



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 21-38
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptainteletal.com/scripta-technica>

Analisis Efisiensi Waktu dan Biaya Metode Konvensional dan Steel Deck pada Pekerjaan Deck Slab Jembatan Jalan Tol

Kodrat Insany Taqwim^{1*}

¹ Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia
email: kodrato@gmail.com

Article Info :

Received:
04-01-2026
Revised:
07-02-2026
Accepted:
19-02-2026

Abstract

This study investigates the comparative efficiency of conventional cast-in-situ and steel deck methods for bridge deck slab construction in the Kapuk–Teluknaga–Rajeg Toll Road Project Phase I, Banten Province, Indonesia. The research applies a field-based empirical case study design with a quantitative approach, using primary data from site observations and structured interviews, and secondary data from shop drawings, project specifications, and cost documents. Cost estimation was conducted using unit price-based analysis following AHSP standards regulated by Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016, while construction duration was calculated based on actual productivity and activity sequencing. The results indicate that the conventional method required 17 working days with a total cost of Rp 592,003,970, whereas the steel deck method required only 8 working days with a total cost of Rp 553,984,460. These findings demonstrate that steel deck provides a 52.94% reduction in construction time and a 6.42% cost saving. The study further shows that steel deck shifts project cost structure from labor-intensive operations to controlled material-based execution, improving schedule reliability and construction productivity.

Keywords: Steel Deck, Cast In Situ, Deck Slab, Cost Efficiency, Time Efficiency.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji efisiensi relatif antara metode cor di tempat konvensional dan metode dek baja dalam konstruksi pelat dek jembatan pada Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Fase I, Provinsi Banten, Indonesia. Penelitian ini menggunakan desain studi kasus empiris berbasis lapangan dengan pendekatan kuantitatif, memanfaatkan data primer dari observasi lapangan dan wawancara terstruktur, serta data sekunder dari gambar kerja, spesifikasi proyek, dan dokumen biaya. Perhitungan biaya dilakukan menggunakan analisis berdasarkan harga satuan sesuai dengan standar AHSP yang diatur oleh Peraturan Menteri PUPR Nomor 28/PRT/M/2016, sementara durasi konstruksi dihitung berdasarkan produktivitas aktual dan urutan kegiatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode konvensional memerlukan 17 hari kerja dengan total biaya Rp 592.003.970, sedangkan metode dek baja hanya memerlukan 8 hari kerja dengan total biaya Rp 553.984.460. Temuan ini menunjukkan bahwa dek baja memberikan pengurangan waktu konstruksi sebesar 52,94% dan penghematan biaya sebesar 6,42%. Studi ini juga menunjukkan bahwa dek baja mengubah struktur biaya proyek dari operasi yang padat tenaga kerja menjadi pelaksanaan berbasis material yang terkendali, meningkatkan keandalan jadwal dan produktivitas konstruksi.

Kata kunci: Steel Deck, Cast In Situ, Deck Slab, Efisiensi Biaya, Efisiensi Waktu.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol pada dekade terakhir bergerak dalam lanskap global yang ditandai oleh percepatan mobilitas, tekanan efisiensi investasi publik, serta tuntutan keberlanjutan yang semakin ketat, sehingga setiap komponen konstruksi yang berkontribusi pada durasi proyek dan pembengkakan biaya menjadi titik kritis dalam manajemen proyek modern. Dalam konteks Indonesia, percepatan pembangunan jaringan jalan tol tidak hanya merupakan agenda konektivitas, melainkan juga instrumen ekonomi yang mengharuskan praktik konstruksi berorientasi produktivitas, ketepatan biaya, dan pengendalian waktu secara terukur. Laporan kinerja pembangunan jalan tol menunjukkan bahwa proyek-proyek tol berskala besar menghadapi kompleksitas pelaksanaan yang tinggi, terutama pada elemen struktur jembatan yang menjadi simpul teknis sekaligus simpul biaya dalam koridor tol. Pada level elemen struktural, deck slab jembatan

memiliki karakter pekerjaan yang repetitif namun sensitif terhadap kesalahan metode, keterlambatan material, dan gangguan lapangan, sehingga pilihan metode pelaksanaan menjadi variabel strategis dalam mencapai target kinerja proyek. Konstruksi berbasis sistem komposit steel–concrete dan pemanfaatan steel deck berkembang sebagai respons terhadap kebutuhan percepatan pelaksanaan, pengurangan intensitas pekerjaan bekisting, serta peningkatan produktivitas tenaga kerja pada proyek berskala besar. Literatur internasional memosisikan transformasi metode konstruksi lantai dan deck sebagai bagian dari evolusi sistem produksi konstruksi yang menuntut efisiensi lintas dimensi, bukan sekadar penggantian material, melainkan pergeseran logika kerja dari pendekatan craft-based menuju industrialized construction yang lebih terukur (Al-Sabah et al., 2023; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023).

Penelitian terdahulu telah menghasilkan pemahaman penting bahwa perubahan metode pelaksanaan deck atau pelat lantai tidak dapat dinilai hanya melalui perbandingan biaya langsung, karena dampaknya bersifat sistemik terhadap produktivitas, urutan kerja, kebutuhan alat, serta risiko rework yang berimplikasi pada biaya tidak langsung. Studi perbandingan antara metode bondek/steel deck dan metode konvensional menunjukkan bahwa pengurangan pekerjaan bekisting dan perancah dapat mengurangi durasi pekerjaan dan meningkatkan keteraturan siklus kerja, namun besaran efisiensi sangat bergantung pada karakter proyek, ketepatan desain, serta manajemen pengadaan (Christian & Kushartomo, 2023). Temuan serupa dalam studi kasus perubahan metode dari pracetak ke steel deck mengindikasikan bahwa efisiensi biaya dapat meningkat signifikan ketika strategi pengadaan material dilakukan melalui cutting list yang presisi, sehingga waste material dan ketidaksesuaian kebutuhan lapangan dapat ditekan secara nyata, bukan hanya diasumsikan secara normatif (Andre, 2023). Kajian perbandingan biaya dan waktu antara pelat panel dan konvensional memperlihatkan bahwa pendekatan industrialisasi pekerjaan struktur cenderung menguntungkan dari sisi durasi, namun dapat menghadirkan trade-off berupa biaya awal yang lebih tinggi atau kebutuhan koordinasi teknis yang lebih ketat, sehingga efisiensi bukan hasil otomatis melainkan hasil dari konfigurasi manajerial dan teknis yang tepat (Fatoni et al., 2024). Pada saat yang sama, studi manajemen konstruksi pada proyek jembatan menegaskan bahwa keberhasilan pelaksanaan bukan hanya ditentukan metode, melainkan integrasi antara perencanaan, pengendalian mutu, dan pengendalian waktu yang konsisten, sehingga metode baru tanpa pengendalian lapangan yang kuat tetap berpotensi menghasilkan deviasi biaya dan jadwal (Desrita et al., 2024).

Meskipun literatur telah menunjukkan arah umum bahwa sistem steel deck berpotensi mempercepat pekerjaan dan menurunkan beban pekerjaan lapangan, terdapat keterbatasan konseptual dan empiris yang cukup tajam ketika hasil-hasil tersebut dibawa ke konteks deck slab jembatan jalan tol, khususnya pada proyek yang memiliki standar mutu tinggi dan tekanan target penyelesaian yang ketat. Banyak studi cenderung berfokus pada pelat lantai bangunan gedung atau konteks struktur yang relatif lebih homogen, sehingga generalisasi terhadap deck slab jembatan tol berisiko menyederhanakan kompleksitas seperti kebutuhan staging, koordinasi dengan pekerjaan girder, serta kendala akses dan keselamatan kerja. Inkonsistensi juga muncul pada aspek biaya, karena sebagian penelitian mengukur biaya berdasarkan komponen langsung, sementara biaya tidak langsung, biaya akibat perubahan metode, serta implikasi terhadap pengendalian mutu sering kali tidak dihitung secara komprehensif. Pada sisi lain, standar dan regulasi penentuan harga satuan pekerjaan di Indonesia memiliki struktur AHSP yang dapat memengaruhi cara biaya dikalkulasi secara formal, sehingga evaluasi efisiensi yang tidak mengaitkan metode pelaksanaan dengan kerangka AHSP berpotensi menghasilkan kesimpulan yang kurang kompatibel dengan praktik perencanaan biaya proyek (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016). Kesenjangan lain tampak pada minimnya pengujian efisiensi metode yang berbasis data proyek aktual jalan tol, padahal proyek tol memiliki ritme kerja, skala volume, dan struktur biaya yang berbeda dibanding proyek-proyek umum. Bahkan pada literatur jembatan yang lebih teknis, fokus riset sering diarahkan pada aspek pemodelan struktur atau pemantauan kesehatan struktur, sehingga aspek efisiensi metode pelaksanaan deck slab belum menjadi objek kajian utama yang terukur secara kuantitatif (Dewi et al., 2025; Akbar et al., 2025).

Masalah yang belum terjawab ini memiliki urgensi ilmiah karena menyangkut bagaimana hubungan sebab–akibat antara pilihan metode pelaksanaan dan kinerja proyek dapat dipahami secara

kuantitatif dalam konteks jembatan tol yang kompleks, bukan hanya melalui klaim “lebih cepat” atau “lebih murah” yang bersifat generik. Dari sisi praktis, keputusan pemilihan metode deck slab berada pada titik pertemuan antara kepentingan pemilik proyek, kontraktor, dan konsultan pengawas, sehingga keputusan tersebut memerlukan bukti yang dapat dipertanggungjawabkan secara teknis maupun ekonomis, terutama ketika proyek berada pada skala investasi besar dan memiliki risiko keterlambatan yang berdampak luas. Ketika efisiensi metode tidak dihitung dengan pendekatan yang presisi, proyek berpotensi mengalami bias perencanaan, misalnya metode steel deck dianggap lebih efisien karena menekan durasi, namun tidak dihitung biaya tambahan akibat kebutuhan material khusus, perubahan shop drawing, atau penyesuaian tenaga kerja. Sebaliknya, metode konvensional dapat terlihat lebih murah dalam dokumen RAB, namun menghasilkan durasi lebih panjang yang memicu biaya overhead dan biaya keterlambatan, sehingga biaya total proyek sebenarnya menjadi lebih tinggi. Konteks pembangunan jalan tol yang terus meningkat menempatkan isu efisiensi sebagai kebutuhan sistemik, bukan isu lokal proyek tertentu, sehingga studi yang mampu memetakan efisiensi biaya dan waktu secara terukur pada deck slab jembatan akan memiliki nilai guna yang langsung bagi pengambilan keputusan dan pengembangan praktik konstruksi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023).

Posisi riset ini ditempatkan pada irisan antara kajian manajemen konstruksi, rekayasa metode pelaksanaan, dan evaluasi biaya berbasis standar perencanaan Indonesia, sehingga kontribusinya diarahkan untuk menjembatani temuan-temuan literatur sistem komposit internasional dengan realitas proyek jembatan tol nasional. Kerangka pemikiran penelitian tidak menempatkan metode konvensional dan steel deck sebagai pilihan biner yang dinilai secara normatif, melainkan sebagai dua sistem produksi konstruksi dengan struktur biaya, struktur waktu, serta struktur risiko yang berbeda, yang hanya dapat dibandingkan secara adil jika parameter dan basis datanya ditetapkan secara konsisten. Studi ini juga memposisikan efisiensi sebagai variabel yang dapat diukur melalui data proyek aktual, bukan melalui asumsi teoritis, sehingga hasilnya diharapkan lebih kuat dibandingkan studi yang hanya menilai biaya material atau hanya membandingkan durasi tanpa mengaitkan keduanya. Dengan memanfaatkan dokumen proyek seperti shop drawing, RAB, AHSP, dan spesifikasi teknis, penelitian ini berupaya menutup celah antara kajian akademik dan praktik pengendalian biaya-waktu yang digunakan kontraktor dan pemilik proyek. Pendekatan ini sekaligus menjawab kekurangan literatur yang belum secara konsisten mengaitkan perubahan metode pelaksanaan dengan struktur perhitungan biaya formal dan dinamika produktivitas lapangan yang nyata, terutama pada pekerjaan deck slab jembatan jalan tol.

Penelitian ini bertujuan menganalisis secara kuantitatif efisiensi waktu dan biaya antara metode konvensional (cast in situ) dan metode steel deck pada pekerjaan deck slab, melalui studi kasus Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I di Provinsi Banten. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan serta wawancara dengan pelaksana lapangan dan tim teknis untuk menangkap dinamika aktual pelaksanaan, sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen proyek yang meliputi shop drawing deck slab, RAB, AHSP, serta spesifikasi teknis sebagai basis perhitungan biaya dan evaluasi durasi. Kontribusi teoretis penelitian diarahkan pada penguatan model argumentasi bahwa efisiensi metode bukan atribut inheren dari teknologi, melainkan hasil interaksi antara desain, urutan kerja, produktivitas, dan kerangka perhitungan biaya. Kontribusi metodologisnya terletak pada penyusunan prosedur pembandingan biaya dan durasi yang berbasis data proyek aktual dan terstruktur, sehingga dapat direplikasi pada proyek jembatan tol lain dengan karakteristik serupa. Output penelitian diharapkan menjadi dasar pengambilan keputusan metode pelaksanaan yang lebih akurat bagi pelaku industri, sekaligus memperkaya literatur manajemen konstruksi pada konteks deck slab jembatan jalan tol yang selama ini relatif kurang terkuantifikasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris berbasis data proyek (field-based empirical study) dengan pendekatan kuantitatif dan desain studi kasus pada Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I, Provinsi Banten, yang membandingkan dua alternatif metode pelaksanaan pekerjaan deck slab jembatan, yaitu metode konvensional (cast in situ) dan metode steel deck. Arsitektur kajian

disusun sebagai sistem analisis dua-skenario yang memiliki batasan objek sama (geometri deck slab, lokasi, spesifikasi teknis), namun berbeda pada komponen kerja, sumber daya, serta urutan aktivitas. Bahan dan komponen pekerjaan yang dianalisis meliputi beton deck slab, tulangan baja, bekisting dan perancah untuk metode konvensional, serta lembaran baja bergelombang (steel deck) sebagai bekisting permanen sekaligus elemen tarik positif untuk metode steel deck, termasuk kebutuhan erection/angkat, pengikatan, dan integrasi dengan tulangan tambahan. Data primer diperoleh melalui observasi langsung proses kerja dan wawancara terstruktur dengan pelaksana lapangan serta tim teknis untuk mengidentifikasi produktivitas aktual, penggunaan alat, serta urutan kerja riil, sedangkan data sekunder diambil dari dokumen proyek berupa shop drawing deck slab, RAB, AHSP, dan spesifikasi teknis sebagai basis perhitungan volume, biaya, dan penetapan item pekerjaan. Implementasi analisis dilakukan melalui tahapan yang replikatif, yaitu perhitungan volume berbasis geometri dari shop drawing untuk tiap metode (termasuk komponen unik seperti bongkar-pasang bekisting pada metode konvensional dan pemasangan steel deck pada metode alternatif), klasifikasi item pekerjaan, serta penyusunan struktur biaya dan waktu yang identik pada tingkat keluaran agar hasil perbandingan bersifat setara secara metodologis.

Prosedur pengujian dilakukan melalui dua jalur evaluasi yang saling mengunci, yaitu uji efisiensi biaya dan uji efisiensi durasi, dengan unit analisis pada level item pekerjaan dan total pekerjaan deck slab. Analisis biaya dilakukan menggunakan pendekatan unit price-based estimation dengan acuan AHSP sesuai Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016, melalui langkah: (1) menetapkan volume tiap item, (2) menetapkan harga satuan yang mencakup material, tenaga kerja, dan peralatan, (3) menghitung biaya item sebagai hasil perkalian volume dan harga satuan, serta (4) menjumlahkan seluruh item untuk memperoleh total biaya per metode; komponen yang dievaluasi meliputi bekisting/perancah, pembesian, pengecoran, pemasangan steel deck, dan pekerjaan pengangkatan/erection. Analisis waktu dilakukan dengan menghitung durasi setiap item berdasarkan produktivitas harian tenaga kerja dan peralatan aktual proyek, dengan rumus $\text{durasi} = \text{volume}/\text{produktivitas}$, kemudian disusun menjadi time schedule untuk memperoleh durasi total per metode. Validasi dilakukan melalui triangulasi antara hasil perhitungan, catatan pelaksanaan lapangan, serta konfirmasi teknis dari pelaksana untuk memastikan bahwa produktivitas, urutan kerja, dan komponen biaya yang dihitung merepresentasikan kondisi aktual proyek, sekaligus mencegah bias perhitungan akibat asumsi teoritis. Metrik evaluasi kinerja ditetapkan secara eksplisit berupa total biaya pekerjaan (Rp), total durasi pelaksanaan (hari kerja), persentase efisiensi biaya (%), dan persentase efisiensi waktu (%) yang dihitung terhadap metode pembandingan, sehingga keluaran penelitian dapat direplikasi pada proyek lain dengan cara memasukkan shop drawing, AHSP, data produktivitas aktual, serta struktur item pekerjaan yang setara.

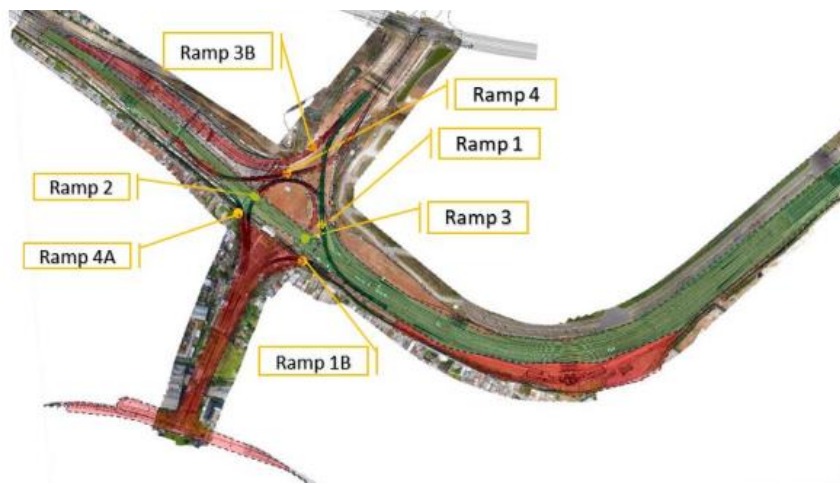
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Proyek dan Kuantifikasi Volume Pekerjaan Deck Slab

Pekerjaan deck slab pada jembatan jalan tol dalam studi kasus ini diposisikan sebagai elemen struktur atas yang menentukan keterhubungan antara sistem gelagar dan fungsi layanan lalu lintas, sehingga ia bukan sekadar komponen pelat, melainkan simpul teknis yang memengaruhi stabilitas jadwal dan struktur biaya proyek. Pada proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I, variasi segmen dan konfigurasi bentang menghasilkan kebutuhan pengelompokan tipe pekerjaan agar kuantitas dapat dihitung secara konsisten dan dapat ditelusuri kembali ke dokumen desain. Kebutuhan keterlacakan ini sejalan dengan prinsip studi kasus empiris yang menuntut rantai bukti dari dokumen teknis menuju angka analisis, sehingga setiap keluaran kuantitatif dapat direplikasi dan diverifikasi (Yin, 2021). Dari sudut pandang rekayasa struktur, deck slab merupakan bagian dari upper structure yang memikul beban kendaraan dan mentransferkannya ke elemen utama, sehingga kesalahan kuantifikasi akan berdampak pada ketepatan evaluasi biaya, waktu, dan kebutuhan sumber daya (Harefa et al., 2023). Konteks ini menjadikan deskripsi proyek dan pemetaan lokasi sebagai langkah yang relevan secara ilmiah, karena kondisi site menentukan akses kerja, logistik material, dan ritme pelaksanaan yang kemudian memengaruhi produktivitas.

Kondisi proyek yang berada pada wilayah DKI Jakarta dan Banten memberikan implikasi pada manajemen pelaksanaan karena proyek berada pada koridor urban–peri-urban dengan intensitas lalu

lintas tinggi dan kebutuhan pengaturan kerja yang ketat. Karakteristik tersebut umumnya memunculkan risiko keterlambatan akibat pembatasan mobilisasi, keterbatasan ruang kerja, serta ketergantungan pada koordinasi antar pekerjaan, yang merupakan faktor dominan dalam produktivitas konstruksi (Hwang et al., 2021). Pada proyek jalan tol, percepatan pelaksanaan bukan sekadar target internal kontraktor, melainkan kebutuhan sistemik karena keterlambatan segmen tertentu dapat menghambat konektivitas koridor secara keseluruhan (Kementerian PUPR, 2023). Dalam konteks tersebut, pekerjaan deck slab menjadi titik kritis karena ia berada pada urutan kerja yang harus sinkron dengan pekerjaan girder, pengangkatan, dan pengendalian mutu struktur atas. Studi perencanaan struktur atas jembatan menegaskan bahwa elemen pelat lantai harus dipahami sebagai bagian integral dari sistem, sehingga pelaksanaan yang tidak efisien dapat memperbesar risiko deviasi jadwal dan biaya (Harefa et al., 2023).



Gambar 1. Site Plan Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I
Sumber: Dokumen Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I, 2022–2023.

Kehadiran site plan pada Gambar 1 memperjelas bahwa lokasi pekerjaan berada pada jaringan konektivitas strategis, sehingga tuntutan manajemen waktu dan biaya menjadi lebih ketat dibandingkan proyek jembatan non-koridor. Perspektif ekonomi infrastruktur menempatkan proyek jalan tol sebagai instrumen pertumbuhan yang memengaruhi produktivitas wilayah melalui peningkatan konektivitas dan penurunan biaya logistik, sehingga keterlambatan konstruksi berpotensi menunda manfaat ekonomi yang diharapkan (Pradhan et al., 2020). Pada tingkat proyek, tuntutan tersebut mendorong kontraktor untuk mencari metode yang mampu menekan durasi pekerjaan struktur berulang, terutama pada pekerjaan deck slab yang volumenya besar dan memiliki pola repetisi. Literatur time–cost trade-off menekankan bahwa durasi pekerjaan struktur yang panjang sering memicu kenaikan biaya tidak langsung dan overhead, sehingga metode yang mempersingkat siklus kerja dapat menghasilkan keuntungan ekonomi meskipun biaya material meningkat (Sweis et al., 2020). Dengan basis ini, penelitian empiris yang membandingkan metode konvensional dan steel deck menjadi relevan karena ia menguji apakah percepatan durasi benar-benar disertai efisiensi biaya pada kondisi proyek nyata, bukan pada asumsi teoretis. Pembacaan tersebut menempatkan analisis volume sebagai fondasi, karena tanpa kuantitas yang valid, evaluasi biaya dan waktu akan kehilangan basis pembuktian.

Perhitungan volume pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis geometri yang merujuk pada shop drawing deck slab, sehingga luas dan tebal pelat digunakan untuk menghitung volume beton, sedangkan panjang dan berat tulangan digunakan untuk menghitung kebutuhan pembesian. Prinsip ini penting karena perbedaan metode pelaksanaan tidak selalu mengubah volume beton, namun dapat mengubah struktur item pekerjaan yang menyertai, terutama pada komponen bekisting, erection, dan pemasangan steel deck sebagai bekisting permanen. Studi sistem komposit menegaskan bahwa evaluasi kinerja metode harus membedakan antara volume

struktur utama dan volume aktivitas pelaksanaan, karena efisiensi sering berasal dari pengurangan pekerjaan temporer, bukan dari pengurangan volume struktur (Al-Sabah et al., 2023). Pada sistem steel deck, lembaran baja bergelombang berperan sebagai bekisting permanen sekaligus elemen tarik positif, sehingga luasan steel deck menjadi variabel penting yang memengaruhi kebutuhan pengangkatan, pemasangan, dan kontrol sambungan (Nguyen et al., 2022). Kebutuhan pemetaan komponen ini juga sejalan dengan temuan bahwa kesalahan dalam quantity takeoff merupakan salah satu sumber deviasi terbesar dalam studi efisiensi biaya-waktu, terutama ketika komponen pekerjaan tidak diklasifikasikan secara setara antar metode (Piter & Sucita, 2024).

Variasi tipe segmen pada studi kasus ini menunjukkan bahwa pekerjaan deck slab tidak dapat diperlakukan sebagai satu unit homogen, karena panjang bentang dan konfigurasi detail menghasilkan variasi jumlah besi, luasan steel deck, dan volume beton per tipe. Variasi tersebut memiliki implikasi pada produktivitas, sebab pekerjaan berulang dengan dimensi berbeda memengaruhi kecepatan pembesian, ketepatan pemasangan steel deck, serta ritme pengecoran, sebagaimana dijelaskan dalam kajian faktor produktivitas konstruksi yang menempatkan kompleksitas desain sebagai determinan produktivitas lapangan (Hwang et al., 2021). Dalam studi perbandingan sistem deck slab pada accelerated bridge construction, variasi detail juga terbukti memengaruhi performa sistem komposit dalam fase konstruksi, terutama terkait penyesuaian detail lapangan (Kim & Lee, 2020). Konsekuensi metodologisnya adalah volume harus dihitung per tipe agar komparasi antar metode tidak menghasilkan bias agregat yang menutupi dominasi tipe tertentu. Pada konteks jembatan, ketelitian kuantifikasi juga relevan karena deck slab bekerja sebagai bagian dari sistem struktur atas, sehingga kesalahan kuantitas dapat memengaruhi evaluasi kebutuhan tulangan dan integritas desain (Harefa et al., 2023). Dengan demikian, klasifikasi tipe segmen menjadi langkah penting yang menghubungkan dimensi desain dengan struktur aktivitas pelaksanaan.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Volume Pekerjaan Deck Slab

No	Item Pekerjaan	Total Segmen (pcs)	Total Besi (kg)	Total Steeldeck (m ²)	Volume Beton (m ³)
1	Type-1a (25,6 m)	72	1.208	137	7,68
2	Type-1b (25,6 m)	8	118	14	0,75
3	Type-2a (40,8 m)	40	729	80	4,59
4	Type-2b (35,6 m)	16	265	30	1,70
5	Type-2c (30,6 m & 40,8 m)	96	1.565	174	9,83
6	Type-2d (30,6 m/35,6 m/40,8 m)	1.312	22.054	2.303	129,95
7	Type-2e (35,6 m)	16	234	27	1,51
8	Type-2f (30,6 m)	56	806	92	5,05
Total	-	1.616	25.979	2.856	160

Sumber: Hasil perhitungan volume berdasarkan shop drawing deck slab dan dokumen teknis proyek, 2022–2023.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa segmen Type-2d mendominasi jumlah segmen dan volume pekerjaan, sehingga tipe ini berperan sebagai pengendali utama kebutuhan material dan intensitas aktivitas pelaksanaan. Dominasi Type-2d juga menunjukkan bahwa efisiensi metode yang dihitung pada penelitian ini pada dasarnya akan sangat dipengaruhi oleh performa metode pada segmen repetitif berskala besar, bukan pada segmen minor yang jumlahnya terbatas. Pola ini penting karena dalam sistem produksi konstruksi, volume dominan akan menentukan stabilitas produktivitas, pembelajaran tenaga kerja, dan peluang standardisasi aktivitas, sehingga metode yang lebih efektif pada volume dominan akan cenderung menghasilkan efisiensi agregat yang lebih tinggi (Hwang et al., 2021). Dari perspektif sistem komposit, luasan steel deck sebesar 2.856 m² menegaskan bahwa metode steel deck pada studi kasus ini diterapkan sebagai solusi berskala besar, sehingga dampaknya terhadap struktur biaya dan durasi berpotensi signifikan (Kim & Lee, 2020). Pada saat yang sama, total besi sebesar 25.979 kg menunjukkan bahwa pembesian tetap menjadi aktivitas inti yang memerlukan pengendalian mutu dan ketelitian, sehingga metode yang mengurangi pekerjaan temporer tidak menghilangkan kebutuhan kontrol pada pekerjaan struktural utama (Nguyen et al., 2022).

Interpretasi kuantitas pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa metode konvensional dan steel deck akan menghasilkan struktur aktivitas yang berbeda meskipun output struktur utamanya setara, sehingga efisiensi harus dipahami sebagai perbedaan sistem produksi, bukan perbedaan fungsi struktur. Pada metode konvensional, volume pekerjaan bekisting pasang dan bongkar menjadi aktivitas dominan yang menyerap tenaga kerja dan waktu, sedangkan pada metode steel deck aktivitas tersebut digantikan oleh pemasangan lembaran baja bergelombang yang bersifat permanen. Literatur perbandingan pelat bondek dan konvensional menunjukkan bahwa pengurangan pekerjaan bekisting menjadi salah satu sumber utama percepatan durasi, karena ia memotong tahapan kerja yang secara tradisional labor-intensive (Christian & Kushartomo, 2023). Kajian sistem komposit juga menegaskan bahwa peningkatan produktivitas sering muncul dari pengurangan pekerjaan sementara, peningkatan keteraturan siklus kerja, dan berkurangnya kebutuhan pembongkaran yang berisiko mengganggu mutu hasil pengecoran (Al-Sabah et al., 2023). Konsekuensi analitisnya adalah bahwa perbedaan metode harus dibaca melalui perbedaan aliran kerja, bukan hanya melalui perbedaan kuantitas material.

Hasil volume juga dapat ditafsirkan sebagai dasar untuk membaca trade-off biaya pada tahap berikutnya, karena steel deck cenderung meningkatkan komponen material namun berpotensi menurunkan komponen tenaga kerja dan alat. Pola trade-off ini konsisten dengan temuan studi perubahan metode yang menunjukkan bahwa efisiensi biaya dapat tercapai ketika peningkatan material dapat dikompensasi oleh pengurangan waste, pengurangan pekerjaan temporer, dan peningkatan produktivitas yang stabil (Andre, 2023). Dalam studi pelat panel dan pelat konvensional, efisiensi durasi terbukti lebih mudah dicapai dibanding efisiensi biaya, karena biaya material sering menjadi faktor penyeimbang yang dapat menurunkan keuntungan ekonomi jika tidak dikelola secara tepat (Fatoni et al., 2024). Pada konteks proyek jembatan, volume besar memperkuat efek kumulatif dari perbedaan metode terhadap biaya overhead dan biaya tidak langsung, sehingga percepatan durasi berpotensi menghasilkan efisiensi total meskipun biaya material meningkat (Sweis et al., 2020). Dalam perspektif manajemen konstruksi, pemetaan volume menjadi penting karena ia menentukan titik mana yang paling sensitif terhadap perubahan metode, terutama pada komponen repetitif yang mengendalikan durasi agregat (Desrita et al., 2024). Dengan basis tersebut, hasil volume pada penelitian ini menyediakan fondasi yang kuat untuk analisis biaya dan waktu yang akan dibahas pada bagian berikutnya.

Kuantifikasi volume pada penelitian ini juga relevan untuk dibaca dari perspektif risiko pelaksanaan, karena pekerjaan deck slab melibatkan aktivitas erection, kerja di ketinggian, dan interaksi intensif antara tenaga kerja dan peralatan. Studi risiko pada pekerjaan konstruksi menunjukkan bahwa semakin banyak tahapan kerja manual dan semakin panjang durasi paparan aktivitas berisiko, semakin tinggi probabilitas gangguan operasional yang dapat memengaruhi biaya dan jadwal (Sasmito, 2023). Dalam konteks metode konvensional, keberadaan bekisting dan perancah memperpanjang paparan kerja manual, sedangkan pada metode steel deck sebagian tahapan

dapat disederhanakan menjadi pemasangan lembaran baja yang lebih sistematis. Walaupun demikian, metode steel deck tetap memerlukan kontrol mutu yang ketat, karena kesalahan pemasangan dapat memengaruhi perilaku struktur pada fase konstruksi maupun layanan, sebagaimana ditunjukkan dalam evaluasi performa deck slab komposit terhadap beban konstruksi (Nguyen et al., 2022). Konsekuensi ilmiahnya adalah bahwa efisiensi metode harus dipahami sebagai efisiensi yang tetap kompatibel dengan persyaratan mutu dan integritas struktur, bukan efisiensi yang mengorbankan reliabilitas struktur jangka panjang.

Dalam jembatan jalan tol, kualitas dan ketelitian pelaksanaan deck slab juga memiliki implikasi pada siklus hidup struktur, karena kesalahan detail dapat memengaruhi kebutuhan pemeliharaan dan performa struktural pada masa layanan. Studi pemantauan kesehatan struktur menunjukkan bahwa perilaku jembatan yang diamati melalui sistem monitoring sangat sensitif terhadap kualitas detail konstruksi, sehingga efisiensi pelaksanaan harus berjalan paralel dengan kontrol mutu yang konsisten (Akbar et al., 2025). Pada kajian pemodelan respons struktur terhadap beban kendaraan, ketelitian geometri dan integrasi elemen struktur atas juga terbukti memengaruhi respons sistem, sehingga metode pelaksanaan tidak dapat dinilai hanya dari sisi kecepatan, melainkan juga dari sisi kepastian kualitas hasil (Dewi et al., 2025). Temuan ini memperkuat bahwa volume besi dan beton pada Tabel 1 bukan hanya angka kebutuhan material, tetapi indikator beban pekerjaan struktural yang menuntut disiplin teknis. Pada praktik manajemen proyek, disiplin tersebut sangat menentukan apakah metode alternatif benar-benar menghasilkan efisiensi, karena metode baru tanpa kontrol implementasi dapat menghasilkan rework yang menghapus manfaat percepatan (Desrita et al., 2024). Dengan demikian, pembacaan volume pada studi ini secara konseptual menghubungkan kebutuhan efisiensi dengan kebutuhan mutu, sehingga analisis biaya dan waktu pada bagian berikutnya dapat ditempatkan dalam kerangka efisiensi yang bertanggung jawab secara teknik.

Struktur Biaya dan Durasi Pelaksanaan Metode Konvensional dan Steel Deck

Evaluasi efisiensi pelaksanaan deck slab pada studi kasus Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I difokuskan pada dua keluaran kinerja utama, yaitu biaya langsung pelaksanaan dan durasi kerja efektif pada tingkat pekerjaan struktur atas, karena kedua indikator ini menjadi determinan dominan dalam pengendalian proyek jalan tol yang bersifat target-driven. Dalam perspektif manajemen konstruksi, biaya langsung pada pekerjaan deck slab secara teoritis tersusun dari tiga komponen utama, yakni biaya tenaga kerja, biaya material, dan biaya peralatan, yang masing-masing memiliki elastisitas berbeda terhadap perubahan metode kerja (Sweis et al., 2020). Perubahan metode dari cast in situ ke steel deck pada prinsipnya memodifikasi urutan aktivitas, mengurangi tahapan temporer seperti pemasangan dan pembongkaran bekisting, serta meningkatkan ketergantungan pada material fabrikasi, sehingga struktur biaya berpotensi bergeser dari labor-intensive menuju material-driven (Al-Sabah et al., 2023). Pola pergeseran tersebut relevan dengan konsep accelerated bridge construction, di mana percepatan dicapai melalui integrasi fungsi elemen struktural dan reduksi aktivitas lapangan yang bersifat repetitif (Kim & Lee, 2020). Karena penelitian ini menggunakan desain studi kasus kuantitatif, interpretasi hasil biaya dan waktu tidak hanya bersifat komparatif, tetapi juga menilai rasionalitas perubahan komponen biaya serta konsistensinya dengan teori produktivitas konstruksi dan pengendalian jadwal proyek (Yin, 2021; Hwang et al., 2021).

Hasil perhitungan biaya pekerjaan pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa metode steel deck menghasilkan total biaya Rp 553.984.000, lebih rendah dibanding metode konvensional Rp 592.004.000, sehingga terjadi penghematan Rp 38.020.000 yang secara teknis merepresentasikan efisiensi biaya langsung. Temuan ini konsisten dengan literatur komparatif metode pelat lantai yang menunjukkan bahwa substitusi sistem bekisting temporer dengan elemen permanen cenderung mengurangi biaya tenaga kerja dan peralatan, meskipun biaya material dapat meningkat (Christian & Kushartomo, 2023; Prabaswara & Nurdianto, 2024). Secara empiris, penghematan terbesar pada studi ini terjadi pada komponen alat, yaitu dari Rp 56.280.000 menjadi Rp 25.640.000, yang mengindikasikan berkurangnya kebutuhan alat bantu dan durasi pemakaian peralatan terkait bekisting serta erection. Pada saat yang sama, biaya upah turun dari Rp 74.397.000 menjadi Rp 57.118.000, yang memperkuat argumentasi bahwa steel deck mengurangi intensitas tenaga kerja

pada aktivitas bekisting dan pembesian konvensional. Sebaliknya, biaya bahan meningkat dari Rp 461.327.000 menjadi Rp 471.226.000, sehingga secara ilmiah dapat ditafsirkan sebagai trade-off biaya yang umum pada sistem komposit baja–beton, karena penggunaan steel deck sebagai elemen struktural sekaligus bekisting permanen memperbesar porsi material yang dibeli dalam bentuk produk fabrikasi (Nguyen et al., 2022; Al-Sabah et al., 2023).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Deck Slab Metode Konvensional dan Steel Deck

Komponen	Konvensional (Rp)	Steel deck (Rp)	Penghematan (Rp)
Upah	74.397.000	57.118.000	17.279.000
Bahan	461.327.000	471.226.000	-9.899.000
Alat	56.280.000	25.640.000	30.640.000
TOTAL	592.004.000	553.984.000	38.020.000

Sumber: Data primer observasi lapangan dan wawancara tim teknis, serta data sekunder RAB, AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016, dan dokumen proyek (2022–2023).

Struktur biaya pada Tabel 2 menunjukkan bahwa efisiensi metode steel deck bukan berasal dari satu komponen tunggal, melainkan dari kombinasi penurunan biaya upah dan alat yang melampaui kenaikan biaya material, sehingga menghasilkan penghematan bersih. Secara metodologis, pola ini memperlihatkan bahwa efisiensi biaya tidak selalu identik dengan penurunan biaya material, melainkan lebih kuat terkait pada reduksi aktivitas lapangan yang memerlukan waktu kerja manusia dan pemakaian alat, sebagaimana dijelaskan dalam studi time–cost trade-off pada proyek konstruksi (Sweis et al., 2020). Dalam konteks proyek jalan tol, pengendalian biaya berbasis unit price juga sangat sensitif terhadap produktivitas lapangan, karena penurunan durasi kerja sering kali menurunkan kebutuhan alat dan jumlah jam kerja, sehingga efek biaya bersifat multiplikatif. Hasil ini selaras dengan studi Andre (2023) yang menekankan bahwa perubahan metode ke steel deck pada proyek jalan tol dapat menekan biaya melalui penyederhanaan tahapan kerja dan perencanaan material berbasis cutting list yang lebih presisi. Temuan ini juga sejalan dengan Fatoni et al. (2024) dan Susila & Sungkono (2025) yang menunjukkan bahwa metode alternatif pada pekerjaan pelat lantai cenderung unggul pada efisiensi biaya ketika aktivitas bekisting dan pekerjaan repetitif dapat dieliminasi atau dipangkas. Dengan demikian, hasil biaya pada studi ini dapat dikategorikan sebagai bukti empiris bahwa steel deck lebih efisien pada struktur biaya proyek yang menuntut kontrol ketat terhadap sumber daya tenaga kerja dan peralatan, terutama pada proyek berskala besar dan bersegmen seperti jalan tol (Kementerian PUPR, 2023).

Analisis durasi pelaksanaan pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa metode konvensional membutuhkan 17 hari, sedangkan metode steel deck hanya membutuhkan 8 hari, yang berarti terdapat percepatan 9 hari untuk pekerjaan deck slab pada volume pekerjaan yang setara. Dalam teori produktivitas konstruksi, durasi pekerjaan dipengaruhi oleh jumlah aktivitas, kompleksitas tahapan, serta hambatan yang timbul akibat ketergantungan antar-pekerjaan, sehingga metode yang mengurangi jumlah aktivitas dan memperpendek jalur kritis cenderung menghasilkan durasi lebih singkat (Hwang et al., 2021). Pada metode konvensional, rangkaian pekerjaan terdiri dari persiapan, bekisting, pembesian, pengecoran, dan erection, sehingga waktu kerja terdistribusi pada beberapa aktivitas yang saling bergantung. Pada metode steel deck, aktivitas bekisting konvensional tidak muncul sebagai pekerjaan terpisah karena steel deck berfungsi sebagai bekisting permanen, sehingga jalur kritis lebih pendek dan konsentrasi kerja beralih pada pemasangan steel deck dan pengecoran. Pola ini konsisten dengan pendekatan accelerated construction pada sistem deck slab komposit, di mana percepatan diperoleh melalui integrasi fungsi elemen struktural yang mengurangi aktivitas lapangan (Kim & Lee, 2020). Selain itu, dari sisi manajemen proyek, durasi yang lebih singkat pada pekerjaan deck slab dapat memperbaiki kesinambungan pekerjaan struktur atas dan mengurangi risiko keterlambatan pada tahapan lanjutan seperti pekerjaan barrier, asphalt, serta pekerjaan finishing jembatan (Desrita et al., 2024).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Deck Slab

No	Tahapan Pekerjaan	Satuan	Volume	Konvensional (hari)	Steel deck (hari)
METODE KONVENSIONAL				Total: 17 hari	
1	Persiapan	ls	1	1	-
2	Bekisting	m ²	1.616	1	-
3	Pembesian	kg	25.979	7	-
4	Pengecoran	m ³	160	7	7
5	Erection	bh	1.616	3	1
METODE STEEL DECK				Total: 8 hari	
1	Persiapan	ls	1	-	1
2	Pemasangan steel deck	m ²	2.856	-	7

Sumber: Data primer produktivitas aktual lapangan (observasi dan wawancara), serta analisis durasi berbasis AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 dan dokumen proyek (2022–2023).

Interpretasi durasi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa percepatan pada metode steel deck terutama berasal dari eliminasi tahapan bekisting dan pembesian konvensional sebagai pekerjaan dominan, serta reduksi durasi erection dari 3 hari menjadi 1 hari. Temuan ini memperkuat argumen bahwa steel deck bukan sekadar substitusi material, tetapi perubahan sistem kerja yang menurunkan jumlah pekerjaan temporer yang biasanya memakan waktu dan memerlukan koordinasi intensif (Al-Sabah et al., 2023). Dalam studi Riyadi et al. (2022), percepatan waktu pada sistem alternatif pelat juga banyak dipengaruhi oleh reduksi aktivitas bekisting, yang merupakan pekerjaan dengan ketergantungan tinggi pada tenaga kerja dan kondisi lapangan. Percepatan ini juga sejalan dengan Yulianto et al. (2026) yang menunjukkan bahwa metode alternatif pada pekerjaan struktur dapat mengurangi durasi secara signifikan ketika tahapan kerja lebih ringkas dan produktivitas lebih stabil. Dari perspektif teknis, durasi pengecoran pada kedua metode sama-sama 7 hari, sehingga percepatan tidak berasal dari perubahan volume beton, melainkan dari tahapan pra-cor yang lebih singkat pada steel deck. Hal ini sejalan dengan temuan Nguyen et al. (2022) bahwa sistem steel deck cenderung mempercepat tahap konstruksi karena pemasangan deck bersifat modular dan lebih mudah dikontrol dibanding pemasangan bekisting konvensional. Secara keseluruhan, hasil durasi ini menegaskan bahwa metode steel deck lebih adaptif terhadap kebutuhan proyek jalan tol yang menuntut percepatan penyelesaian struktur jembatan untuk menjaga kontinuitas lintasan dan target operasional proyek (Kementerian PUPR, 2023).

Hubungan antara hasil biaya dan hasil waktu pada sub-bahasan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme produktivitas dan struktur biaya, di mana percepatan durasi pada metode steel deck berkorelasi dengan penurunan biaya upah dan alat. Dalam teori time–cost trade-off, percepatan tidak selalu meningkatkan biaya, karena pada pekerjaan tertentu percepatan justru dapat menurunkan biaya akibat berkurangnya jam kerja, sewa alat, dan biaya tidak langsung yang terkait pada lamanya pelaksanaan (Sweis et al., 2020). Temuan empiris pada studi ini menunjukkan bahwa percepatan 9 hari tidak memicu kenaikan biaya total, melainkan menghasilkan penghematan bersih, sehingga steel deck dapat diklasifikasikan sebagai solusi simultan untuk dua sasaran manajemen proyek. Dalam praktik manajemen konstruksi jembatan, keputusan metode pelaksanaan juga dipengaruhi oleh risiko pekerjaan, termasuk risiko keselamatan kerja, keterbatasan ruang kerja, dan potensi rework, sehingga metode yang mengurangi aktivitas lapangan biasanya dipandang lebih aman dan lebih terkendali (Sasmito, 2023). Secara konseptual, steel deck mengurangi pekerjaan manual bekisting dan pembesian di ketinggian, sehingga berpotensi menurunkan exposure pekerja terhadap risiko jatuh

dan meningkatkan kontrol mutu pemasangan. Hal ini relevan dengan pendekatan penerapan manajemen konstruksi pada proyek jembatan yang menekankan integrasi metode kerja, produktivitas, dan pengendalian risiko sebagai satu kesatuan keputusan teknis (Desrita et al., 2024).

Meskipun metode steel deck terbukti unggul dalam biaya dan durasi pada kasus ini, analisis ilmiah perlu menegaskan bahwa efisiensi tersebut bersifat kontekstual terhadap kondisi proyek, termasuk skala segmen, akses alat angkat, serta stabilitas pasokan material steel deck. Kenaikan biaya bahan sebesar Rp 9.899.000 pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa efisiensi biaya tidak otomatis terjadi jika harga steel deck meningkat atau jika rantai pasok mengalami gangguan, sehingga sensitivitas harga material menjadi variabel penting dalam replikasi penelitian. Dalam studi Piter & Sucita (2024), akurasi quantity takeoff menjadi faktor kritis yang menentukan reliabilitas estimasi biaya, sehingga penggunaan shop drawing dan dokumen proyek yang presisi menjadi prasyarat untuk menyimpulkan efisiensi metode. Di sisi lain, pada proyek jalan tol, percepatan durasi pekerjaan struktur dapat memberikan dampak ekonomi tidak langsung melalui percepatan operasional, yang dalam literatur infrastruktur berkorelasi dengan manfaat ekonomi makro seperti peningkatan konektivitas dan efisiensi logistik (Pradhan et al., 2020). Dengan demikian, hasil efisiensi pada deck slab tidak hanya bermakna pada level pekerjaan, tetapi juga dapat berkontribusi pada tujuan proyek jalan tol secara lebih luas, terutama ketika percepatan terjadi pada komponen struktural yang berada pada jalur kritis pembangunan. Penilaian ini sejalan dengan perspektif bahwa proyek infrastruktur bukan sekadar output fisik, tetapi juga instrumen ekonomi yang manfaatnya sangat dipengaruhi oleh ketepatan waktu penyelesaian (Pradhan et al., 2020). Oleh sebab itu, hasil biaya dan waktu pada sub-bahasan ini dapat dipandang sebagai dasar teknis untuk mendukung keputusan metode kerja yang lebih strategis pada proyek jalan tol.

Keandalan hasil pada studi ini juga bergantung pada kesesuaian standar perhitungan yang digunakan, karena analisis biaya dan waktu mengikuti AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 yang menjadi acuan formal perhitungan harga satuan pekerjaan. Standarisasi ini meningkatkan reproduktifitas, karena struktur perhitungan biaya dan produktivitas dapat diterapkan ulang pada proyek lain dengan memasukkan volume dan produktivitas aktual yang setara (Kementerian PUPR, 2016). Dalam konteks evaluasi struktur jembatan, pemilihan metode pelaksanaan juga harus mempertimbangkan aspek struktural, misalnya perilaku sistem komposit baja–beton, kekakuan, dan respons terhadap beban konstruksi, sehingga metode steel deck perlu tetap dikontrol dengan spesifikasi teknis yang sesuai (Nguyen et al., 2022). Literatur struktural juga menekankan pentingnya pemodelan dan evaluasi rantai kendaraan pada sistem jembatan, karena konfigurasi struktur atas dapat mempengaruhi distribusi beban dan performa elemen, terutama pada bentang panjang (Dewi et al., 2025). Walaupun penelitian ini fokus pada biaya dan waktu, konsistensi sistem struktur atas tetap relevan untuk memastikan bahwa percepatan tidak mengorbankan aspek keselamatan dan kinerja jangka panjang. Hal ini sejalan dengan kajian perencanaan struktur atas jembatan yang menempatkan integritas struktural sebagai syarat utama sebelum pertimbangan efisiensi pelaksanaan (Harefa et al., 2023). Dengan demikian, efisiensi metode steel deck pada penelitian ini harus dibaca sebagai efisiensi pelaksanaan yang tetap berada dalam koridor spesifikasi teknis struktur jembatan.

Dari sisi penerapan praktik rekayasa, temuan pada Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan bahwa metode steel deck dapat dipandang sebagai bentuk value engineering pada pekerjaan deck slab, karena memberikan peningkatan kinerja tanpa meningkatkan biaya total. Konsep value engineering dalam konstruksi menekankan optimasi fungsi, biaya, dan waktu, dengan mengidentifikasi aktivitas yang dapat dieliminasi atau digantikan tanpa mengurangi kualitas hasil (Sawaluddin et al., 2024). Dalam konteks ini, bekisting temporer pada metode konvensional dapat diposisikan sebagai aktivitas dengan nilai fungsi terbatas karena hanya berperan sebagai alat bantu sementara, sehingga substitusinya dengan steel deck yang bersifat permanen menghasilkan nilai tambah. Temuan ini juga konsisten dengan studi Prasetyo & Manurung (2026) yang menekankan bahwa efisiensi pada struktur jembatan tidak hanya berkaitan dengan desain, tetapi juga dengan strategi pelaksanaan yang meminimalkan pemborosan sumber daya. Selain itu, metode steel deck dapat meningkatkan kepastian mutu pelaksanaan karena komponen fabrikasi cenderung memiliki toleransi dimensi yang lebih terkendali dibanding bekisting konvensional yang sangat bergantung pada keterampilan lapangan. Pada level manajemen proyek, peningkatan kepastian ini dapat menurunkan probabilitas

rework, yang secara teoritis berdampak pada pengendalian biaya dan waktu (Hwang et al., 2021). Oleh sebab itu, keunggulan metode steel deck dalam studi ini dapat dibaca sebagai kombinasi efisiensi ekonomi dan peningkatan kualitas proses.

Temuan biaya dan durasi pada sub-bahasan ini juga dapat dibandingkan dengan studi lain yang mengevaluasi sistem pelat alternatif, misalnya bondek atau sistem komposit lainnya, yang umumnya menunjukkan percepatan durasi dan efisiensi biaya dalam konteks tertentu. Christian & Kushartomo (2023) menunjukkan bahwa metode bondek dapat meningkatkan efektivitas pelaksanaan pelat lantai karena reduksi aktivitas bekisting dan percepatan pemasangan. Prabaswara & Nurdianto (2024) juga menemukan bahwa sistem alternatif pada pelat beton dapat memberikan keuntungan pada waktu pelaksanaan karena tahapan kerja lebih ringkas. Namun, studi-studi tersebut umumnya dilakukan pada bangunan gedung, sedangkan penelitian ini memberikan kontribusi empiris pada konteks jembatan jalan tol yang memiliki karakteristik risiko, akses, dan tuntutan jadwal berbeda. Hal ini penting karena pekerjaan deck slab pada jembatan memiliki kompleksitas tambahan, termasuk kebutuhan erection, pengendalian defleksi sementara, serta koordinasi dengan pekerjaan struktur atas lainnya (Harefa et al., 2023). Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bukti bahwa sistem steel deck tidak hanya relevan pada konstruksi gedung, tetapi juga efektif pada pekerjaan deck slab jembatan jalan tol ketika dikelola dengan produktivitas yang terukur. Keterkaitan ini memperluas relevansi akademik penelitian dan menempatkannya pada diskursus sistem komposit baja–beton dalam konstruksi infrastruktur modern (Kim & Lee, 2020; Nguyen et al., 2022).

Selain aspek biaya dan waktu, konteks keberlanjutan operasional jembatan juga perlu dipertimbangkan secara konseptual, karena perubahan metode pelaksanaan dapat mempengaruhi kebutuhan pemantauan dan pemeliharaan struktur. Dalam kajian Akbar et al. (2025), sistem pemantauan kesehatan struktur jembatan (SHMS) menjadi pendekatan penting untuk memastikan bahwa performa struktur tetap terjaga dalam jangka panjang, terutama pada jembatan dengan sistem struktur yang kompleks. Walaupun penelitian ini tidak menguji performa struktural pasca konstruksi, penerapan steel deck sebagai elemen tarik positif dapat mempengaruhi strategi inspeksi dan pemeliharaan, sehingga integrasi metode pelaksanaan dengan kebutuhan monitoring jangka panjang menjadi isu yang relevan. Dalam konteks ini, efisiensi pelaksanaan sebaiknya diposisikan sebagai bagian dari siklus hidup infrastruktur, bukan hanya output jangka pendek. Hal ini juga sejalan dengan literatur infrastruktur yang menekankan bahwa keputusan pada tahap konstruksi memiliki implikasi terhadap biaya siklus hidup dan manfaat ekonomi jangka panjang (Pradhan et al., 2020). Dengan demikian, hasil efisiensi biaya dan durasi pada sub-bahasan ini dapat menjadi dasar untuk diskusi lanjutan terkait optimasi metode kerja yang selaras dengan kebutuhan operasi, pemeliharaan, dan monitoring struktur. Penempatan analisis pada kerangka siklus hidup juga memperkuat karakter ilmiah penelitian karena menghubungkan temuan kuantitatif dengan konsekuensi teknis yang lebih luas.

Metode steel deck memberikan keuntungan simultan pada biaya dan durasi pada pekerjaan deck slab jembatan jalan tol, dengan pola penghematan yang dominan pada komponen alat dan tenaga kerja. Temuan ini memperlihatkan bahwa efisiensi metode kerja dapat dicapai melalui perubahan sistem konstruksi yang mengurangi aktivitas temporer dan meningkatkan integrasi fungsi elemen, sebagaimana dijelaskan dalam literatur sistem komposit baja–beton dan percepatan konstruksi (Al-Sabah et al., 2023; Kim & Lee, 2020). Penggunaan standar AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 meningkatkan validitas perhitungan biaya dan durasi, sementara triangulasi data observasi lapangan dan dokumen proyek memperkuat reliabilitas hasil studi kasus (Kementerian PUPR, 2016; Yin, 2021). Dalam perspektif manajemen proyek, hasil ini menunjukkan bahwa steel deck dapat menjadi alternatif yang lebih kompetitif pada proyek jalan tol yang menuntut percepatan dan pengendalian biaya, terutama pada pekerjaan struktur atas yang berada pada jalur kritis (Kementerian PUPR, 2023). Pada saat yang sama, interpretasi ilmiah menegaskan bahwa efisiensi tetap bergantung pada konteks harga material, akses alat angkat, serta produktivitas aktual, sehingga reproduksi pada proyek lain memerlukan penyesuaian input produktivitas dan harga satuan. Dengan kerangka ini,

Evaluasi Efisiensi Simultan Biaya–Waktu dan Penentuan Metode Optimum

Penentuan metode pelaksanaan deck slab yang optimum pada proyek jalan tol tidak dapat dilakukan hanya dengan melihat biaya atau waktu secara terpisah, karena kedua parameter tersebut saling mempengaruhi melalui mekanisme produktivitas, penggunaan sumber daya, serta jalur kritis pelaksanaan struktur atas. Dalam teori time–cost trade-off, pilihan metode yang lebih cepat tidak selalu lebih mahal, tetapi dapat menghasilkan biaya total lebih rendah ketika reduksi durasi menurunkan kebutuhan tenaga kerja, alat, dan potensi idle time (Sweis et al., 2020). Pada konteks proyek jalan tol yang bersifat target-driven, percepatan pekerjaan deck slab juga berkaitan dengan kesinambungan pekerjaan lanjutan seperti pekerjaan barrier, pekerjaan perkerasan, dan pengalihan lalu lintas konstruksi, sehingga evaluasi simultan menjadi lebih relevan dibanding evaluasi parsial (Kementerian PUPR, 2023). Selain itu, pendekatan sistem komposit baja–beton dalam steel deck menempatkan efisiensi sebagai hasil dari integrasi fungsi elemen, bukan sekadar substitusi material, sehingga konsekuensi biaya–waktu harus dianalisis sebagai satu kesatuan sistem konstruksi (Al-Sabah et al., 2023). Karena penelitian ini merupakan studi empiris berbasis data proyek, analisis optimum pada sub-bahasan ini menggunakan hasil kuantitatif total biaya dan durasi yang telah divalidasi melalui triangulasi dokumen proyek dan konfirmasi pelaksana lapangan, sehingga kesimpulan optimum tidak bersifat asumptif melainkan berbasis data lapangan (Yin, 2021).

Hasil perbandingan simultan biaya dan waktu pada Tabel 4 menunjukkan bahwa metode konvensional menjadi baseline dengan durasi 17 hari dan biaya Rp 592.003.970, sedangkan metode steel deck menghasilkan durasi 8 hari dan biaya Rp 553.984.460. Data tersebut mengindikasikan adanya deviasi waktu 9 hari dan deviasi biaya Rp 38.019.510, yang berarti metode steel deck unggul pada dua indikator sekaligus. Secara kuantitatif, efisiensi waktu mencapai 52,94% dan efisiensi biaya mencapai 6,42%, sehingga keunggulan steel deck tidak hanya signifikan pada dimensi waktu tetapi juga tetap konsisten pada dimensi biaya. Dalam manajemen konstruksi, percepatan lebih dari 50% pada pekerjaan struktur utama merupakan indikator bahwa perubahan metode telah memodifikasi jalur kritis dan mengurangi aktivitas lapangan yang bersifat labor-intensive (Hwang et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan gagasan accelerated bridge construction, di mana sistem deck slab komposit memungkinkan pemangkasan durasi tanpa menimbulkan eskalasi biaya, terutama ketika eliminasi bekisting dan pembesian konvensional terjadi secara nyata pada level aktivitas (Kim & Lee, 2020).

Tabel 4. Hasil Perbandingan Terhadap Biaya dan Waktu Pekerjaan Deck Slab

No	Metode	Waktu (hari)	Biaya (Rp)	Deviasi Waktu	Deviasi Biaya	Efisiensi (%)
1	Konvensional	17	592.003.970	9 hari	38.019.510	Baseline
2	Steel deck	8	553.984.460	↓ 52,94%	↓ 6,42%	Optimal

Sumber: Rekapitulasi hasil analisis biaya berbasis AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016, perhitungan volume dari shop drawing, serta produktivitas aktual lapangan (data proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I, 2022–2023).

Kinerja optimum metode steel deck pada Tabel 4 dapat ditafsirkan sebagai bukti empiris bahwa integrasi fungsi elemen konstruksi mampu menciptakan efisiensi simultan, karena steel deck berperan sebagai bekisting permanen sekaligus elemen tarik positif sehingga mengurangi tahapan kerja dan kompleksitas pelaksanaan. Mekanisme ini sesuai dengan literatur evaluasi sistem steel deck slab yang menekankan bahwa efisiensi utama terjadi pada fase konstruksi akibat berkurangnya pekerjaan temporer dan meningkatnya modularitas pemasangan (Nguyen et al., 2022). Pada metode konvensional, aktivitas bekisting, pembesian, dan erection merupakan rangkaian yang saling bergantung sehingga meningkatkan durasi dan memperbesar paparan risiko keterlambatan akibat faktor lapangan, sedangkan steel deck memadatkan rangkaian tersebut menjadi tahapan yang lebih ringkas. Hasil ini juga konsisten dengan temuan Al-Sabah et al. (2023) bahwa sistem komposit baja–

beton dapat meningkatkan produktivitas karena aktivitas lapangan menjadi lebih terstandar dan lebih sedikit bergantung pada variasi keterampilan pekerja. Secara operasional, percepatan 9 hari pada pekerjaan deck slab merupakan nilai yang substansial karena pekerjaan ini biasanya berada pada jalur kritis struktur atas jembatan, sehingga dampaknya tidak hanya lokal pada item pekerjaan tetapi juga mempengaruhi ritme pelaksanaan segmen proyek. Dengan demikian, data pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa steel deck memiliki keunggulan struktural pada sistem kerja, bukan sekadar keunggulan numerik pada hasil akhir.

Efisiensi biaya sebesar 6,42% pada metode steel deck juga perlu dianalisis sebagai bentuk efisiensi yang stabil secara manajerial, karena penghematan biaya muncul meskipun terdapat kenaikan biaya material pada komponen steel deck yang bersifat fabrikasi. Dalam literatur perbandingan pelat lantai, kondisi seperti ini sering terjadi ketika kenaikan material dapat diimbangi oleh penurunan biaya tenaga kerja dan alat akibat berkurangnya tahapan kerja lapangan (Christian & Kushartomo, 2023; Susila & Sungkono, 2025). Secara teoritis, metode steel deck menggeser struktur biaya dari dominasi tenaga kerja menuju dominasi material terkontrol, sehingga variabilitas biaya akibat fluktuasi produktivitas pekerja menjadi lebih rendah. Pergeseran ini sejalan dengan konsep *system-based construction approach*, di mana biaya proyek lebih dapat diprediksi karena lebih banyak komponen yang bersifat produk dan lebih sedikit yang bersifat proses manual (Al-Sabah et al., 2023). Pada proyek jalan tol, stabilitas biaya dan durasi merupakan indikator penting karena pekerjaan bersifat berulang pada banyak segmen, sehingga metode yang lebih konsisten akan lebih mudah dikendalikan pada level program proyek (Kementerian PUPR, 2023). Oleh karena itu, efisiensi biaya 6,42% pada Tabel 4 dapat dipahami sebagai keuntungan langsung yang disertai keuntungan tidak langsung berupa peningkatan prediktabilitas manajemen sumber daya.

Efisiensi waktu sebesar 52,94% pada metode steel deck menunjukkan bahwa percepatan yang terjadi bukan bersifat marginal, melainkan perubahan struktural pada urutan kerja dan ketergantungan antar aktivitas. Dalam kajian produktivitas konstruksi, percepatan yang besar umumnya terjadi ketika metode baru mengurangi jumlah aktivitas, meminimalkan pekerjaan yang memerlukan inspeksi berulang, serta mengurangi ketergantungan pada pekerjaan temporer seperti bekisting dan perancah (Hwang et al., 2021). Temuan ini selaras dengan Riyadi et al. (2022) yang menunjukkan bahwa sistem alternatif pelat dapat mempercepat waktu secara signifikan ketika jalur kritis tidak lagi dipengaruhi oleh pekerjaan bekisting konvensional. Percepatan juga konsisten dengan studi Yulianto et al. (2026) yang menegaskan bahwa metode alternatif pada pekerjaan struktur dapat mengurangi durasi karena proses kerja lebih ringkas dan produktivitas lebih stabil. Pada level manajemen proyek, percepatan durasi pada struktur utama berpotensi menurunkan biaya tidak langsung proyek, meskipun penelitian ini fokus pada biaya langsung, sehingga manfaat aktual di lapangan dapat lebih besar dari efisiensi biaya langsung yang dihitung. Hal ini relevan dengan perspektif infrastruktur, di mana percepatan penyelesaian proyek dapat mempercepat manfaat ekonomi dan sosial dari konektivitas transportasi (Pradhan et al., 2020). Dengan demikian, efisiensi waktu pada Tabel 4 dapat dipandang sebagai kontribusi strategis terhadap tujuan proyek jalan tol.

Penentuan metode optimum pada Tabel 4 juga dapat ditinjau dari aspek teknis struktur jembatan, karena perubahan metode pelaksanaan harus tetap berada dalam batasan desain dan spesifikasi teknis yang menjamin keselamatan struktur. Literatur mengenai performa sistem deck slab komposit menekankan bahwa steel deck harus mampu bekerja secara efektif selama fase konstruksi, terutama terhadap beban kerja sementara, beban pekerja, dan beban material saat pengecoran (Nguyen et al., 2022). Dengan demikian, keunggulan biaya-waktu yang ditunjukkan pada Tabel 4 harus dipahami sebagai efisiensi yang valid apabila persyaratan struktural terpenuhi, termasuk integrasi dengan tulangan tambahan dan kontrol mutu pemasangan. Dalam studi perencanaan struktur atas jembatan, aspek detailing dan ketepatan pelaksanaan menjadi faktor penting yang mempengaruhi kinerja jangka panjang, sehingga metode yang lebih cepat tetap memerlukan pengawasan ketat (Harefa et al., 2023). Selain itu, pada jembatan bentang panjang, konfigurasi lantai kendaraan dan perilaku elemen struktur atas dapat dipengaruhi oleh asumsi desain tertentu, sehingga perubahan sistem pelat perlu dipastikan kompatibel dengan model struktur (Dewi et al., 2025). Walaupun penelitian ini berfokus pada biaya dan waktu, keterkaitan dengan aspek struktural tetap relevan untuk memperkuat argumentasi bahwa metode optimum bukan hanya efisien

tetapi juga feasible secara teknik. Oleh sebab itu, penetapan steel deck sebagai metode optimum pada Tabel 4 dapat diposisikan sebagai keputusan yang berbasis efisiensi pelaksanaan dengan prasyarat kepatuhan terhadap spesifikasi desain jembatan.

Dari sudut pandang manajemen konstruksi, hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa metode steel deck mendukung penerapan strategi value engineering karena menghasilkan peningkatan kinerja tanpa peningkatan biaya total. Studi Sawaluddin et al. (2024) menegaskan bahwa value engineering pada konstruksi jembatan berorientasi pada pemilihan alternatif yang memberikan nilai fungsi lebih tinggi dengan biaya yang lebih efisien, terutama pada komponen struktur yang bersifat kritis. Dalam konteks deck slab, penggantian bekisting temporer dengan steel deck permanen meningkatkan nilai fungsi karena elemen tersebut tidak hanya mendukung fase konstruksi tetapi juga menjadi bagian dari sistem struktur akhir. Temuan ini juga sejalan dengan Prasetyo & Manurung (2026) yang menunjukkan bahwa evaluasi efisiensi pada struktur jembatan dapat menghasilkan rekomendasi metode yang lebih optimal apabila didukung oleh data kuantitatif yang konsisten. Selain itu, perubahan metode yang meminimalkan aktivitas lapangan dapat menurunkan risiko rework, yang dalam teori produktivitas dapat memperbesar efisiensi biaya dan waktu secara simultan (Hwang et al., 2021). Dengan demikian, metode steel deck pada Tabel 4 dapat dikategorikan sebagai alternatif yang memenuhi prinsip value engineering dan peningkatan produktivitas, sehingga relevan untuk proyek infrastruktur dengan tuntutan efisiensi tinggi.

Hasil optimum pada Tabel 4 juga dapat dibandingkan dengan studi empiris lain yang menyoroti perubahan metode pada proyek jalan tol atau proyek skala besar, di mana efisiensi sering muncul ketika perencanaan material dan metode kerja lebih terstandar. Andre (2023) menekankan bahwa perubahan metode ke steel deck pada proyek jalan tol dapat menurunkan biaya melalui pengendalian material dan perencanaan pemotongan besi yang lebih presisi, sehingga pemborosan dapat dikurangi. Studi Fatoni et al. (2024) juga menunjukkan bahwa metode alternatif pada pekerjaan pelat dapat memberikan keuntungan biaya dan waktu, meskipun konteksnya berbeda pada bangunan pendidikan, sehingga penelitian ini memperluas relevansi pada konteks jembatan jalan tol. Piter & Sucita (2024) menegaskan pentingnya akurasi quantity takeoff, karena perbandingan biaya antar metode sangat dipengaruhi oleh ketepatan volume dan klasifikasi item pekerjaan, sehingga hasil optimum harus ditopang oleh proses kuantifikasi yang replikatif. Pada penelitian ini, penggunaan shop drawing dan AHSP formal memperkuat validitas perhitungan, sehingga deviasi biaya Rp 38.019.510 pada Tabel 4 dapat dianggap sebagai hasil yang memiliki basis dokumenter yang kuat (Kementerian PUPR, 2016). Dengan demikian, posisi steel deck sebagai metode optimum tidak hanya konsisten dengan data penelitian ini, tetapi juga kompatibel dengan kecenderungan temuan pada studi komparatif metode pelat di berbagai konteks proyek.

Implikasi optimum metode steel deck juga dapat dianalisis dari perspektif risiko dan keselamatan kerja, karena pengurangan aktivitas bekisting dan pembesian di lapangan dapat menurunkan paparan bahaya kerja pada ketinggian. Dalam kajian HIRARC, pengurangan aktivitas manual dan reduksi waktu kerja di area berisiko merupakan strategi mitigasi yang efektif dalam menurunkan probabilitas kecelakaan (Sasmito, 2023). Meskipun penelitian ini tidak mengukur indikator K3 secara kuantitatif, efisiensi waktu 52,94% pada Tabel 4 secara konseptual berarti paparan jam kerja terhadap risiko juga berkurang. Selain itu, sistem steel deck yang lebih modular dapat meningkatkan keteraturan proses kerja, sehingga potensi kesalahan pemasangan dan rework dapat ditekan, yang pada akhirnya berkontribusi pada efisiensi biaya. Dalam studi penerapan manajemen konstruksi pada proyek jembatan, integrasi metode kerja, kontrol mutu, dan pengendalian risiko dipandang sebagai komponen penting yang menentukan keberhasilan proyek (Desrita et al., 2024). Dengan demikian, hasil optimum pada Tabel 4 dapat dipahami bukan hanya sebagai keunggulan ekonomi, tetapi juga sebagai indikasi bahwa metode steel deck lebih mendukung pengelolaan risiko konstruksi. Penempatan aspek risiko dalam interpretasi memperkuat kedalaman analitis karena menghubungkan hasil kuantitatif dengan dimensi manajerial yang relevan.

Keunggulan simultan pada biaya dan waktu juga memiliki relevansi pada kerangka pembangunan infrastruktur nasional, karena proyek jalan tol umumnya diposisikan sebagai pendorong pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan konektivitas dan efisiensi logistik. Pradhan et al. (2020) menegaskan bahwa infrastruktur transportasi memiliki hubungan positif terhadap

pertumbuhan ekonomi, terutama ketika penyelesaian proyek tepat waktu sehingga manfaat ekonomi dapat segera terealisasi. Dalam konteks ini, percepatan 9 hari pada pekerjaan deck slab, meskipun terlihat pada skala item pekerjaan, dapat memberikan efek kumulatif yang signifikan jika diterapkan pada banyak segmen jembatan dalam satu proyek jalan tol. Laporan kinerja pembangunan jalan tol juga menunjukkan bahwa percepatan dan ketepatan waktu merupakan indikator utama keberhasilan program pembangunan jalan tol, sehingga metode yang mempercepat struktur kritis memiliki nilai strategis (Kementerian PUPR, 2023). Oleh sebab itu, metode steel deck yang terbukti optimal pada Tabel 4 dapat diposisikan sebagai alternatif yang mendukung pencapaian target program, bukan hanya target pekerjaan. Pada level kebijakan teknis, hasil ini juga relevan untuk memperkaya basis empiris dalam pemilihan metode konstruksi pada proyek jalan tol yang memiliki karakteristik serupa. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis yang memiliki keterkaitan dengan tujuan pembangunan infrastruktur yang lebih luas.

Dalam perspektif siklus hidup struktur jembatan, penetapan metode optimum juga perlu mempertimbangkan implikasi pemantauan dan pemeliharaan, karena sistem komposit baja–beton dapat memiliki kebutuhan inspeksi tertentu. Akbar et al. (2025) menunjukkan bahwa pemantauan kesehatan struktur (SHMS) menjadi penting pada jembatan, terutama untuk memastikan performa jangka panjang dan mendeteksi potensi degradasi sejak dini. Walaupun penelitian ini tidak memasukkan variabel biaya pemeliharaan, hasil optimum pada Tabel 4 dapat menjadi dasar untuk kajian lanjutan mengenai cost efficiency pada level life-cycle cost, terutama jika steel deck mempengaruhi strategi inspeksi atau proteksi korosi. Di sisi lain, percepatan konstruksi yang signifikan dapat mengurangi potensi gangguan lingkungan proyek dan meminimalkan waktu ekspos struktur pada kondisi cuaca selama fase konstruksi, sehingga secara konseptual dapat memberikan manfaat tambahan pada mutu hasil akhir. Temuan ini juga sejalan dengan literatur sistem deck slab komposit yang menekankan bahwa performa selama fase konstruksi merupakan aspek penting yang menentukan keberhasilan sistem secara keseluruhan (Nguyen et al., 2022). Dengan demikian, optimum pada Tabel 4 dapat dipahami sebagai optimum pada fase konstruksi, dengan peluang pengembangan riset lanjutan untuk menguji optimum pada fase operasi. Penempatan perspektif ini memperkuat argumentasi ilmiah karena menghubungkan hasil penelitian dengan agenda penelitian struktural dan manajemen aset jembatan.

Tabel 4 menegaskan bahwa metode steel deck merupakan metode paling optimum untuk pekerjaan deck slab pada studi kasus ini karena menghasilkan efisiensi biaya 6,42% sekaligus efisiensi waktu 52,94% dibanding metode konvensional. Keunggulan simultan tersebut dapat dijelaskan melalui reduksi aktivitas temporer, peningkatan modularitas pemasangan, serta pergeseran struktur biaya dari dominasi tenaga kerja menuju dominasi material yang lebih terkontrol (Al-Sabah et al., 2023; Kim & Lee, 2020). Temuan ini konsisten dengan literatur perbandingan metode pelat lantai dan metode alternatif pelaksanaan struktur yang umumnya menunjukkan percepatan durasi dan penghematan biaya ketika bekisting konvensional dapat dieliminasi (Christian & Kushartomo, 2023; Riyadi et al., 2022; Susila & Sungkono, 2025). Validitas hasil diperkuat oleh penggunaan AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 sebagai basis perhitungan biaya, serta pendekatan studi kasus kuantitatif yang menekankan replikasi melalui dokumen proyek dan produktivitas aktual (Kementerian PUPR, 2016; Yin, 2021). Dalam konteks proyek jalan tol, metode steel deck juga memiliki relevansi strategis karena percepatan pelaksanaan berpotensi mempercepat manfaat ekonomi proyek, sejalan dengan teori hubungan infrastruktur dan pertumbuhan ekonomi (Pradhan et al., 2020; Kementerian PUPR, 2023).

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa pemilihan metode pelaksanaan pekerjaan deck slab jembatan memberikan dampak langsung dan terukur terhadap kinerja biaya dan durasi proyek pada studi kasus Proyek Jalan Tol Kapuk–Teluknaga–Rajeg Tahap I. Berdasarkan perhitungan volume pekerjaan dari shop drawing serta estimasi biaya menggunakan AHSP Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 dan validasi produktivitas aktual lapangan, metode konvensional (cast in situ) menghasilkan total biaya Rp 592.003.970 dengan durasi 17 hari, sedangkan metode steel deck menghasilkan total biaya Rp 553.984.460 dengan durasi 8 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

metode steel deck memberikan efisiensi biaya sebesar 6,42% dan efisiensi waktu sebesar 52,94% dibandingkan metode konvensional. Secara teknis, peningkatan efisiensi terjadi karena integrasi fungsi bekisting permanen dan elemen tarik positif pada steel deck yang mengurangi tahapan kerja, ketergantungan pada perancah, serta kebutuhan tenaga kerja intensif. Dari perspektif manajemen konstruksi, metode steel deck mengindikasikan pergeseran struktur biaya dari dominasi tenaga kerja menuju dominasi material yang lebih terkendali, sekaligus menurunkan risiko keterlambatan akibat variabilitas produktivitas lapangan. Dengan capaian simultan pada parameter biaya dan waktu, metode steel deck dapat direkomendasikan sebagai alternatif pelaksanaan yang lebih optimal untuk pekerjaan deck slab pada proyek jalan tol yang menuntut percepatan, kepastian jadwal, dan pengendalian biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., Aminullah, A., & Awaludin, A. (2025). Efektifitas Metode Ssi Covariance Dalam Sistem Pemantauan Kesehatan Struktur (Shms) Jembatan Box Girder Bentang 40 Meter. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 457-468. <https://doi.org/10.29103/Tj.V15i2.1293>
- Al-Sabah, A., Al-Hussein, M., & Zayed, T. (2023). Construction Productivity Enhancement Using Composite Steel–Concrete Systems. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 149(3), 04022145. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)Co.1943-7862.0002456](https://doi.org/10.1061/(ASCE)Co.1943-7862.0002456)
- Andre, Y. H. (2023, May). Perubahan Metode Plat Pracetak Menjadi Steel Deck Dan Pengadaan Besi Sesuai Cutting List Untuk Efisiensi Biaya Pada Proyek Kapb Seksi 3b. In *Seminar Nasional Insinyur Profesional (Snip)* (Vol. 3, No. 1). <https://doi.org/10.23960/Snip.V3i1.364>
- Christian, M., & Kushartomo, W. (2023). Analisis Perbandingan Efektifitas Beton Pelat Lantai Dengan Metode Bondek Dan Konvensional. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 627-634. <https://doi.org/10.24912/Jmts.V6i3.23016>
- Desrita, D., Ginting, T. P., Ginting, R., & Gultom, A. (2024). Penerapan Manajemen Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Jembatan Idano Sibolou Afulu–Batas Nias Barat. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 13(1), 108-119. <http://dx.doi.org/10.46930/Tekniksipil.V13i1.3636>
- Dewi, I. C., Priyono, P., & Yanuar, S. F. (2025). Pemodelan Lantai Kendaraan Pada Jembatan Rangka Terbuka Bentang Panjang Dengan Mengabaikan Efek P- Δ Pada Batang Tepi Atas. *Media Konstruksi*, 10(2), 232-241. <https://doi.org/10.33772/Jmk.V10i2.106>
- Fatoni, A., Huda, M., & Priyoto, P. (2024). Analisis Perbandingan Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Pelat Lantai Beton Panel Dan Beton Konvensional (Studi Kasus Proyek Pembangunan Smp Islam Terpadu Al-Irsyad Al-Islamiyah Kabupaten Pamekasan). *Jurnal Spesialis Teknik Sipil (Jspts)*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.30996/Jspts.V5i1.10730>
- Harefa, M. B., Rizalitaheer, A. S., & Harefa, A. (2023). Perencanaan Struktur Atas (Upper Structure) Jembatan Bilal. *Juitech: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 7(1), 37-45. <http://dx.doi.org/10.36764/Ju.V7i1.1066>
- Hwang, B. G., Shan, M., & Supa'at, N. N. B. (2021). Factors Affecting Productivity In Construction Projects: A Systematic Review. *Engineering, Construction And Architectural Management*, 28(4), 1115–1133. <https://doi.org/10.1108/Ecam-08-2019-0451>
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2016). *Peraturan Menteri Pupr Nomor 28/Prt/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2023). *Laporan Kinerja Pembangunan Jalan Tol Tahun 2023*.
- Kim, J., & Lee, H. (2020). Comparative Performance Of Composite Deck Slab Systems In Accelerated Bridge Construction. *Structures*, 28, 2103–2114. <https://doi.org/10.1016/J.Istruc.2020.10.015>
- Nguyen, T. T., Kim, S., & Park, J. (2022). Performance Evaluation Of Composite Steel Deck Slabs Under Construction Loads. *Journal Of Structural Engineering*, 148(7), 04022098. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)St.1943-541x.0003345](https://doi.org/10.1061/(ASCE)St.1943-541x.0003345)

- Piter, M. A., & Sucita, I. K. (2024). Perbandingan Analisis Quantity Takeoff Berbasis Bim Dengan Metode Konvensional Pada Pekerjaan Struktur Jembatan Underpass. *Civeng: Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 83-90. <https://doi.org/10.30595/Civeng.V5i2.19126>
- Prabaswara, A. B., & Nurdianto, R. (2024). Analisis Perbandingan Plat Beton Konvensional Dan Plat Beton Bondek. *Jitsi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2), 107-115. <https://doi.org/10.36423/Jitsi.V4i2.1987>
- Pradhan, R. P., Arvin, M. B., & Hall, J. H. (2020). Infrastructure And Economic Growth: The Role Of Transport Infrastructure. *Economic Modelling*, 93, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.Econmod.2020.02.005>
- Prasetyo, B. N., & Manurung, E. H. (2026). Evaluasi Efisiensi Penggunaan Beton Bertulang Pada Struktur Jembatan. *Sinergi: Jurnal Riset Ilmiah*, 3(1), 208-218. <https://doi.org/10.62335/Sinergi.V3i1.2238>
- Riyadi, I., Handayani, E., & Dony, W. (2022). Analisa Perbandingan Sistem Pelat Konvensional Dengan Sistem Precast Half Slab Dalam Segi Waktu Dan Biaya. *Jurnal Civronlit Unbari*, 7(2), 63-69. <http://dx.doi.org/10.33087/Civronlit.V7i2.100>
- Sasmito, A. (2023). Analisis Risiko Pekerjaan Fire Fighting System Pada Proyek Sktt 150 Kv Di Jembatan Suramadu Dengan Metode Hazard Identification Ris Assessment and Risk Control (Hirarc). *Jurnal Syntax Admiration*, 4(8), 1051-1070. <https://doi.org/10.46799/Jsa.V4i8.683>
- Sawaluddin, S., Kadir, A., & Edwin, R. S. (2024). Analisis Penerapan Value Engineering Pada Konstruksi Lantai Jembatan Cable Stayed. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 66-79. <https://doi.org/10.31849/Siklus.V10i1.19189>
- Susila, H., & Sungkono, K. K. D. (2025). Analisis Biaya Dan Waktu Pekerjaan Pelat Lantai Beton Konvensional Dan Fiber Board Pada Bangunan Baja. *Journal Of Civil Engineering And Infrastructure Technology*, 4(1), 27-36. <https://doi.org/10.36728/Jceit.V4i1.5014>
- Sweis, G., Sweis, R., & Abu Hammad, A. (2020). Time–Cost Trade-Off Analysis In Construction Projects. *International Journal Of Construction Management*, 20(7), 653–663. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484867>
- Yin, R. K. (2021). *Case Study Research And Applications: Design And Methods* (6th Ed.). Sage Publications.
- Yulianto, Y., Azhar, M., Naibaho, P. R. T., & Sembiring, K. (2026). Perbandingan Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Deck On Pile Dengan Cakar Ayam Modifikasi Pada Pembangunan Dermaga Jakarta International Container Terminal 2. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 10(1), 103-112. <https://doi.org/10.32832/Komposit.V10i1.20507>