

Strategi Optimalisasi Penjadwalan Proyek Jalur Ganda Kereta Api untuk Konstruksi Berkelanjutan dengan Metode Line of Balance

*Tsulis Iq'bal Khairul Amar¹, Alfia Magfirona¹, Mentari Putri Maharani¹, Yoga Amaristyanto¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

Email: tik154@ums.ac.id

*Corresponding Author, Submitted: 07 Jul. 2025, Revised: 07 Agu. 2025, Accepted: 11 Sep. 2025

ABSTRAK: Penjadwalan proyek konstruksi repetitif, seperti pembangunan jalur ganda kereta api, memerlukan pendekatan yang efisien dalam pengelolaan sumber daya dan waktu. Metode Line of Balance (LoB) merupakan teknik penjadwalan yang dapat mengoptimalkan pekerjaan berulang dengan menjaga kontinuitas alur kerja. Namun, penerapannya pada proyek infrastruktur skala besar masih menghadapi tantangan, terutama dalam hal alokasi sumber daya yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model optimasi penjadwalan berbasis LoB guna meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek pembangunan jalur ganda kereta api. Metode yang digunakan adalah kuantitatif komparatif, dengan membandingkan durasi proyek antara penjadwalan berbasis kurva-S dan LoB. Data yang dianalisis merupakan data sekunder dari proyek aktual dan diolah menggunakan Microsoft Excel 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode LoB mampu mengurangi durasi proyek secara signifikan sebanyak 19, 75 minggu dibandingkan dengan metode konvensional. Implementasi LoB menghasilkan perencanaan yang lebih terstruktur dengan tumpang tindih pekerjaan yang lebih sesuai, sehingga mampu meminimalkan waktu menganggur (idle time) dan meningkatkan produktivitas proyek secara keseluruhan. Salah satu pola optimasi yang terbukti efektif adalah penjadwalan ulang pekerjaan jembatan, box culvert, dan dinding penahan tanah (DPT) agar dilaksanakan setelah badan jalan terbentuk. Pendekatan ini menghindari konflik akses dan tumpang tindih yang tidak produktif yang umum terjadi saat pekerjaan tersebut dilaksanakan secara paralel. Dengan menyesuaikan urutan pelaksanaan terhadap kondisi lapangan, proyek menjadi lebih tertib dan efisien. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam optimalisasi penjadwalan proyek konstruksi repetitif serta menjadi referensi dalam pengembangan metode penjadwalan untuk proyek infrastruktur skala besar di masa mendatang.

Kata kunci: Penjadwalan proyek, Line of Balance, Optimasi, Proyek konstruksi repetitif, Efisiensi proyek

ABSTRACT: Scheduling repetitive construction projects, such as double-track railway development, requires an efficient approach to resource and time management. The Line of Balance (LoB) method is a scheduling technique that optimizes repetitive tasks by ensuring a continuous workflow. However, its application in large-scale infrastructure projects still faces challenges, particularly in optimizing resource allocation. This study aims to develop an LoB-based scheduling optimization model to improve the efficiency of double-track railway construction projects. A comparative quantitative method is used by analyzing project durations based on the S-curve method and the LoB method. The data used are secondary data from an actual project, analyzed using Microsoft Excel 2021. The results indicate that the LoB method significantly reduces project duration compared to conventional methods. Its implementation results in a more structured plan with more efficient task overlaps, thereby minimizing idle time and increasing overall project productivity. One of the effective optimization patterns identified is the rescheduling of bridge, box culvert, and retaining wall (DPT) works to take place after the roadbed construction is completed. This approach avoids access conflicts and unproductive overlaps that commonly occur when these activities are scheduled in parallel. By aligning the work sequence with actual site conditions, the project becomes more orderly and efficient. This research contributes to the optimization of repetitive construction project scheduling and serves as a reference for developing scheduling methods for future large-scale infrastructure projects.

Keywords: Project scheduling, Line of Balance, Optimization, Repetitive construction projects, Project efficiency

1. PENDAHULUAN

Penjadwalan proyek konstruksi dengan karakteristik repetitif, seperti pembangunan jalur ganda kereta api, memegang peranan krusial dalam menjamin efisiensi operasional serta optimalisasi penggunaan sumber daya. Dalam konteks ini, metode *Line of Balance* (LoB) menjadi pendekatan yang sangat relevan dan unggul, karena dirancang khusus untuk menangani pekerjaan yang berlangsung secara berulang pada berbagai segmen proyek. Berbeda dengan metode penjadwalan konvensional seperti kurva-S atau *bar chart* yang cenderung bersifat linier dan kurang adaptif terhadap pola pekerjaan repetitif, LoB menawarkan alur kerja yang lebih berkesinambungan dengan menyelaraskan waktu pelaksanaan antar segmen.

Keunggulan utama LoB terletak pada kemampuannya untuk meminimalkan fluktuasi penggunaan sumber daya, mengurangi waktu tunggu, dan mendorong produktivitas secara konsisten sepanjang durasi proyek. Dengan demikian, metode ini tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu dan biaya, tetapi juga mendukung praktik manajemen proyek yang lebih adaptif dan berkelanjutan [1, 2]. Namun, meskipun memiliki berbagai keunggulan, penerapan LoB dalam proyek infrastruktur skala besar, seperti pembangunan jalur ganda kereta api XYZ, belum sepenuhnya dioptimalkan. Penjadwalan yang ada sering kali menyebabkan alokasi sumber daya yang tidak efisien dan keterlambatan proyek, sehingga diperlukan model LoB yang lebih optimal.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan LoB pada berbagai proyek, seperti jalur pedestrian [3], gedung bertingkat [4], apartemen [5], dan hotel [6]. Selain itu, Ningrum dkk. telah menganalisis percepatan pembangunan jalur ganda kereta api dengan metode LoB, tetapi belum berfokus pada optimalisasi alokasi sumber daya [7]. Sebagian besar penelitian tersebut hanya membandingkan LoB dengan metode penjadwalan yang ada, tanpa mengembangkan model yang lebih optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengoptimalkan penjadwalan berbasis LOB, sehingga dapat memastikan alokasi sumber daya yang lebih baik, meminimalkan waktu tunggu, dan mengurangi durasi proyek secara keseluruhan. Dengan membandingkan jadwal eksisting dengan model LOB yang telah dioptimalkan, penelitian ini akan mengevaluasi bagaimana perbaikan dalam penjadwalan dapat meningkatkan pelaksanaan proyek konstruksi repetitif berskala besar.

Kebaruan (novelty) dalam penelitian ini terletak pada pendekatan optimalisasi metode LoB untuk proyek infrastruktur skala besar. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini mengintegrasikan

teknik penjadwalan lanjutan, seperti *multi-objective optimization* [8] dan *bi-objective models* [9], untuk mengembangkan strategi penjadwalan yang lebih fleksibel dan adaptif. Selain itu, Wei menyoroti manfaat optimasi dinamis dalam konstruksi terowongan, yang memiliki karakteristik repetitif serupa dengan proyek perkeretaapian [10]. Optimasi dilakukan melalui *resequencing* aktivitas dengan prinsip *multi-objective optimization*, yaitu menyeimbangkan pengurangan durasi proyek dan efisiensi alokasi sumber daya.

Dalam studi kasus proyek jalur ganda kereta api XYZ, penerapan strategi ini diwujudkan dengan penjadwalan ulang pekerjaan jembatan, box culvert, dan dinding penahan tanah (DPT) agar dilaksanakan setelah badan jalan terbentuk. Pendekatan ini tidak hanya menghindari konflik akses dan tumpang tindih yang tidak produktif. Dengan mengadaptasi teknik-teknik optimasi tersebut ke dalam kerangka kerja LoB, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proyek konstruksi repetitif, serta menyediakan model penjadwalan terstruktur untuk proyek infrastruktur skala besar yang dapat menjadi referensi bagi pengembangan proyek perkeretaapian di masa depan.

2. METODE

Goodyear mengembangkan *Line of Balance* (LoB) pada 1940-an, yang disempurnakan oleh Angkatan Laut AS pada 1950-an [11]. Metode ini digunakan untuk proyek berulang seperti gedung, perumahan, dan jalan guna mengoptimalkan alur kerja serta alokasi sumber daya [12]. LoB lebih efektif dalam mengurangi durasi proyek dibandingkan metode lain, dengan visualisasi yang memudahkan pemantauan progres dan perencanaan sumber daya [13]. Namun, analisis ketergantungan aktivitas yang cermat diperlukan untuk mencegah konflik penjadwalan [14]. Studi ini menilai efisiensi LoB dalam penjadwalan proyek konstruksi.

2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif komparatif, yang bertujuan untuk membandingkan variabel penjadwalan proyek dengan pendekatan berbeda. Penelitian komparatif dilakukan untuk membandingkan variabel antar subjek berbeda [15], sementara metode kuantitatif menggunakan data numerik yang dianalisis secara statistik. Studi ini membandingkan total durasi pengerjaan antara penjadwalan eksisting (kurva-S) dan penjadwalan *Line of Balance* (LoB) pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api XYZ. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari proyek tersebut, termasuk penjadwalan berbasis kurva-S dan target waktu penyelesaian sebagai dasar perbandingan dengan metode LoB.

2.2. Data Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2021 untuk menghitung waktu penjadwalan dan membuat grafik metode LoB. Analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2021 untuk menghitung waktu penjadwalan dan membuat grafik metode LoB.

Tabel 1. Pengelompokan Uraian Pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Uraian Pekerjaan	Kode
Pra Konstruksi	Mobilisasi & Peralatan Kerja	P.I.1.
	Uji Sondir	P.I.2
Pekerjaan Sipil	Persiapan	
	Jalan akses	P.II.1
	Pembersihan Lahan	
	Bongkar Batu Kali	P.II.2
	Bongkar Beton	
	Bongkar Aspal	
	Galian Tanah & Buangan	P.II.3
Badan Jalan	Perbaikan Tanah Dasar	P.II.4
	Timbunan Tanah Pilihan	P.II.5
Pagar	Geotekstil Separator	P.II.6
	Timbunan Material Berbutir	P.II.7
	Pagar Panel	
	Pagar Duri	P.II.8
	Pagar Ornamen	
	Saluran Pracetak	P.II.9
	Drainase & Jembatan Dinding	Jembatan Box & Culvert
Rel	Galian Tanah & Buangan	
	Beton fc 15 MPa	P.III.1
	Beton fc 25 MPa	
	Pembesian Baja	
	Dinding Penahan & Culvert	
	Galian Tanah & Buangan	P.IV.1
	Beton fc 15 MPa	
Beton fc 30 MPa		
Pekerjaan Umum	Pembesian Baja	
	Pengadaan & Angkutan	
	Rel & Wessel	P.V.1
	Bantalan	P.V.2
	Pengeceran Balas	
	Pengeceran Balas	P.V.3
	Pemasangan Rel & Wessel	
	Jalur KA R54 & Pematatan HTT	P.V.4
	Las Rel Thermit	
	Pemasangan Wessel	
Switch Over		
Switch Over	P.V.5	
Listring Track & Wessel		
Angkat Listring Wessel	P.V.6	
Angkat Listring Track		
After Konstruksi		
Perbaikan Jalan Aspal	P.VI.1	
Perbaikan Jalan Beton		
Pembesian Baja		
Pengujian & Laik Fungsi		
Uji Laik Fungsi	P.VI.2	

penyajian grafik secara sistematis, sehingga sesuai untuk kebutuhan analisis penjadwalan pada penelitian ini.

Meskipun Excel memiliki keterbatasan dalam hal fitur optimasi yang lebih kompleks dibandingkan perangkat lunak khusus manajemen proyek, penggunaannya tetap relevan pada konteks studi ini karena fokus penelitian terletak pada komparasi durasi dan visualisasi alur kerja. Dengan demikian, pemanfaatan Excel dinilai tepat sekaligus efisien untuk tingkat analisis yang dilakukan. Data Proyek yang dianalisis adalah penggabungan pekerjaan sejenis dan paralel, jumlah uraian pekerjaan berkurang dari 42 menjadi 21 kelompok, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tahapan analisis meliputi: (1) Penguraian pekerjaan berdasarkan data kurva-S untuk menentukan durasi setiap unit pekerjaan dan siklus, (2) Penyusunan diagram logika ketergantungan antar pekerjaan dalam satu siklus atau segmen [7] (3) Penetapan jadwal LoB dengan menentukan waktu mulai dan selesai setiap pekerjaan berdasarkan hubungan antar siklus [7], (4) Penggambaran grafik LoB dengan sumbu X sebagai waktu dan sumbu Y sebagai unit/siklus, untuk mengidentifikasi potensi tumpang tindih yang dapat menyebabkan keterlambatan proyek [28], serta (5) Perbandingan hasil total durasi proyek metode LoB guna menarik kesimpulan mengenai efektivitas metode LoB dalam meningkatkan efisiensi penjadwalan proyek.

Alur penelitian ini disusun untuk menggambarkan tahapan sistematis yang ditempuh dalam proses pengumpulan, pengolahan, dan analisis data. Setiap langkah dalam alur tersebut mencerminkan urutan kegiatan yang dilakukan mulai dari identifikasi masalah hingga interpretasi hasil. Visualisasi dari tahapan tersebut secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 menampilkan langkah pengolahan dan analisis data dengan metode penjadwalan *Line of Balance* (LOB) dilakukan menggunakan bantuan Microsoft Excel 2021. Software ini digunakan untuk menghitung waktu mulai dan selesai setiap

Software ini dipilih karena memiliki kemampuan yang memadai dalam perhitungan numerik serta

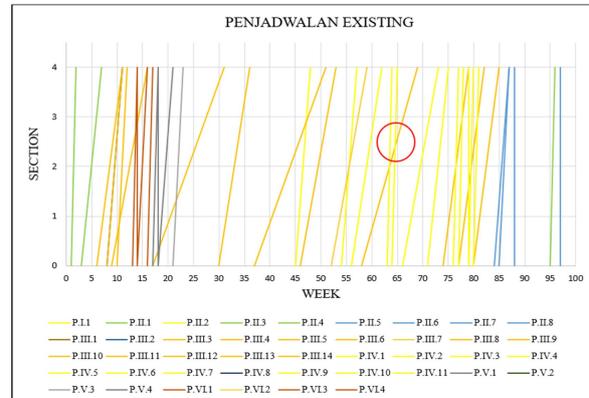
pekerjaan serta menggambarkan grafik LOB. Tahapan penjadwalan dimulai dengan penguraian pekerjaan berdasarkan data kurva-S, di mana pekerjaan yang memiliki karakteristik berulang dalam proyek diidentifikasi dan dibagi menjadi unit-unit serta siklus berdasarkan jumlah segmen pekerjaan. Setelah itu, dibuat diagram logika yang menunjukkan hubungan ketergantungan antarpekerjaan yang berulang dalam satu segmen, untuk memahami urutan pelaksanaan pekerjaan dan potensi tumpang tindih antar aktivitas.

Tahap selanjutnya adalah menetapkan jadwal LOB berupa waktu mulai (*start*) dan selesai (*finish*) setiap pekerjaan. Jika siklus suatu pekerjaan lebih pendek dari pekerjaan sebelumnya, maka waktu *finish* dihitung dari waktu *finish* sebelumnya ditambah durasi tiap siklus, sedangkan waktu *start* adalah hasil pengurangan waktu *finish* dengan total durasi. Sebaliknya, jika siklus lebih panjang, maka waktu *start* dihitung dari waktu *start* pekerjaan sebelumnya ditambah durasi siklus sebelumnya, dan waktu *finish* merupakan penjumlahan waktu *start* dengan total durasi pekerjaan. Grafik LOB kemudian digambar dengan sumbu x sebagai waktu dan sumbu y sebagai unit/siklus untuk mengidentifikasi potensi perpotongan antar pekerjaan. Jika terdapat perpotongan, maka perlu dilakukan trial and error seperti penyesuaian percepatan atau penundaan pekerjaan. Kesimpulan akhir diperoleh dengan membandingkan durasi total metode LOB dengan jadwal existing (kurva-S), guna mengevaluasi efisiensi metode yang diterapkan.

Untuk mengevaluasi efektivitas metode *Line of Balance* (LoB), langkah awal yang dilakukan adalah menyusun grafik penjadwalan LoB berdasarkan jadwal existing proyek. Penyusunan grafik ini mengacu pada data kurva-S yang tercantum dalam Tabel 1, kemudian dikonversi ke dalam representasi visual berbentuk grafik LoB untuk mengidentifikasi alur pelaksanaan tiap pekerjaan di setiap segmen konstruksi. Gambar 2 berikut menyajikan hasil pemodelan awal penjadwalan proyek menggunakan metode *Line of Balance*, yang masih merefleksikan kondisi sebelum dilakukan proses optimasi penjadwalan lebih lanjut.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa terdapat beberapa titik perpotongan antar garis pekerjaan, yang menandakan adanya tumpang tindih antar aktivitas pada segmen yang sama. Tumpang tindih ini menunjukkan bahwa dua atau lebih pekerjaan dilakukan dalam waktu yang bersamaan, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan dalam pelaksanaan di lapangan. Fokus tenaga kerja yang terbagi, keterbatasan sumber daya, serta potensi konflik ruang kerja antar aktivitas dapat menyebabkan penurunan produktivitas dan meningkatkan risiko keterlambatan proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan

penjadwalan ulang menggunakan pendekatan *Line of Balance* yang lebih optimal agar urutan pelaksanaan pekerjaan yang efektif, minim gangguan, dan sesuai dengan kapasitas sumber daya proyek.



Gambar 2. Penjadwalan *Line of Balance* berdasarkan jadwal eksisting proyek

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penyusunan ulang uraian Setelah dilakukan pemodelan *Line of Balance* (LoB) berdasarkan penjadwalan eksisting, masih ditemukan sejumlah pekerjaan yang saling bertabrakan atau mengalami konflik dalam satu segmen. Hal ini menunjukkan adanya ketidakteraturan dalam urutan pelaksanaan pekerjaan, terutama pada aktivitas yang berjalan secara paralel. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan ulang penjadwalan dengan metode *Line of Balance* melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) penguraian pekerjaan, (2) penyusunan diagram logika yang menunjukkan satu siklus berulang, (3) penetapan jadwal *Line of Balance*, dan (4) penggambaran grafik LoB.

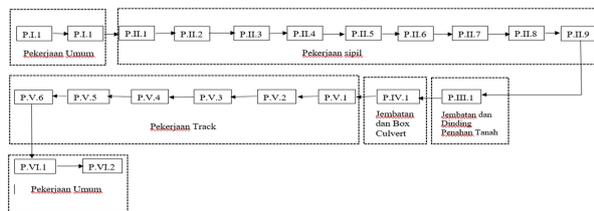
Berdasarkan data dari kurva-S, diketahui bahwa terdapat banyak pekerjaan yang berlangsung secara paralel. Kondisi ini menjadi penyebab utama terjadinya konflik apabila langsung diterapkan dalam metode *Line of Balance*. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan perbaikan pada tahapan penguraian pekerjaan dengan cara menggabungkan aktivitas yang sejenis atau berjalan bersamaan ke dalam satu kelompok pekerjaan. Sebagai contoh, pekerjaan jalan akses, pembersihan lahan, pembongkaran pasangan batu kali, serta pembongkaran beton dan aspal, digabungkan ke dalam satu kategori pekerjaan dengan nama pekerjaan persiapan.

Penyesuaian pada tahap penguraian pekerjaan menghasilkan penyederhanaan jumlah aktivitas menjadi 21 kelompok pekerjaan, dari sebelumnya

sebanyak 42 uraian. Penyederhanaan ini dilakukan melalui penggabungan aktivitas yang memiliki karakteristik serupa atau berlangsung secara paralel. Tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi perencanaan penjadwalan serta mengurangi potensi konflik antar pekerjaan dalam penerapan metode Line of Balance.

3.1. Logika Ketergantungan Pekerjaan

Langkah berikutnya adalah penyusunan diagram logika ketergantungan antar aktivitas, yang berfungsi untuk menggambarkan urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan hubungan teknis dan logis antar kegiatan dalam satu siklus kerja. Diagram ini menjadi komponen penting dalam proses penjadwalan karena memastikan kesinambungan dan keteraturan pelaksanaan konstruksi. Visualisasi logika ketergantungan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Logika Ketergantungan Antar Pekerjaan

Diagram logika urutan pekerjaan pada Gambar 2 menunjukkan hubungan ketergantungan antar kelompok pekerjaan dalam proyek konstruksi. Pekerjaan diawali dengan mobilisasi dan persiapan (P.I.1) sebelum masuk ke tahap pekerjaan sipil (P.II.1–P.II.9). Setelah itu, terdapat pekerjaan jembatan dan dinding penahan tanah (P.III.1–P.IV.1) yang harus diselesaikan sebelum pekerjaan track (P.V.1–P.V.6) dimulai. Proses diakhiri dengan pekerjaan umum pasca konstruksi (P.VI.1–P.VI.2). Urutan ini memastikan efisiensi dan keterkaitan antar pekerjaan agar proyek berjalan sesuai rencana.

3.2. Durasi Optimasi LoB

Perhitungan waktu mulai (*start*) dan selesai (*finish*) setiap pekerjaan dalam proyek telah dilakukan berdasarkan metode *Line of Balance* (LoB). Metode ini memungkinkan suatu pekerjaan dapat dimulai segera setelah pekerjaan sebelumnya selesai pada segmen pertama, tanpa harus menunggu penyelesaian seluruh segmen terlebih dahulu.

Pendekatan LoB menghasilkan durasi pekerjaan yang tampak lebih panjang karena beberapa pekerjaan dikombinasikan dalam satu siklus. Namun, secara keseluruhan, total durasi proyek menjadi lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional. Hal

ini disebabkan oleh adanya tumpang tindih antar pekerjaan, yang memungkinkan proses konstruksi berlangsung secara simultan dan berkelanjutan.

Rincian jadwal waktu mulai dan selesai setiap pekerjaan berdasarkan metode *Line of Balance* disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Durasi Kelompok Pekerjaan Berdasarkan Metode Line of Balance

Kelompok	Durasi Total (Minggu)	Durasi Per Siklus (Minggu)	start (Minggu ke-)	finish (Minggu ke-)
P.I.1	2	0.5	0.00	2.00
P.I.2	5	1.25	0.50	5.50
P.II.1	8	2.00	1.75	9.75
P.II.2	17	4.25	3.75	20.75
P.II.3	15	3.75	9.50	24.50
P.II.4	7	1.75	19.25	26.25
P.II.5	15	3.75	21.00	36.00
P.II.6	8	2.00	30.00	38.00
P.II.7	8	2.00	32.00	40.00
P.II.8	18	4.50	34.00	52.00
P.II.9	12	3.00	43.00	55.00
P.III.1	10	2.50	47.50	57.50
P.IV.1	8	2.00	51.50	59.50
P.V.1	10	2.50	53.50	63.50
P.V.2	7	1.75	58.25	65.25
P.V.3	8	2.00	60.00	68.00
P.V.4	8	2.00	62.00	70.00
P.V.5	3	0.75	67.75	70.75
P.V.6	4	1.00	68.50	72.50
P.VI.1	8	2.00	69.50	77.50
P.VI.2	1	0.25	76.75	77.75

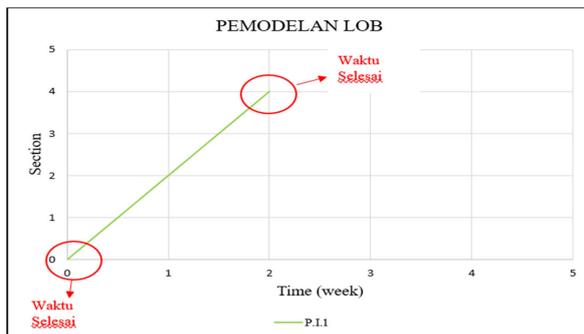
(Sumber: Analisis data)

Tabel 2 menunjukkan bahwa durasi pada masing-masing pekerjaan tampak lebih panjang akibat penggabungan beberapa aktivitas sejenis, yang secara otomatis menggabungkan durasinya. Namun demikian, durasi total proyek justru menjadi lebih singkat. Hal ini disebabkan oleh karakteristik metode *Line of Balance* yang memungkinkan pekerjaan pada segmen berikutnya dimulai segera setelah pekerjaan pada segmen pertama selesai. Dengan demikian, proses tidak perlu menunggu seluruh segmen terselesaikan untuk memulai aktivitas berikutnya, sehingga alur pekerjaan menjadi lebih sesuai dan terstruktur.

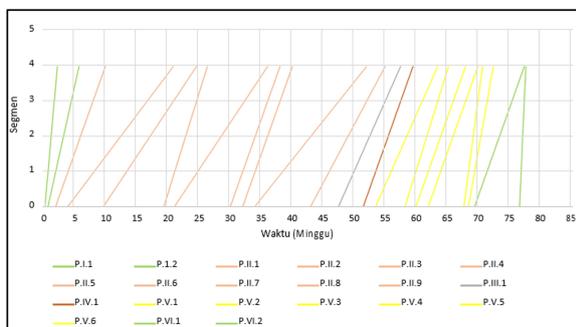
3.3. Model Grafik Line of Balance

Penjadwalan menggunakan metode *Line of Balance* (LoB) memvisualisasikan hubungan antara waktu dan segmen pekerjaan dalam grafik. Dalam pemodelan ini, sumbu vertikal merepresentasikan segmen pekerjaan, sementara sumbu horizontal menunjukkan waktu pelaksanaan. Setelah penjadwalan metode *Line of Balance* ditetapkan, termasuk penentuan waktu mulai (*start*) dan waktu selesai (*finish*) untuk setiap aktivitas, langkah selanjutnya adalah

memvisualisasikan data tersebut ke dalam grafik Line of Balance. Grafik ini menggunakan sumbu horizontal untuk merepresentasikan waktu (minggu atau hari), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan urutan segmen proyek, yang dalam hal ini merupakan pembagian trase jalur rel. Setiap garis pada grafik menggambarkan lintasan aktivitas dari segmen awal hingga akhir, sehingga dapat dengan jelas diidentifikasi urutan, durasi, serta potensi tumpang tindih antar pekerjaan. Contoh penggambaran grafik *Line of Balance* untuk pekerjaan P.I.1 ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik *Line of Balance* Pekerjaan P.I.1 sebagai Contoh Visualisasi Urutan dan Potensi Tumpang Tindih



Gambar 5. Grafik *Line of Balance* Keseluruhan untuk Identifikasi Pola Ketergantungan dan Optimalisasi Alur Kerja

Sebagai contoh, pada pekerjaan P.I.1, yang memiliki durasi total 2 minggu, waktu mulai dijadwalkan pada minggu ke-0 dan selesai pada minggu ke-2, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2. Data waktu mulai dan selesai ini kemudian diplot ke dalam grafik scatter, dengan sumbu x mewakili waktu dan sumbu y menunjukkan jumlah segmen (misalnya, segmen 1-4). Setelah semua pekerjaan diplot dalam grafik *Line of Balance*, hasilnya akan menggambarkan pola ketergantungan

dan kesinambungan antarpekerjaan dalam proyek, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Visualisasi ini membantu dalam mengidentifikasi kemungkinan overlap pekerjaan dan optimalisasi alur kerja untuk memastikan efisiensi waktu pelaksanaan.

Berdasarkan Gambar 3, pemodelan penjadwalan dengan metode *Line of Balance* (LoB) menunjukkan bahwa proyek pembangunan jalur ganda dapat diselesaikan dalam 77,75 minggu atau sekitar 544 hari. Durasi ini lebih singkat dibandingkan dengan metode penjadwalan existing, yang memerlukan 97 minggu atau 679 hari untuk menyelesaikan proyek. Dengan kata lain, penerapan LoB berhasil mempercepat penyelesaian proyek hingga 20,75 minggu atau sekitar 135 hari.

Efisiensi waktu yang dicapai dengan metode LoB disebabkan oleh kemampuannya dalam mengakomodasi pekerjaan berulang secara lebih optimal. Dalam metode ini, pekerjaan dapat dimulai pada segmen berikutnya segera setelah segmen sebelumnya selesai, tanpa harus menunggu seluruh pekerjaan rampung di satu segmen. Hal ini memungkinkan sinkronisasi pekerjaan antarsegmen, mengurangi waktu tunggu, serta meningkatkan produktivitas secara keseluruhan.

Selain itu, metode LoB juga lebih adaptif terhadap gangguan atau kendala proyek, karena setiap segmen dapat disesuaikan tanpa mengganggu alur kerja keseluruhan. Dengan demikian, selain memberikan percepatan durasi, metode ini juga dapat meningkatkan efisiensi sumber daya, baik tenaga kerja, material, maupun peralatan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pengurangan biaya operasional proyek.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan metode *Line of Balance* (LoB) pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api lebih layak dibandingkan dengan penjadwalan existing. Metode ini memungkinkan pekerjaan berjalan lebih sistematis dengan urutan yang mempertimbangkan aksesibilitas dan ketergantungan antar aktivitas, sehingga mempercepat penyelesaian proyek.

Selain itu, penyederhanaan jumlah uraian pekerjaan melalui penggabungan aktivitas sejenis membantu mempermudah koordinasi dan mengurangi potensi konflik di lapangan. Perubahan dalam logika ketergantungan, khususnya pada pekerjaan box culvert dan DPT, juga memberikan dampak positif terhadap kelancaran pelaksanaan konstruksi.

Dengan efisiensi yang tercapai, metode *Line of Balance* (LoB) dapat menjadi pendekatan yang lebih optimal untuk proyek konstruksi berulang, khususnya dalam pembangunan jalur rel kereta api. Hal ini membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam penerapan metode ini pada proyek infrastruktur lainnya

guna meningkatkan efektivitas dan produktivitas sektor konstruksi. Studi oleh Ammar, menunjukkan bahwa penerapan LoB dapat mengoptimalkan durasi proyek dengan mempertimbangkan interupsi kerja yang terencana [29].

Selain itu, penelitian oleh Chandra membahas pengaruh ketidakpastian durasi aktivitas dan jumlah kru terhadap total durasi proyek repetitif menggunakan metode LoB [30]. Implementasi LoB juga telah terbukti efektif dalam mengurangi fluktuasi sumber daya dan memastikan alur kerja yang berkelanjutan [31, 32, 33]. Namun, tantangan dalam penjadwalan LoB, seperti yang diidentifikasi oleh Arditi dkk., memerlukan analisis ketergantungan aktivitas yang cermat untuk mencegah konflik penjadwalan [34]. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mengoptimalkan penerapan LoB dalam berbagai jenis proyek infrastruktur.

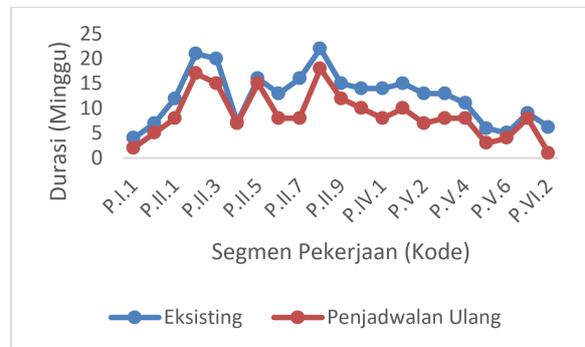
3.4. Optimalisasi Penjadwalan

Dari aspek jumlah uraian pekerjaan, penjadwalan eksisting terdiri dari 42 aktivitas terpisah, sementara dalam metode *Line of Balance* aktivitas-aktivitas tersebut disederhanakan menjadi 21 kelompok pekerjaan. Penyederhanaan ini dilakukan bukan untuk mengurangi isi pekerjaan, melainkan untuk menggabungkan pekerjaan sejenis dan paralel guna menghindari konflik jadwal dan meningkatkan keterbacaan diagram logika. Sebagai contoh, pekerjaan jalan akses, pembersihan lahan, pembongkaran pasangan batu kali, serta pembongkaran beton dan aspal digabung menjadi satu kategori pekerjaan, yaitu pekerjaan persiapan, karena sifat dan urutan pelaksanaannya yang serupa.

Selain itu, terdapat perubahan signifikan dalam urutan pelaksanaan sub pekerjaan, khususnya pada pekerjaan jembatan, box culvert, dan dinding penahan tanah (DPT). Pada penjadwalan eksisting, pekerjaan jembatan dan DPT dilakukan secara paralel dengan pekerjaan badan jalan. Namun, dalam penjadwalan versi *Line of Balance*, pekerjaan tersebut dijadwalkan setelah badan jalan selesai. Perubahan logika ini disesuaikan dengan kondisi lapangan, di mana beberapa lokasi pekerjaan box culvert dan DPT berada di tengah trase dan memerlukan akses dari badan jalan yang belum tersedia di awal proyek. Oleh karena itu, penyesuaian urutan pelaksanaan dilakukan untuk mencerminkan realitas teknis yang lebih akurat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Line of Balance* pada proyek pembangunan jalur kereta api yang bersifat berulang mampu memberikan efisiensi signifikan, terutama dari aspek durasi dan keteraturan pekerjaan. Berdasarkan hasil

perhitungan, penerapan metode *Line of Balance* (LoB) menghasilkan percepatan durasi proyek sebesar 20,36% dibandingkan dengan penjadwalan eksisting. Gambar 6 menampilkan besar penurunan durasi proyek yang telah dioptimalkan.



Gambar 6. Perbandingan Durasi Proyek Sebelum dan Sesudah Optimalisasi Line of Balance

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Line of Balance* (LoB) pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api tidak hanya berhasil meningkatkan efisiensi penjadwalan dalam hal durasi, tetapi juga mampu menyederhanakan struktur pekerjaan secara signifikan. Pengurangan jumlah aktivitas dari 42 menjadi 21 kelompok pekerjaan, disertai dengan optimalisasi urutan pelaksanaan dan eliminasi waktu tunggu antar segmen, terbukti mempercepat durasi proyek sebesar 20,36% atau setara dengan 135 hari lebih cepat dibandingkan penjadwalan eksisting.

Berdasarkan temuan tersebut, pola optimasi yang dapat diterapkan pada proyek jalur ganda kereta api lainnya melalui metode *Line of Balance* (LoB) adalah dengan menjadwalkan ulang pekerjaan jembatan dan box culvert agar dilakukan setelah badan jalan terbentuk. Pada penjadwalan eksisting, pekerjaan ini dilakukan paralel dengan pekerjaan badan jalan, namun pendekatan tersebut sering terkendala akses dan logistik lapangan. Dengan penjadwalan berurutan, pelaksanaan menjadi lebih efisien karena akses ke lokasi struktur sudah tersedia.

Selain itu, pekerjaan dinding penahan tanah (DPT) juga dioptimalkan pelaksanaannya setelah pekerjaan badan jalan selesai, bukan secara paralel seperti pada jadwal sebelumnya. Pola ini membantu menghindari tumpang tindih pekerjaan dan mengurangi waktu tunggu antar aktivitas, sehingga mempercepat progres proyek secara keseluruhan. Pendekatan ini cocok diterapkan pada proyek sejenis yang memiliki keterbatasan akses di awal pekerjaan.

Keunggulan utama metode LoB terletak pada kemampuannya untuk menyelaraskan alur kerja secara repetitif dan sistematis antar segmen proyek, sehingga meminimalkan risiko konflik pekerjaan, meningkatkan produktivitas, serta adaptif terhadap dinamika kondisi lapangan. Dengan demikian, LoB terbukti menjadi strategi penjadwalan yang unggul untuk proyek infrastruktur bersifat berulang seperti jalur rel kereta api, serta dapat menjadi pendekatan alternatif yang layak diterapkan pada proyek sejenis untuk mewujudkan manajemen konstruksi yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Keunggulan utama metode LoB dalam penelitian ini selaras dengan literatur sebelumnya yang menganggap kontinuitas kerja dan penyelarasan antar segmen sebagai kunci efisiensi. Namun, berbeda dengan beberapa studi yang hanya membandingkan durasi atau visualisasi grafik LoB, penelitian ini menambahkan elemen optimasi urutan dan penghapusan redundansi aktivitas, aspek yang relatif kurang diperhatikan dalam studi dengan memasukkan learning curve, tetapi tidak secara eksplisit menata ulang urutan pekerjaan sesuai kondisi akses lapangan [35, 36, 37, 38].

Dengan demikian, penelitian ini memperkuat kontribusi ilmiah dalam bidang penjadwalan konstruksi repetitif dengan LoB lewat pendekatan optimasi yang lebih holistik: tidak hanya mempercepat durasi, tapi juga menyederhanakan struktur, meningkatkan keteraturan pelaksanaan, dan adaptasi terhadap tantangan riil di lapangan. Pendekatan seperti ini dapat menjadi model bagi proyek infrastruktur berulang di masa depan agar pelaksanaan menjadi lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Hasil Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan metode *Line of Balance* (LoB) pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api XYZ secara signifikan meningkatkan efisiensi penjadwalan konstruksi, khususnya dalam aspek durasi dan struktur pekerjaan. Melalui optimalisasi urutan aktivitas, penyederhanaan struktur pekerjaan, serta penghapusan waktu tunggu antar segmen, total durasi proyek berhasil dipangkas dari 97 minggu menjadi 77,25 minggu atau setara dengan penghematan waktu 135 hari. Strategi pengelompokan pekerjaan sejenis yang diterapkan juga

terbukti mengurangi potensi konflik antar aktivitas dan meningkatkan keteraturan pelaksanaan proyek di lapangan.

Lebih dari sekadar hasil praktis, penelitian ini memberikan kontribusi strategis dalam pengembangan penjadwalan proyek infrastruktur yang bersifat repetitif. Metode *Line of Balance* yang diadopsi tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi waktu, tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan melalui pengelolaan sumber daya yang lebih terkendali dan terstruktur. Model penjadwalan yang dihasilkan dapat menjadi acuan bagi pelaksanaan proyek-proyek infrastruktur serupa, seperti jalur kereta api, jalan raya, dan jaringan utilitas. Selain itu, struktur penjadwalan ini membuka peluang untuk diintegrasikan dengan teknologi digital seperti Building Information Modeling (BIM) dan simulasi 4D, sehingga dapat mendukung transformasi digital dalam manajemen konstruksi nasional. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga memiliki nilai aplikatif dan strategis dalam mendukung efisiensi dan keberlanjutan pembangunan infrastruktur di Indonesia.

Namun, implementasi di lapangan perlu mempertimbangkan kondisi spesifik proyek, aksesibilitas lokasi, serta koordinasi antar subkontraktor untuk memastikan efektivitas metode ini secara optimal. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi adaptasi LoB pada proyek dengan kompleksitas tinggi dan keterbatasan ruang kerja yang lebih dinamis.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Riset dan Inovasi (LRI) UMS atas dukungannya dalam penelitian ini. Penghargaan khusus disampaikan kepada Pendanaan dan Pelaksanaan Hibah Riset Nasional Muhammadiyah Batch VIII Tahun 2024 (Nomor: 0258.307/L.3/D/2025) atas pendanaan yang memungkinkan penelitian ini terlaksana. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian ini, termasuk rekan peneliti, mahasiswa, serta institusi terkait yang telah memberikan kontribusi dan dukungan. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan praktik manajemen proyek konstruksi.

REFERENCES

- [1] A. Altuwaim, E. Alagha, A. B. Mahmoud, and D. A. Saad, "Adaptive lob scheduling for optimizing resource leveling and consumption," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 30, no. 3, pp. 220–233, 2024.
- [2] T. Hegazy and K. Mostafa, "Tightly-packed repetitive schedules: A tetris challenge," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1218, no. 1. IOP Publishing, 2022, p. 012010.

- [3] A. Efendi, A. Dwiretnani, and A. Setiawan, "Analisa penjadwalan proyek dengan menggunakan metode line of balance (lob) pada proyek pedestrian jl. mh. thamrin-jl. halim perdana kusuma," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 346–353, 2022.
- [4] R. Sinaga, P. Simanjuntak *et al.*, "Analisis dan penerapan metode line of balance pada proyek repetitif," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan-CENTECH*, vol. 2, no. 2, pp. 82–89, 2021.
- [5] M. Aulia, A. Farisi, M. Wibowo, and A. Hidayat, "Balance pada proyek konstruksi repetitif (studi kasus: Proyek pembangunan apartemen)," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 211–219.
- [6] W. Sudarson, "Evaluasi penjadwalan proyek dengan metode line of balance (studi kasus: Hotel santika batam)," *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, vol. 1, no. 2, pp. 92–98, 2020.
- [7] C. W. Ningrum and M. Beatrix, "Mempercepat waktu pelaksanaan proyek pembangunan jalur ganda kereta api antara mojokerto-sepanjang melalui penjadwalan line of balance," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 277–289, 2023.
- [8] Z. Yao, L. Zhang, Z. Hua, and C. Luo, "Low-carbon multiobjective optimization for repetitive projects based on crew-based scheduling strategy," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 151, no. 1, p. 04024183, 2025.
- [9] M. Tomczak and P. Jaśkowski, "Scheduling repetitive construction projects: structured literature review," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 28, no. 6, pp. 422–442, 2022.
- [10] J. Wei, "Dynamic optimization of scheduling for tunnel construction projects," in *4th International Conference on Internet of Things and Smart City (IoTSC 2024)*, vol. 13224. SPIE, 2024, pp. 332–337.
- [11] R. Bhushan and S. Raghavan, "Line of balance-a contractor friendly scheduling technique," *Indian Journal of Applied Research*, vol. 3, no. 6, pp. 162–163, 2013.
- [12] K. Hyari and K. El-Rayes, "Optimal planning and scheduling for repetitive construction projects," *Journal of Management in Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 11–19, 2006.
- [13] L.-h. Zhang, *Repetitive project scheduling: Theory and methods*. Elsevier, 2015.
- [14] J. Hinze, *Construction planning and scheduling*. Pearson Education, 2012.
- [15] U. Y. Sundari, A. A. T. Panudju, A. W. Nugraha, F. Purba, Y. Erlina, N. Nurbaiti, S. Y. Kalalinggi, A. Afifah, S. Suheria, G. Elsandika *et al.*, *Metodologi Penelitian*. CV. Gita Lentera, 2024.
- [16] M. Ghattas, H. Bassioni, and E. Gaid, "Human resources management influence on projects performance: A study of contractors professionals working on construction projects in egypt," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1056, no. 1. IOP Publishing, 2022, p. 012039.
- [17] I. A. Ijaola, G. I. Idoro, and M. G. Oladokun, "Key training practice indicators for optimal site supervisors' utilisation in construction firms," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 149–163, 2021.
- [18] N. F. Tawfig and S. Kamarudin, "Influence of organizational culture, sustainable competitive advantages, and employees' commitment on strategic human resources management in the banking sector of saudi arabia," *Business Management and Strategy*, vol. 13, no. 1, pp. 13–33, 2022.
- [19] Z. Zhang, G. Ni, H. Lin, Z. Li, and Z. Zhou, "Linking empowering leadership to work-related well-being and project citizenship behavior in the construction context: a self-determination perspective," *International journal of managing projects in business*, vol. 16, no. 2, pp. 232–257, 2023.
- [20] S. Çomu, B. Yücel, and I. A. Kıral, "Comparing the safety awareness of workers on the virtual and real construction site using eye-tracking technology," 2023.
- [21] M. Kesavan, P. Dissanayake, C. Pathirana, M. Deegahawature, and K. Silva, "Developing a new construction supervisory training programme focusing on productivity and performance improvement of labour operations," *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, vol. 55, no. 4, 2022.
- [22] Z. Sun, W. Wang, W. Wang, and X. Sun, "How does digital transformation affect corporate social responsibility performance? from the dual perspective of internal drive and external governance," *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, vol. 31, no. 2, pp. 1156–1176, 2024.
- [23] S. L. Zulu, A. M. Saad, S. O. Ajayi, M. Dulaimi, and M. Unuigbo, "Digital leadership enactment in the construction industry: barriers undermining effective transformation," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 31, no. 10, pp. 4062–4078, 2024.
- [24] M. Zailani, A. Ibrahim, and Y. Bahago, "Critical motivational factors for enhancing employee performance in construction firms based on correlation and principal component analyses," *Nigerian Journal of Technology*, vol. 39, no. 3, pp. 647–653, 2020.
- [25] I. Kapur and P. Tyagi, "Entrepreneurial orientation driven employee retention: mediating role of human

- capital development,” *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, vol. 37, no. 5, pp. 8–10, 2023.
- [26] M. YILMAZ and S. YILDIZ, “The importance of occupational health and safety (ohs) and ohs budgeting in terms of social sustainability in construction sector,” *Journal of Building Material Science*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [27] O. Z. Oni, A. Olanrewaju, and S. C. Khor, “Fuzzy synthetic evaluation of the factors affecting health and safety practices in malaysia construction industry,” *Journal of engineering, design and technology*, vol. 22, no. 6, pp. 1773–1796, 2024.
- [28] A. P. A. Putra and G. Sarya, “Analisis penjadwalan dan alokasi biaya menggunakan metode line of balance pada proyek jalan dan jembatan frontage road waru-buduran,” *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 390–397, 2022.
- [29] M. A. Ammar, “Optimization of line of balance scheduling considering work interruption,” *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 2, pp. 305–316, 2022.
- [30] V. W. P. Chandra, R. S. Alifen *et al.*, “Perencanaan jadwal pada proyek perumahan dengan metode line of balance,” *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 86–93, 2020.
- [31] L. Lukman *et al.*, “Studi eksplorasi metode penjadwalan pada proyek konstruksi (studi kasus: Proyek pembangunan jalan tol semarang-solo ruas ruas ungaran–bawen paket v),” *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 1–3, 2019.
- [32] M. J. Fuad, “Penjadwalan dan alokasi material dengan metode line of balance (lob) pada proyek pelebaran jalan ap. pettarani utara makassar,” *vol*, vol. 7, pp. 153–161, 2019.
- [33] Y. Simamora and W. Nuswantoro, “Studi penjadwalan waktu dengan metode line of balance (lob) untuk membangun perumahan pasca bencana tsunami di nad (studi kasus pembangunan perumahan di calang),” *Jurnal Rekayasa Rancang Bangun*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2008.
- [34] D. Arditi, O. B. Tokdemir, and K. Suh, “Challenges in line-of-balance scheduling,” *Journal of construction engineering and management*, vol. 128, no. 6, pp. 545–556, 2002.
- [35] M. A. Ammar and A. F. Abdel-Maged, “Modeling of lob scheduling with learning development effect,” *International Journal of Construction Management*, vol. 18, no. 6, pp. 517–526, 2018.
- [36] S. Widodo, “Analisis penjadwalan proyek dengan metode line of balance pada proyek pembangunan perumahan grand efata malibela,” *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, vol. 8, no. 1, pp. 115–123, 2022.
- [37] K. M. Kumolontang, A. K. Dundu, and P. A. Pratasis, “Penerapan metode line of balance pada penjadwalan proyek perumahan kawanua emerald city,” *TEKNO*, vol. 22, no. 87, pp. 295–304, 2024.
- [38] A. Timothy and O. Gondokusumo, “Penjadwalan proyek perumahan x bintaro dengan metode line of balance yang disempurnakan,” *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, vol. 6, no. 2, pp. 281–290, 2022.



© 2025 by the authors. Licensee LINEARS, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>).