbasis skenario dilakukan untuk mengukur dampak OEE yang diharapkan dari intervensi yang diusulkan, dengan asumsi reduksi yang berpatokan pada tolok ukur implementasi yang telah dipublikasikan (lihat Bagian 3.6).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isu Utama Penelitian

Isu utama yang mendasari penelitian ini adalah paradoks ketergantungan-vs-keterkendalaan pada manufaktur padat aset: mesin dengan output tertinggi dalam sebuah divisi produksi kerap justru menjadi mesin dengan waktu tidak produktif terbesar, sementara literatur OEE arus utama masih cenderung mengaitkan rendahnya efektivitas mesin dengan faktor teknis — kerusakan, keausan, atau kelemahan operator (Ljungberg, 1998; Muchiri & Pintelon, 2008; Nakajima, 1988; Tsarouhas, 2019). Pada konteks manufaktur komponen berbasis pesanan khusus (job order) seperti industri hidrolik-silinder, di mana volume produksi sangat bergantung pada fluktuasi permintaan pelanggan, asumsi dominasi teknis tersebut berpotensi menyesatkan arah intervensi manajemen jika tidak diuji secara empiris.

Kesenjangan (Gap) Penelitian yang Dijawab

Terdapat dua kesenjangan utama yang coba dijawab penelitian ini. Pertama, integrasi OEE dan RCA masih kurang terwakili pada konteks manufaktur komponen di negara berkembang, khususnya pada sektor low-volume, high-variety seperti komponen hidrolik-silinder yang hampir tidak mendapat perhatian sistematis dalam kajian OEE di Indonesia (Costa et al., 2024; Wijesinghe & Illankoon, 2024). Kedua, belum ada studi yang secara kuantitatif mengukur kontribusi program perbaikan manajerial (non-modal) — dibandingkan investasi peralatan — terhadap pemulihan nilai OEE pada sektor tersebut. Penelitian ini menjawab kedua kesenjangan itu melalui studi kasus tunggal yang embedded pada data tingkat divisi, sehingga temuan pada mesin fokus dapat dikontekstualisasikan terhadap kondisi sistemik di seluruh divisi.

Hasil Utama Penelitian sebagai Jawaban atas Gap

Kondisi tingkat divisi. Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 5.681,55 jam total loading time pada 17 mesin, 2.344,10 jam (41,26%) merupakan waktu non-value-added, dan tidak satu pun mesin mencapai ambang availability kelas dunia 90%.

Tabel 1. Kinerja Availability Mesin Bubut Divisi Machining 1

No	Mesin	LT (jam)	NVA (jam)	OT (jam)	Output (unit)	*Avail.* (%)	Status
1	L60	423,20	236,85	186,35	108	44,03	Kritis
2	L62	263,60	134,90	128,70	27	48,82	Kritis
3	L63	422,70	256,75	165,95	32	39,26	Kritis
4	L93	448,20	234,45	213,75	33	47,69	Kritis
5	L96	68,70	42,15	26,55	8	38,65	Kritis
6	L99	353,80	173,40	180,40	1	50,99	Kritis
Total	**17 mesin**	**5.681,55**	**2.344,10**	**3.337,45**	**254**	**57,43* rata-rata**	**6 kritis**

**Tabel menampilkan 6 mesin berstatus Kritis; baris Total merupakan agregat 17 mesin. LT = Loading Time, NVA = Non-Value-Added time, OT = Operating Time. Sumber: observasi primer, Divisi Machining 1 PT AFS, Oktober 2025.*

Profil OEE Mesin L60. Sebagai jawaban atas tujuan pertama penelitian, Tabel 2 menunjukkan OEE Mesin L60 sebesar 19,20%, jauh di bawah standar kelas dunia 85%.

Tabel 2. Kinerja OEE Mesin L60

Komponen OEE	Formula	Nilai Terhitung	Standar Kelas Dunia [1]	Selisih
Availability Rate	OT / LT	44,03%	≥ 90%	−45,97 pp
Performance Rate	(ICT × Q) / OT	43,60%	≥ 95%	−51,40 pp
Quality Rate	GP / Q	100,00%	≥ 99%	+1,00 pp
OEE	A × P × Q	**19,20%**	≥ 85%	−65,80 pp

Prioritas Pareto. Sebagai jawaban atas tujuan kedua, Tabel 3 memperlihatkan tiga kategori NVA yang mendominasi 236,85 jam waktu tidak produktif Mesin L60.

Tabel 3. Komposisi NVA dan Prioritas Pareto Mesin L60

Peringkat	Kategori NVA	Durasi (jam)	% NVA	Kumulatif %	Pemetaan *Six Big Losses*	Komponen OEE Terdampak
1	*No Job*	180,10	76,04%	76,04%	*Idling & Minor Stoppages*	*Availability*
2	*Hoist Waiting & Other*	48,65	20,54%	96,58%	*Idling & Minor Stoppages*	*Availability*
3	TBM / Gangguan Mesin	8,10	3,42%	100,00%	*Equipment Failure*	*Availability*
—	*Reduced Speed* (OT − NOT)*	105,10	—	—	*Reduced Speed Losses*	*Performance*

**Reduced Speed (105,10 jam) merupakan selisih antara Operating Time (186,35 jam) dan Net Operating Time (81,25 jam); terjadi di dalam jam operasi, sehingga tidak termasuk dalam angka NVA, namun menjadi penyebab langsung tertekannya Performance Rate.*

Akar penyebab (RCA). Sebagai jawaban atas tujuan ketiga, Tabel 4 merangkum hasil analisis *5-Why* untuk tiga kategori NVA prioritas.

Tabel 4. Ringkasan Analisis 5-Why untuk Kategori NVA Prioritas

Kategori	Level	Pertanyaan	Temuan
***No Job* (180,10 jam; 76,04% NVA)**	Why 1	Mengapa L60 menganggur?	Tidak ada *Work Order* (WO) yang tersedia untuk diproses.

Kategori	Level	Pertanyaan	Temuan
	Why 2	Mengapa WO tidak tersedia?	PPIC menerbitkan WO secara reaktif — hanya saat pesanan pelanggan terkonfirmasi masuk ke sistem.
	Why 3	Mengapa penerbitan WO bersifat reaktif?	Tidak ada kebijakan *minimum-WIP* per mesin aktif; belum ada mekanisme koordinasi Sales–PPIC formal untuk menjaga kontinuitas WIP saat pesanan pelanggan menurun.
	Why 4	Mengapa tidak ada mekanisme buffer WIP?	Kinerja Sales belum konsisten menjaga aliran pesanan; WIP sepenuhnya bergantung pada permintaan pelanggan yang fluktuatif tanpa instrumen *demand-smoothing*.
	Akar Penyebab	Mengapa tidak ada sistem buffer WIP proaktif?	Belum adanya sistem perencanaan produksi berbasis kapasitas dengan aliran informasi *real-time* antara lantai produksi dan PPIC; belum ada KPI minimum-WIP yang terkait kapasitas mesin serta forum koordinasi Sales–PPIC yang terstruktur.
***Hoist Waiting & Other* (48,65 jam; 20,54% NVA)**	Why 1	Mengapa L60 menunggu hoist?	*Overhead hoist* — dipakai bersama seluruh mesin di area — sedang digunakan mesin lain.
	Why 2	Mengapa terjadi perebutan penggunaan?	Satu hoist melayani 17 mesin tanpa penjadwalan slot waktu atau protokol prioritas.
	Why 3	Mengapa belum ada sistem penjadwalan?	Penggunaan hoist dianggap insidental; waktu tunggunya belum pernah diukur atau diklasifikasikan sebagai kategori kerugian.
	Akar Penyebab	Mengapa waktu tunggu hoist tidak terukur dan tidak dikelola?	Pencatatan aktivitas operator tidak memisahkan *Hoist Waiting* sebagai kategori NVA tersendiri, sehingga tidak terlihat dalam pelaporan kinerja produksi dan tidak mendapat perhatian manajemen.
TBM / Gangguan Mesin (8,10 jam; 3,42% NVA)	Why 1	Mengapa L60 mengalami gangguan teknis?	Sebuah komponen gagal dan menghentikan produksi.
	Why 2	Mengapa kegagalan terjadi?	Belum ada jadwal *preventive maintenance*; pemeliharaan bersifat murni korektif.
	Why 3	Mengapa pemeliharaan bersifat reaktif?	Belum ada log kerusakan yang terstandardisasi; data MTBF dan MTTR tidak tersedia.
	Akar Penyebab	Mengapa log kerusakan tidak dijaga?	Belum adanya sistem pencatatan kondisi mesin yang terstandardisasi dan program *Autonomous Maintenance*; pola kegagalan tidak pernah dianalisis dan tidak dapat menjadi dasar penjadwalan prediktif.

Analisis Hasil Utama Berdasarkan Teori

Profil OEE pada Tabel 2 memiliki makna teoretis melampaui angkanya semata. *Quality Rate* 100% merupakan pernyataan empiris tentang kapabilitas proses permesinan itu sendiri: L60 selalu menghasilkan output yang sesuai spesifikasi setiap kali beroperasi, sehingga tertekannya *Availability* (44,03%) dan *Performance* (43,60%) tidak dapat dikaitkan dengan

ketidakmampuan proses. Hal ini penting karena literatur OEE umumnya berkembang pada konteks di mana ketiga komponen tertekan secara simultan, yang mengimplikasikan bahwa mesin, proses, dan operasi semuanya memerlukan perbaikan (Dal et al., 2000; Muchiri & Pintelon, 2008; Tsarouhas, 2019). Profil di mana hanya *Quality* yang berada di level kelas dunia menandakan sesuatu yang berbeda: mesin sesungguhnya kapabel, namun ada sesuatu yang secara sistematis mencegahnya untuk dimuati pekerjaan dan berjalan pada kecepatan optimal.

Dianalisis melalui kerangka *Six Big Losses*, *Quality* yang sempurna menyingkirkan *Defect Losses* sebagai kandidat penyebab. *Performance Rate* 43,60% — terhadap standar ICT saat mesin berjalan — berarti L60 beroperasi pada kurang dari separuh throughput teoretisnya, mengindikasikan *Reduced Speed Loss*. Kerugian dominan tetap berasal dari *Availability*: 236,85 dari 423,20 jam (55,97%) merupakan *downtime* non-produktif, mengarah pada dua kategori kandidat — *Equipment Failure* (kerusakan) atau *Idling and Minor Stoppages* (menunggu). Perbedaan ini memiliki implikasi intervensi yang berbeda: *Equipment Failure* menuntut respons dari sistem pemeliharaan, sementara *Idling* menuntut respons dari sisi perencanaan produksi. Distribusi Pareto pada Tabel 3 menyelesaikan ambiguitas diagnostik ini — TBM/Gangguan Mesin hanya menyumbang 3,42% dari total NVA, sehingga eliminasi seluruh kerusakan hanya akan mengangkat OEE secara marginal. Mayoritas kerugian justru terkonsentrasi pada dua kategori *Idling*: *No Job* (76,04%) dan *Hoist Waiting* (20,54%), yang dalam taksonomi *Six Big Losses* bersumber dari kondisi rantai pasok dan koordinasi eksternal, bukan dari mesin itu sendiri. Temuan ini mengonfirmasi apa yang telah disinyalkan secara analitis oleh *Quality Rate*: sumber inefisiensi bukan pada mesin, melainkan pada sistem manajemen produksi yang mengatur pemuatan pekerjaannya.

Hasil Wawancara yang Memperkuat Temuan

Wawancara terstruktur dengan PPIC Leader dan supervisor shift produksi memperkuat pola yang teridentifikasi dari data log aktivitas. Kedua informan memvalidasi bahwa penerbitan *Work Order* memang bersifat reaktif WO baru diterbitkan setelah pesanan pelanggan terkonfirmasi, tanpa buffer WIP yang menjaga kesinambungan pekerjaan pada mesin saat volume pesanan menurun. Konfirmasi lapangan ini juga menegaskan bahwa penggunaan *hoist* memang tidak pernah diperlakukan sebagai kategori waktu tunggu yang terpisah dalam pelaporan operasional sehari-hari, sehingga selama ini luput dari perhatian manajemen meskipun kontribusinya terhadap NVA cukup besar (20,54%). Validasi dari kedua informan lapangan ini memastikan bahwa akar penyebab yang dirumuskan melalui analisis *5-Why* bukan sekadar interpretasi dari data historis, melainkan konsisten dengan pengalaman operasional aktual di lantai produksi.

Kesesuaian dengan Penelitian Terdahulu

Temuan bahwa akar penyebab *No Job* — kontributor terbesar kerugian OEE — bersumber dari kesenjangan koordinasi perencanaan produksi, bukan masalah mesin, sejalan dengan (Costa et al., 2024), yang menemukan inefisiensi aliran informasi antara perencanaan dan operasi sebagai penggerak utama waktu menganggur, serta dengan Muchiri dan Pintelon, yang berargumen bahwa kerugian *availability* lebih sering didorong oleh keterbatasan manajerial ketimbang teknis. Solusi untuk *Hoist Waiting* — penjadwalan berbasis prioritas yang selaras dengan urgensi WO — juga sejalan dengan pendekatan optimasi penjadwalan hoist yang didemonstrasikan (Chen et al., 2024) pada lini produksi *electroplating*. Secara

keseluruhan, ketiga rantai RCA dalam penelitian ini konvergen pada satu kesimpulan yang sejalan dengan argumen (Ito et al., 2022) bahwa sistem produksi yang tangguh membutuhkan RCA yang mampu mengidentifikasi penyebab manajerial — bukan sekadar teknis — serta dengan temuan (Muchiri & Pintelon, 2008) dan (Wijesinghe & Illankoon, 2024), yang menemukan bahwa intervensi manajerial dan sistem informasi menjadi pengungkit utama perbaikan OEE di fasilitas manufaktur riil.

Temuan Lain yang Perlu Perhatian untuk Implementasi dan Pengembangan

Di luar temuan utama, lima rekomendasi (P1–P5) dirumuskan pada level divisi (Tabel 5), dan analisis sensitivitas skenario (Tabel 6) menunjukkan besaran potensi pemulihan OEE.

Tabel 5. Rekomendasi Perbaikan Prioritas

Rekomendasi	Intervensi	Target NVA (Divisi)	Mekanisme	Prioritas	Horizon Implementasi
P1	Perencanaan WO berbasis kapasitas + aliran informasi *real-time* PPIC–lantai produksi	*No Job* (949,10 jam; 67,2%)	Forum koordinasi Sales–PPIC; KPI minimum-WIP per mesin; papan status digital	Utama	0–6 bulan
P2	*Autonomous Maintenance* + *Preventive Maintenance* berbasis data [17]	TBM/Gangguan (154,70 jam; 10,9%)	Checklist harian operator; log kerusakan; jadwal PM dari analisis MTBF	Sekunder	3–9 bulan
P3	Standardisasi deskripsi kerja + matriks kompetensi multi-skill	Idle lainnya (229,20 jam; 16,2%)	SOP tertulis; daftar tugas saat idle; cakupan lintas mesin	Sekunder	0–3 bulan
P4	Penjadwalan hoist berbasis prioritas [15], [16]	*Hoist Waiting* (117,55 jam; 8,3%)	Jadwal slot waktu; koordinator shift; pelaporan kerugian hoist	Tersier	0–3 bulan
P5	Standardisasi dan reduksi setup berbasis SMED [20]	Setup/lainnya (208,15 jam; 14,7%)	Klasifikasi setup internal/eksternal; SOP persiapan shift	Tersier	3–12 bulan

Tabel 6. Analisis Sensitivitas Skenario Perbaikan OEE

Skenario	Asumsi Kunci	Reduksi NVA	DT (jam)	OT (jam)	*Avail.*	*Perf.**	OEE
Baseline	Observasi	Tidak ada	236,85	186,35	44,03%	43,60%	19,20%
Konservatif	P1: *No Job* −20% [	36,02 jam	200,83	222,37	52,54%	43,60%	22,91%
Moderat	P1+P2+P4: *No Job* −40%, TBM −40%, Hoist −50%	99,62 jam	137,24	285,96	67,57%	50,00%	33,79%
Optimistis	P1–P5: *No Job* −60%, TBM −70%, Hoist −70%	147,80 jam	89,06	334,14	78,95%	60,00%	47,37%
Kelas Dunia	OEE ≥ 85%	≤ 46,55 jam	≤ 46,55	≥ 376,65	≥ 90%	≥ 95%	≥ 85%

**Perbaikan Performance Rate pada skenario Moderat dan Optimistis mencerminkan hasil terdokumentasi dari Autonomous Maintenance dan standardisasi SOP terhadap throughput*

operator (Ahuja & Khamba, 2008; Atikno & Purba, 2021). *Angka merupakan titik tengah skenario, bukan prediksi tunggal.*

Tabel 6 menunjukkan bahwa P1 saja — tanpa memerlukan investasi modal — mengangkat OEE dari 19,20% menjadi 22,91%, setara estimasi kenaikan output 44% hanya melalui koordinasi perencanaan. Skenario moderat (33,79%) hampir menggandakan OEE baseline melalui tiga intervensi non-modal, meskipun kesenjangan menuju kelas dunia (85%) menunjukkan bahwa pencapaian ambang tersebut memerlukan investasi jangka panjang pada kematangan peramalan permintaan dan infrastruktur data (Sinche et al., 2025). Rentang sensitivitas (19,20–47,37%) menegaskan bahwa hasil bergantung terutama pada fidelitas implementasi, bukan ketersediaan modal — sebuah temuan yang perlu menjadi perhatian manajemen dalam menentukan prioritas anggaran perbaikan.

Orisinalitas, Novelty, dan Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga hal. Pertama, penelitian ini menghadirkan bukti empiris bahwa pada konteks manufaktur komponen berbasis pesanan khusus (*job order*, LMHV) — sektor yang hampir tidak mendapat perhatian sistematis dalam kajian OEE Indonesia — kerugian OEE dapat sepenuhnya bersumber dari kesenjangan manajerial meski kapabilitas proses (Quality) berada pada level sempurna, sebuah profil yang jarang dilaporkan secara eksplisit dalam literatur OEE-TPM yang umumnya berfokus pada kerugian teknis simultan. Kedua, penelitian ini menawarkan kontribusi metodologis berupa desain kasus tunggal *embedded* yang mengaitkan temuan pada satu mesin fokus dengan pola sistemik di seluruh divisi (17 mesin), sehingga validitas eksternal temuan RCA lebih terjaga dibanding studi kasus tunggal konvensional. Ketiga, analisis sensitivitas berbasis skenario yang berpatokan pada tolok ukur implementasi terpublikasi memberikan model proyeksi pemulihan OEE yang dapat direplikasi pada divisi atau pabrik sejenis tanpa memerlukan data historis implementasi internal — sebuah kontribusi praktis yang melampaui sekadar pelaporan diagnosis OEE-RCA yang umum ditemukan dalam studi kasus tunggal sebelumnya (Costa et al., 2024; Ilham et al., 2026).

KESIMPULAN

Analisis OEE-RCA terintegrasi menunjukkan bahwa rendahnya OEE Mesin L60 (19,20%) tidak bersumber dari kegagalan peralatan, melainkan dari kelemahan sistem manajemen produksi, mengingat Quality tetap berada di level 100% sementara Availability dan Performance tertekan kritis. Temuan ini, yang dikonfirmasi di seluruh 17 mesin dalam divisi, menantang asumsi dominasi teknis yang umum dalam literatur OEE-TPM dan menunjukkan bahwa pada manufaktur low-volume, high-variety, kegagalan perencanaan dan koordinasi dapat melampaui kerugian teknis sebagai sumber inefisiensi. Analisis skenario menunjukkan bahwa perbaikan koordinasi perencanaan saja berpotensi mengangkat OEE hingga 22,91–33,79% tanpa investasi modal. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memvalidasi proyeksi ini melalui studi pre-post implementasi dan memperluas analisis ke mesin-mesin lain dalam divisi.

REFERENSI

Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *25*(7), 709–756.

Atikno, W., & Purba, H. H. (2021). Literature review OEE di industri. *Journal of Industrial Engineering System*, *2*(1), 29–39.

Chen, X., Yang, B., Pang, Z., Zhou, P., & Fu, G. (2024). Coupled optimization of task sequence and hoist scheduling for electroplating production lines based on an improved salp swarm algorithm. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *53*, 34–47.

Costa, B., Varejão, J., & Gaspar, P. D. (2024). Development of a value stream map to optimize the production process in a luxury metal piece manufacturing company. *Processes*, *12*(8), 1612.

Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement – a practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, *20*(12), 1488–1502.

De Fretes, R. (2022). Analisis penyebab kerusakan transformator menggunakan metode RCA (Fishbone diagram and 5-why analysis). *ARIKA*, *16*(2), 117–124.

de Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2006). OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research*, *44*(23), 4987–5003.

Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q., Razzak, M. A., Bodhale, R., & Robinson, D. E. (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research*, *41*(3), 513–527.

Ilham, M. M., Wulandari, I. A. S., Marodiyah, I., & Cahyana, A. S. (2026). Evaluating game machine performance using OEE and root cause analysis. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3337, Issue 1).

Ishikawa, K. (1986). *Guide to Quality Control*. Asian Productivity Organization.

Ito, A., Hagström, M., Bokrantz, J., Skoogh, A., Nawcki, M., Gandhi, K., Bergsjö, D., & Bärring, M. (2022). Improved root cause analysis supporting resilient production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, *64*, 468–478.

Ljungberg, Ö. (1998). Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. *International Journal of Operations & Production Management*, *18*(5), 495–507.

Moso, M., & Olanrewaju, O. A. (2024). An application of lean techniques to construct an integrated management systems preventive action model and evaluation: Kaizen projects. *Processes*, *12*(6), 1069.

Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Economics*, *112*(1), 351–361.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

Sinche, J. J. M., Uzuriaga, N. R. S., & Falcon, P. C. G. (2025). Integrated TPM, machine learning, and layout planning model for efficiency improvement in melamine refining. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*.

Tsarouhas, P. (2019). Overall equipment effectiveness (OEE) evaluation for an automated ice cream production line. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *68*(1), 140–160.

Wijesinghe, P. B., & Illankoon, P. (2024). Improving the waste to energy supply chain through increased overall equipment effectiveness. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, *17*(2), 271–299.

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6th ed.). Sage Publications.