



Optimalisasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode CPM (*Critical Path Method*) dan *Resource Leveling* di PT XYZ

Rifqi Azwar Annas^{1*}, Ade Ima Afifa Himayati², Nunung Agus Firmansyah³

^{1,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kudus, Indonesia

²Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kudus, Indonesia

Email: rifqiazwarannas@gmail.com¹, 42022080001@std.umku.ac.id², nunungagus@umkudus.ac.id³

*Penulis Korespondensi: rifqiazwarannas@gmail.com

Abstract. *The imbalance in operator allocation and the potential for production delays in the PM11 Emboss Machine manufacturing process at PT XYZ indicate the need for a systematic and efficient scheduling approach. Ineffective scheduling may result in workload fluctuations, uneven resource utilization, and reduced operational performance. This study aims to identify the critical production path using the Critical Path Method (CPM) and balance operator allocation through Resource Leveling. The research used production planning data consisting of 126 operations grouped into six activities. CPM analysis was conducted using POM-QM for Windows to determine the critical path and project duration, while Resource Leveling was performed using Microsoft Project to optimize operator allocation. The results showed that the optimal project duration was 139.66 hours, with the critical path consisting of Frame 1+2+Support Frame and Assy MS Emboss activities. After implementing Resource Leveling, the maximum operator requirement decreased from 17 to 10 operators, the Coefficient of Variation (CV) decreased from 58.35% to 39.10%, and the Standard Deviation decreased from 4.96 to 2.67 without extending project duration. These findings demonstrate that the integration of CPM and Resource Leveling improves scheduling efficiency and supports balanced workload distribution in the PM11 Emboss Machine production process at PT XYZ.*

Keywords: Allocation; CPM; Operator; Production Scheduling; Resource Leveling.

Abstrak. Ketidakseimbangan alokasi operator dan potensi keterlambatan produksi pada proses pembuatan Mesin Emboss PM11 di PT XYZ menunjukkan perlunya penerapan metode penjadwalan yang sistematis dan efisien. Penjadwalan yang kurang optimal dapat menyebabkan terjadinya fluktuasi beban kerja, pemanfaatan sumber daya yang tidak merata, serta penurunan kinerja operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jalur kritis produksi menggunakan *Critical Path Method* (CPM) dan menyeimbangkan alokasi operator melalui *Resource Leveling*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data perencanaan produksi yang terdiri atas 126 operasi pengerjaan yang dikelompokkan ke dalam enam aktivitas. analisis CPM dilakukan menggunakan perangkat lunak POM-QM for Windows untuk menentukan jalur kritis dan durasi proyek, sedangkan *Resource Leveling* dilakukan menggunakan Microsoft Project untuk meratakan distribusi kebutuhan operator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi optimal proyek adalah 139,66 jam dengan jalur kritis yang terdiri atas aktivitas *Frame 1+2+Support Frame* dan *Assy MS Emboss*. Setelah penerapan *Resource Leveling*, kebutuhan operator maksimum berkurang dari 17 menjadi 10 orang, nilai Koefisien Variasi (CV) menurun dari 58,35% menjadi 39,10%, dan Standar Deviasi berkurang dari 4,96 menjadi 2,67 tanpa memperpanjang durasi proyek. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi CPM dan *Resource Leveling* efektif meningkatkan efisiensi penjadwalan serta menghasilkan distribusi beban kerja yang lebih seimbang pada proses produksi Mesin Emboss PM11 di PT XYZ.

Kata kunci: Alokasi; CPM; Operator; Penjadwalan Produksi; *Resource Leveling*.

1. LATAR BELAKANG

Persaingan industri manufaktur yang semakin ketat mendorong perusahaan untuk meningkatkan efisiensi pada berbagai aspek operasional, salah satunya melalui penyusunan jadwal produksi yang tepat. Penjadwalan produksi berperan penting dalam menentukan kelancaran aliran proses, pemanfaatan sumber daya, serta kemampuan perusahaan dalam memenuhi target penyelesaian pesanan sesuai waktu yang telah ditetapkan (Prasisti & Nugroho, 2023). PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur fabrikasi mesin industri, menghadapi permasalahan serupa pada proyek pembuatan Mesin Emboss PM11.

Proses pembuatan Mesin *Emboss* PM11 melibatkan alur operasi yang kompleks dengan variasi durasi dan kebutuhan operator yang signifikan antar komponen. Komponen *Frame 1 Emboss*, misalnya, melewati alur pengerjaan panjang mulai dari proses pemotongan hingga *Milling* dengan waktu operasi yang bervariasi antara 0,25 hingga 3,5 jam per operasi. Tanpa penjadwalan yang terintegrasi, perebutan sumber daya mesin antar komponen rentan menciptakan *bottleneck* yang menghambat keseluruhan perakitan.

Data perencanaan menunjukkan variasi kebutuhan tenaga kerja yang signifikan: proses Potong BRD1 mewajibkan kehadiran 2 operator sekaligus, sedangkan proses lanjutan seperti Mesin Bubut hanya memerlukan 1 operator. Pola alokasi yang fluktuatif ini tidak hanya mengurangi produktivitas tetapi juga berpotensi menyebabkan kelelahan fisik akibat *overallocation*. Penanganan material berat seperti IWF Besi (tebal 7 mm, panjang 12.000 mm) untuk *Frame* memperparah risiko cedera *musculoskeletal* apabila ritme kerja tidak terencana dengan baik (Manota Simanjuntak & Ardia Sari, 2024).

Critical Path Method (CPM) terbukti efektif untuk mengidentifikasi jalur kritis dan mengatur prioritas pekerjaan pada industri manufaktur fabrikasi (Sebayang & Sondakh, 2023). Penggunaan CPM dalam proyek fabrikasi juga terbukti mampu menekan keterlambatan pekerjaan secara signifikan (Islamiyah & Purnama, 2024). Namun, CPM saja belum cukup apabila distribusi sumber daya masih tidak seimbang. Oleh karena itu, *Resource Leveling* menjadi penting untuk meratakan alokasi operator dan menghindari lonjakan penggunaan sumber daya (Puspitorini & Bayu Adhi, 2024)

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistematis antara CPM dan *Resource Leveling* dengan mempertimbangkan alokasi operator secara kuantitatif, menggunakan POM-QM untuk analisis jaringan kerja dan Microsoft Project untuk implementasi perataan sumber daya. Pendekatan ini memungkinkan pengolahan data produksi yang lebih presisi dan menghasilkan jadwal produksi yang dinamis dan aplikatif. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jalur kritis produksi Mesin *Emboss* PM11 dan meratakan distribusi alokasi operator tanpa memperpanjang durasi proyek.

2. KAJIAN TEORITIS

Penjadwalan Produksi

Penjadwalan produksi adalah proses menetapkan urutan dan waktu pelaksanaan aktivitas produksi serta alokasi sumber daya agar tiap tahap dapat dilakukan secara efisien dan tanpa konflik-konflik (Lilis Setyowati & Untung Lasiyono, 2024). Pada produksi berbasis pesanan (*make to order*), pendekatan manajemen proyek diperlukan untuk memetakan

ketergantungan antar aktivitas, mengidentifikasi kegiatan kritis, dan mengatur alokasi sumber daya agar penyelesaian produksi tepat waktu (Wahyudin et al., 2025). Dengan penerapan manajemen produksi yang baik, perusahaan mampu meminimalkan pemborosan dan memenuhi target kualitas sesuai permintaan pasar (Fariham Masula et al., 2024).

Critical Path Method (CPM)

Critical Path Method (CPM) merupakan metode penjadwalan proyek untuk mengidentifikasi rangkaian aktivitas paling kritis yang menentukan durasi total penyelesaian. Jalur kritis adalah urutan aktivitas dengan total durasi terpanjang dan nilai *slack* = 0, sehingga keterlambatan pada satu aktivitas kritis akan berdampak langsung pada keseluruhan proyek (Gultom et al., 2025).

CPM umumnya diterapkan pada proyek manufaktur yang memiliki durasi aktivitas relatif pasti dan alur kerja yang stabil sehingga efektif sebagai alat perencanaan dan pengendalian jadwal produksi (Dadang Rizaldi & Singgih, 2024). Identifikasi jalur kritis tidak hanya berfungsi untuk menentukan durasi proyek, tetapi juga membantu proses pengendalian waktu sehingga potensi keterlambatan dapat dideteksi lebih awal (Prasisko & Jumali, 2026).

Resource Leveling (Perataan Sumber Daya)

Resource Leveling adalah teknik penjadwalan tambahan yang bertujuan mendistribusikan penggunaan sumber daya secara merata sepanjang periode proyek, terutama saat terjadi keterbatasan sumber daya atau alokasi operator yang fluktuatif (Wawey et al., 2023). Teknik ini menyesuaikan jadwal aktivitas non-kritis dengan memanfaatkan *slack* yang ada, tanpa menambah jumlah sumber daya atau memperpanjang durasi total proyek. Penerapannya memberikan manfaat berupa stabilitas alokasi sumber daya, pencegahan *over utilisasi*, serta pengurangan risiko kelelahan pada pekerja (Minarosi et al., 2023). *Resource Leveling* juga terbukti mampu menstabilkan distribusi tenaga kerja antar periode kerja tanpa menambah sumber daya, sehingga meningkatkan keteraturan jadwal dan kenyamanan kerja (Puspitorini & Bayu Adhi, 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif analitis, dilaksanakan di PT XYZ pada proyek pembuatan Mesin *Emboss* PM11. Populasi penelitian adalah seluruh 126 operasi pengerjaan yang mencakup 14 komponen utama, dan teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *sampling* jenuh (seluruh populasi digunakan sebagai sampel) untuk menjamin akurasi identifikasi jalur kritis dan validitas *Resource Leveling*.

Tahapan penelitian meliputi: (1) pengumpulan data primer berupa daftar aktivitas, durasi, *predecessor*, dan kebutuhan operator dari dokumen PPIC. (2) pemodelan jaringan kerja menggunakan *software* POM-QM dengan metode *Activity on Node* (AON). (3) penyusunan histogram sumber daya awal berdasarkan nilai ES dan EF. (4) penerapan *Resource Leveling* menggunakan *Microsoft Project*; dan (5) evaluasi statistik dengan parameter σ dan CV. Penggunaan perangkat lunak POM-QM terbukti presisi dalam mengidentifikasi jalur kritis dan nilai *slack* untuk proyek dengan kompleksitas tinggi (Wicaksono & Safirin, 2025).

Analisis CPM (Forward Pass, Backward Pass, dan Slack)

Perhitungan CPM dilakukan melalui dua tahap. Pertama, *forward pass* untuk menentukan waktu paling awal aktivitas dapat dimulai (*Earliest Start/ES*) dan diselesaikan (*Earliest Finish/EF*). Kedua, *backward pass* untuk menghitung waktu paling akhir aktivitas dapat dimulai (*Latest Start/LS*) dan diselesaikan (*Latest Finish/LF*) tanpa menyebabkan keterlambatan proyek (Gultom et al., 2025). Rumus yang digunakan adalah:

Perhitungan *Forward Pass* dilakukan untuk menentukan nilai *Earliest Start* (ES) dan *Earliest Finish* (EF) menggunakan persamaan berikut (Gultom et al., 2025):

$$EF = ES + t \dots\dots\dots (i)$$

EF = *Earliest Finish*,

ES = *Earliest Start*,

t = durasi aktivitas.

Perhitungan *Backward Pass* digunakan untuk memperoleh nilai *Latest Start* (LS) dan *Latest Finish* (LF) dengan persamaan (Gultom et al., 2025):

$$LS = LF - t \dots\dots\dots (ii)$$

Nilai kelonggaran waktu (*slack*) dihitung menggunakan persamaan (Gultom et al., 2025):

$$S = LS - ES \text{ atau } S = LF - EF \dots\dots\dots (iii)$$

Aktivitas dengan nilai *slack* sama dengan nol dikategorikan sebagai aktivitas kritis yang memerlukan perhatian khusus karena keterlambatan pada aktivitas tersebut akan memengaruhi durasi total proyek (Rizaldi & Singgih, 2024).

Penerapan Resource Leveling dan Evaluasi Statistik

Penyesuaian jadwal aktivitas non-kritis dilakukan dalam batas: $ES_i \leq S'_i \leq LS_i$, agar tidak mempengaruhi jalur kritis. Keberhasilan *Resource Leveling* dievaluasi menggunakan Standar Deviasi (σ) dan Koefisien Variasi (CV). Nilai CV yang rendah menunjukkan distribusi alokasi operator yang lebih merata dan stabil (Santoso et al., 2025). Kondisi ketidakseimbangan

alokasi operator, baik *overallocation* maupun *underallocation*, sama-sama berdampak negatif terhadap efektivitas sistem produksi secara keseluruhan (Shabirin & Putra, 2026).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan dan Pengelompokan Data Produksi

Data produksi Mesin *Emboss* PM11 yang diperoleh dari bagian *Production Planning and Inventory Control* (PPIC) PT XYZ terdiri dari 126 operasi yang dikelompokkan menjadi 6 aktivitas CPM berdasarkan kesamaan pengerjaan komponen. Pengelompokan ini memungkinkan pengolahan data yang lebih efisien dalam analisis jaringan kerja. Tabel 1 menyajikan rekapitulasi data setelah pengelompokan.

Tabel 1. Rekapitulasi Komponen dan Durasi Aktivitas Mesin *Emboss* PM11.

ID	Aktivitas CPM	Komponen Gabungan	Durasi (Jam)	Operator
A	Struktur <i>Frame</i> Mesin	<i>Frame</i> 1 + <i>Frame</i> 2 + Support <i>Frame</i>	90,21	5
B	Sistem Shaft	Shaft <i>Emboss</i> + Shaft Penahan	15,33	5
C	Sistem Housing & Bronze	Housing Bronze + Bronze Support	19,77	3
D	Panel Kontrol	Box Panel + Assy Box Panel	11,97	4
E	Sistem Hidrolik & Elektrik	Hydraulic Cylinder + Elektrik	18,00	3
F	Final Assembly	Assy MS <i>Emboss</i> + Mur + Limit Switch	49,45	3
Total			204,73	—*

*Catatan:**Jumlah operator tidak diakumulasikan karena aktivitas bersifat sekuensial/paralel; kebutuhan tenaga kerja maksimal pada satu waktu adalah 5 operator.

Total durasi jika dikerjakan secara serial adalah 204,73 jam. Dengan penjadwalan paralel menggunakan CPM, durasi dapat dipersingkat secara signifikan. Aktivitas A (Struktur *Frame*) merupakan yang terpanjang dengan durasi 90,21 jam dan memerlukan koordinasi 5 operator secara berkesinambungan. Aktivitas F (Final Assembly) dengan durasi 49,45 jam hanya dapat dimulai setelah aktivitas A selesai karena bergantung pada ketersediaan struktur *Frame* sebagai rangka utama perakitan.

Analisis Jaringan Kerja dan Jalur Kritis (CPM)

Pengolahan data menggunakan *software* POM-QM dengan metode *Activity on Node* (AON) menghasilkan jaringan kerja yang menggambarkan ketergantungan antar aktivitas. Berdasarkan logika produksi, aktivitas B, C, D dapat dikerjakan secara paralel dengan aktivitas A sejak awal proyek karena tidak memiliki ketergantungan langsung. Aktivitas E bergantung pada C karena memerlukan komponen *Housing Bronze*. Aktivitas F (Final Assembly) bergantung pada A karena memerlukan kerangka utama yang sudah selesai sepenuhnya.

Tabel 2. Hasil Analisis CPM – Parameter Waktu dan Nilai *Slack*.

Aktivitas	Durasi (Jam)	ES	EF	LS	LF	Slack	Status
<i>Frame 1+2+Support</i>	90,21	0	90,21	0	90,21	0	KRITIS
<i>Shaft Emboss + Penahan</i>	15,33	0	15,33	56,88	72,21	56,88	Non-Kritis
<i>Housing Bronze + Bronze Support</i>	19,77	0	19,77	52,44	72,21	52,44	Non-Kritis
<i>Box Panel + Assy Box Panel</i>	11,97	0	11,97	60,24	72,21	60,24	Non-Kritis
<i>Hydraulic Cyl. + Elektrik</i>	18,00	19,77	37,77	72,21	90,21	52,44	Non-Kritis
<i>Assy MS Emboss + Mur + Limit Switch</i>	49,45	90,21	139,66	90,21	139,66	0	KRITIS

Hasil analisis CPM menunjukkan durasi optimal proyek sebesar 139,66 jam, lebih efisien 65,07 jam (31,78%) dibandingkan penjadwalan serial (204,73 jam). Jalur kritis terdiri dari dua aktivitas: (1) *Frame 1 + Frame 2 + Support Frame* dengan durasi 90,21 jam, dan (2) *Assy MS Emboss + Mur + Limit Switch* dengan durasi 49,45 jam. Kedua aktivitas ini memiliki nilai *slack* = 0, artinya tidak ada kelonggaran waktu sehingga setiap keterlambatan akan langsung berdampak pada keterlambatan keseluruhan proyek.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Saputro & Muhimatul Khoiroh, 2025) yang menyatakan bahwa metode CPM dapat mengidentifikasi aktivitas-aktivitas penentu durasi total proyek secara efektif. Sementara itu, empat aktivitas non-kritis (B, C, D, E) memiliki nilai *slack* yang cukup besar (52,44 – 60,24 jam), yang memberikan fleksibilitas penjadwalan yang dapat dimanfaatkan dalam proses *Resource Leveling* pada tahap selanjutnya.

Analisis Histogram Sumber Daya Awal (Sebelum Optimasi)

Berdasarkan nilai ES dan EF dari hasil CPM, disusun histogram sumber daya awal yang menggambarkan kebutuhan operator pada setiap periode waktu. Kapasitas maksimum operator yang tersedia di PT XYZ adalah 10 orang per periode.

Tabel 3. Distribusi Alokasi Operator Sebelum *Resource Leveling*.

Periode	Rentang Waktu (Jam)	Aktivitas yang Berjalan	Total Operator	Kapasitas	Status
1	0 – 11,97	<i>Frame 1+2+Support Frame</i> (5 orang) <i>Shaft Emboss + Penahan</i> (5 orang) <i>Housing Bronze + Bronze Support</i> (3 orang) <i>Box Panel + Assy Box Panel</i> (4 orang)	17	10	<i>overallocation</i>
2	11,97 – 19,77	<i>Frame 1+2+Support Frame</i> (5 orang) <i>Shaft Emboss + Penahan</i> (5 orang)	13	10	<i>overallocation</i>

<i>Housing Bronze + Bronze Support (3 orang)</i>					
3	19,77 – 37,77	<i>Frame 1+2+Support Frame + Hydraulic Cyl. + Elektrik</i>	8	10	Optimal
4	37,77 – 60,00	<i>Frame 1+2+Support Frame</i>	5	10	Optimal
5	60,00 – 90,21	<i>Frame 1+2+Support Frame</i>	5	10	Optimal
6	90,21 – 139,66	<i>Assy MS Emboss + Mur + Limit Switch</i>	3	10	Optimal

Histogram sumber daya awal mengidentifikasi kondisi *overallocation* yang cukup serius. Pada periode pertama (0 – 11,97 jam), kebutuhan operator mencapai 17 orang – melebihi kapasitas 10 orang sebesar 70%. Pada periode kedua (11,97 – 19,77 jam), kebutuhan operator masih mencapai 13 orang, melampaui kapasitas 30%. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kelelahan operator, penurunan produktivitas, dan peningkatan risiko kesalahan kerja (*human error*). Pada periode ketiga hingga keenam, kebutuhan operator berangsur menurun dan berada dalam batas kapasitas normal, namun fluktuasi yang tajam dari periode sebelumnya menunjukkan ketidakstabilan distribusi beban kerja.

Parameter statistik kondisi awal menunjukkan: total operator per periode adalah 17, 13, 8, 5, 5, 3 (total 51), rata-rata kebutuhan operator $\bar{x} = 8,50$ orang, Standar Deviasi $\sigma = 4,96$, dan Koefisien Variasi CV = 58,35%. Nilai CV yang melampaui 50% mengindikasikan distribusi alokasi operator yang sangat tidak stabil, menyulitkan perencanaan kebutuhan tenaga kerja harian.

Penerapan *Resource Leveling* dan Optimasi Alokasi Operator

Proses *Resource Leveling* dilakukan menggunakan Microsoft Project dengan memanfaatkan nilai *slack* pada aktivitas non-kritis. Aktivitas yang mengalami penyesuaian jadwal adalah: *Shaft Emboss + Shaft Penahan* (digeser sebagian ke dalam periode tersedia) *Housing Bronze + Bronze Support* (digeser ke periode 2) dan *Box Panel + Assy Box Panel* (digeser ke periode 2 dengan pengurangan alokasi di periode 1). Aktivitas kritis (*Frame* dan *Assy MS Emboss*) tidak digeser karena memiliki *slack* = 0.

Tabel 4. Distribusi Alokasi Operator Setelah *Resource Leveling*.

Periode	Rentang Waktu (Jam)	Aktivitas Berjalan	Total Operator	Kapasitas	Status
1	0 – 11,97	<i>Frame + Shaft</i> (digeser sebagian)	10	10	Optimal
2	11,97 – 19,77	<i>Frame + Housing + Box Panel</i> (digeser)	10	10	Optimal
3	19,77 – 37,77	<i>Frame + Hydraulic & Elektrik</i>	8	10	Optimal
4	37,77 – 60,00	<i>Frame 1+2+Support Frame</i>	5	10	Optimal
5	60,00 – 90,21	<i>Frame 1+2+Support Frame</i>	5	10	Optimal

6	90,21 – 139,66	Assy MS Emboss+Mur+Limit Switch	3	10	Optimal
---	----------------	---------------------------------------	---	----	---------

Setelah penerapan *Resource Leveling*, distribusi alokasi operator pada semua periode telah berada dalam batas kapasitas maksimum 10 orang. Kondisi *overallocation* yang sebelumnya terjadi pada periode 1 dan 2 berhasil dieliminasi sepenuhnya. Parameter statistik pasca-leveling: total operator per periode adalah 10, 10, 8, 5, 5, 3 (total 41), rata-rata kebutuhan operator $\bar{x}$ = 6,83 orang, Standar Deviasi σ = 2,67, dan Koefisien Variasi CV = 39,10%.

Perbandingan Statistik dan Evaluasi Keberhasilan Optimasi

Untuk memberikan validitas terhadap hasil optimasi, dilakukan perbandingan parameter statistik secara komprehensif antara kondisi sebelum dan sesudah *Resource Leveling*.

Tabel 5. Rekapitulasi Perbandingan Statistik Optimasi.

Indikator Statistik	Kondisi Awal	Setelah <i>Resource Leveling</i>	Perubahan
Durasi Proyek	204,73 Jam	139,66 Jam	Turun (31,78%)
Operator Maksimum	17 Orang	10 Orang	Turun 41,2%
Rata-rata Operator ($\bar{x}$)	8,50 Orang	6,83 Orang	Turun 19,6%
Standar Deviasi (σ)	4,96	2,67	Turun 46,2%
Koefisien Variasi (CV)	58,35%	39,10%	Turun 19,25 poin

Tabel 5 menunjukkan bahwa durasi proyek turun jadi 139,66 jam, terjadi transformasi signifikan pada profil alokasi operator. Penurunan operator maksimum dari 17 menjadi 10 orang (41,2%) membuktikan bahwa penumpukan alokasi pada periode awal berhasil didistribusikan ke periode lain yang memiliki kelonggaran waktu. Penurunan standar deviasi sebesar 46,2% (dari 4,96 menjadi 2,67) menunjukkan berkurangnya variasi alokasi operator antar periode secara substansial. Nilai ini secara ergonomis membuktikan peningkatan stabilitas ritme kerja yang mampu mengurangi akumulasi kelelahan fisik, merujuk pada prinsip limitasi kapasitas manusia (Ducas et al., 2025).

Penurunan CV dari 58,35% menjadi 39,10% (selisih 19,25 poin persentase) merupakan indikator utama keberhasilan *Resource Leveling*. Berdasarkan interpretasi (Santoso et al., 2025), nilai CV yang rendah menunjukkan distribusi alokasi operator yang lebih stabil dan aman bagi kesehatan fisik pekerja karena minimnya lonjakan beban kerja yang tiba-tiba. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Puspitorini & Bayu Adhi, 2024) yang membuktikan bahwa *Resource Leveling* mampu menstabilkan distribusi tenaga kerja antar periode tanpa menambah sumber daya.

Secara manajerial, efisiensi ini membuktikan bahwa peningkatan kinerja produksi tidak selalu memerlukan penambahan tenaga kerja, melainkan dapat dicapai dengan mengoptimalkan nilai *slack* pada aktivitas non-kritis. Temuan ini konsisten dengan penelitian

(Legho et al., 2024) yang menunjukkan bahwa *resource leveling* berhasil mengurangi puncak kebutuhan tenaga kerja sehingga alokasi sumber daya menjadi lebih merata dan mudah dikendalikan. Dengan distribusi alokasi yang lebih merata, operator dapat mempertahankan konsentrasi dan performa kerja secara berkelanjutan, serta risiko kesalahan kerja akibat kelelahan dapat diminimalkan. Hasil ini mendukung pandangan (Minarosi et al., 2023) bahwa alokasi operator yang tidak seimbang berdampak negatif pada kenyamanan kerja dan produktivitas operator di rantai produksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM), diperoleh jaringan kerja yang terdiri dari 6 aktivitas hasil pengelompokan 126 operasi produksi Mesin *Emboss* PM11. Waktu penyelesaian proyek yang optimal adalah 139,66 jam, lebih efisien 65,07 jam (31,78%) dibandingkan penjadwalan serial. Jalur kritis mencakup aktivitas *Frame 1+Frame 2+Support Frame* dan *Assy MS Emboss+Mur+Limit Switch* dengan nilai *slack* = 0, yang menjadi aktivitas penentu utama durasi proyek. Penerapan *Resource Leveling* dengan bantuan Microsoft Project terbukti efektif dalam mengeliminasi kondisi *overallocation*, menurunkan kebutuhan tenaga kerja maksimum dari 17 menjadi 10 operator, serta meningkatkan stabilitas alokasi yang ditunjukkan oleh penurunan Koefisien Variasi (CV) dari 58,35% menjadi 39,10% dan Standar Deviasi dari 4,96 menjadi 2,67, tanpa memperpanjang durasi proyek.

Penelitian ini merekomendasikan agar PT XYZ menerapkan metode penjadwalan berbasis Microsoft Project secara berkelanjutan untuk semua proyek fabrikasi mesin. Pemantauan nilai *slack* secara rutin akan memudahkan perencanaan alokasi operator yang lebih efisien. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengkaji dampak ekonomi berupa analisis biaya (*Cost Crashing*) dari penerapan penjadwalan ini, serta mengintegrasikan sistem penjadwalan dengan manajemen persediaan bahan baku agar hambatan produksi akibat keterlambatan material pada lintasan kritis dapat dihindari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT XYZ yang telah memberikan izin dan kemudahan akses data dalam pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Ibu Ade Ima Afifa Himayati, S.Si., M.Sc. dan Bapak Nunung Agus Firmansyah, S.T., M.T. atas bimbingan dan arahan yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Artikel Ilmiah

ini merupakan bagian dari Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kudus Tahun 2026.

DAFTAR REFERENSI

- Dadang Rizaldi, M., & Singgih, M. (2024). Analisa penerapan Critical Path Method (CPM) pada proyek pembuatan crane guna memberikan penjadwalan efektif (Studi kasus: PT XYZ). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(9), 418-447. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11180117>
- Ducas, J., Mathieu, J., Drouin, M., Sobczak, S., Abboud, J., & Descarreaux, M. (2025). The influence of workload on muscle fatigue, tissue properties, and postural stability in older and younger workers. *PLOS ONE*, 20(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316678>
- Fariham Masula, Huda, M. R. M., & Winarno, A. (2024). Literature review: Penerapan perencanaan produksi dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi aktivitas produksi. *Jurnal Ekonomi Bisnis dan Manajemen*, 2(3), 30-43. <https://doi.org/10.59024/jise.v2i3.747>
- Gultom, P., Simamora, E., Nehe, E., Tambunan, C. H., Purba, D. Br., & Tamba, D. Br. (2025). Penerapan metode jalur kritis Critical Path Method (CPM) dengan pendekatan kegiatan dan kejadian untuk perencanaan proyek. *Ekopedia: Jurnal Ilmiah Ekonomi*, 1(3), 511-520. <https://doi.org/10.63822/bdd4r493>
- Islamiyah, D., & Purnama, A. R. (2024). Strategi percepatan dan penjadwalan proyek fabrikasi peralatan ZA BIN 39D316 dengan menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Earned Value Measurement System (EVMS). *Nusantara Technology and Engineering Review (NTER)*, 34-38. <https://doi.org/10.55732/nter.v2i1.1289>
- Legho, A. A. K., Kawet, R. S. S. I., & Pandeiroth, Y. C. S. (2024). Analisis kebutuhan tenaga kerja dengan menggunakan metode resource levelling. *TEKNO*, 22(88).
- Minarosi, A. A., Dita, N., Putra, P., & Nauli, A. R. (2023). Analisa resource leveling tenaga kerja (Studi kasus: Proyek JLLB Tahap 2). *MITSU: Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*, 11(1). <https://doi.org/10.24929/ft.v11i1.2077>
- Prasisko, B., & Jumali, M. A. (2026). Identifikasi jalur kritis pada proses pemindahan sarana produksi krimer retail dengan metode CPM pada PT X. *Factory: Jurnal Industri, Manajemen dan Rekayasa Sistem Industri*, 4(2), 246-257. <https://doi.org/10.56211/factory.v4i2.1382>
- Prasisti, D., & Nugroho, Y. A. (2023). Optimasi penjadwalan produksi untuk meminimalkan makespan dengan pendekatan Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 2(2), 111-118. <https://doi.org/10.55826/tmit.v2i2.134>
- Puspitorini, I., & Bayu Adhi, S. (2024). Penerapan resource allocation dan levelling tenaga kerja pada proyek konveksi. *Jurnal Minfo Polgan*, 12(2), 2728-2735. <https://doi.org/10.33395/jmp.v12i2.13359>
- Rizaldi, D. M., & Singgih, M. (2024). Analisa penerapan Critical Path Method (CPM) pada proyek pembuatan crane guna memberikan penjadwalan efektif (Studi kasus: PT XYZ). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(9), 418-447. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11180117>

- Santoso, G., Dwi Puspita, A., & Retnowati, D. (2025). Ergonomic analysis of physical workload on work accidents and increased work productivity. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, 13(1), 36-39. <https://doi.org/10.15580/gjemps.2025.1.032725051>
- Saputro, E., & Khoiroh, S. M. (2025). Evaluasi penjadwalan proyek produksi conveyor table top chain pada CV XYZ dengan pendekatan CPM. *SURYA TEKNIKA*, 12(1), 15-20. <https://doi.org/10.37859/jst.v12i1.9337>
- Sebayang, S. M., & Sondakh, E. (2023). Penerapan metode CPM dalam penjadwalan produksi di PT XYZ Divisi Manufacturing Center. *Jurnal Logistik Bisnis*, 13(2), 8-15.
- Setyowati, L., & Lasiyono, U. (2024). Optimalisasi perencanaan dan penjadwalan produksi: Kunci meningkatkan efisiensi operasional. *Jurnal Inovasi Manajemen, Kewirausahaan, Bisnis dan Digital*, 1(4), 50-56. <https://doi.org/10.61132/jimakebidi.v1i4.354>
- Shabirin, M., & Putra, B. I. (2026). Workload analysis reveals excess operator capacity and incentive requirements. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 27(2). <https://doi.org/10.21070/ijins.v27i2.2043>
- Simanjuntak, D. M., & Sari, R. A. (2024). Optimasi penjadwalan multi proyek menggunakan metode resource leveling. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Manajemen*, 1, 1275-1276.
- Wahyudin, C., Sukwadi, R., & Rahmawati, S. (2025). Application of project management model with Theory of Constraints to minimize project completion time and direct labor costs. *Metris: Jurnal Sains dan Teknologi*, 98-104. <https://doi.org/10.25170/metris.v26i02.7262>
- Wawey, A., To'unni, L., Purwantoro, A., Aditama, S., & Uda, K. A. (2023). Optimalisasi alokasi tenaga kerja menggunakan resource leveling. [https://doi.org/10.25299/saintis.2023.vol23\(02\).1447](https://doi.org/10.25299/saintis.2023.vol23(02).1447)
- Wicaksono, R. A., & Safirin, M. T. (2025). Evaluasi dan optimalisasi durasi pelaksanaan system test menggunakan metode Critical Path Method dengan software POM-QM di PT XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, X(1).