



Rekayasa Ulang Metode Pekerjaan Pengecoran dan Bekisting untuk Meningkatkan Kinerja Waktu dan Biaya Proyek Gedung Bertingkat

Dedi Achyadi^{1*}, Kartono Wibowo², Soedarsono³

¹⁻³ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: abahts.smg@gmail.com

Abstract. *Time delays and cost overruns remain major problems in building construction projects, particularly in concrete structural works that dominate project duration and cost. This study aims to evaluate the application of re-engineering in concrete structural work methods on the time and cost performance of multi-storey building projects. A quantitative approach using a case study method was employed through comparative analysis between the existing method and alternative methods. The analyzed alternatives include ready-mix concrete with Sika Viscocrete 8007 admixture and semi-system formwork as Alternative I, ready-mix concrete with system formwork as Alternative II, and ready-mix concrete with Sika Viscocrete 8007 admixture combined with system formwork as Alternative III. The results show that all alternatives perform better than the existing method with a duration of 243 days. Alternative I reduced the duration to 208 days with cost efficiency of IDR 55,781,730 or 0.214 percent. Alternative II reduced the duration to 203 days with cost efficiency of IDR 187,553,261 or 0.724 percent. Alternative III achieved the best performance with a duration of 168 days, accelerating 75 days and providing the highest cost efficiency of IDR 243,334,991 or 0.941 percent. The study concludes that re-engineering effectively improves project time and cost performance, with Alternative III as the optimal method.*

Keywords: *Concrete Casting; Construction Duration; Formwork; Project Cost; Re-Engineering.*

Abstrak. Keterlambatan waktu dan pembengkakan biaya masih menjadi permasalahan utama pada proyek konstruksi gedung, khususnya pada pekerjaan struktur beton yang mendominasi durasi dan biaya proyek. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi penerapan rekayasa ulang metode pelaksanaan pekerjaan struktur beton terhadap kinerja waktu dan biaya proyek gedung bertingkat. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus melalui analisis komparatif antara metode eksisting dan metode alternatif. Metode alternatif yang dianalisis meliputi beton ready mix dengan aditif Sika Viscocrete 8007 dan bekisting semi sistem sebagai Alternatif I, beton ready mix dan bekisting sistem sebagai Alternatif II, serta beton ready mix dengan aditif Sika Viscocrete 8007 dan bekisting sistem sebagai Alternatif III. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh alternatif menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode eksisting dengan durasi 243 hari. Alternatif I menurunkan durasi menjadi 208 hari atau lebih cepat 35 hari dengan efisiensi biaya sebesar Rp55.781.730 atau 0,214 persen. Alternatif II menurunkan durasi menjadi 203 hari atau lebih cepat 40 hari dengan efisiensi biaya sebesar Rp187.553.261 atau 0,724 persen. Alternatif III memberikan hasil terbaik dengan durasi 168 hari atau lebih cepat 75 hari serta efisiensi biaya terbesar sebesar Rp243.334.991 atau 0,941 persen. Penelitian ini menyimpulkan bahwa rekayasa ulang metode pelaksanaan efektif meningkatkan kinerja waktu dan biaya proyek gedung, dengan Alternatif III sebagai metode paling optimal.

Kata kunci: Bekisting; Biaya Proyek; Pengecoran Beton; Rekayasa Ulang; Waktu Pelaksanaan.

1. LATAR BELAKANG

Keterlambatan waktu pelaksanaan dan pembengkakan biaya merupakan permasalahan yang masih sering terjadi pada proyek konstruksi gedung. Permasalahan tersebut bersifat kompleks dan saling berkaitan antara aspek manajerial dan operasional pada berbagai tahapan proyek. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama keterlambatan dan pembengkakan biaya antara lain lemahnya perencanaan dan pra-perencanaan proyek (Wyke et al., 2023), ketidakefektifan manajemen serta penjadwalan proyek, dan kesulitan finansial kontraktor (Alshihri et al., 2022). Selain itu, permasalahan hukum dan kesalahan teknis (Idrees & Shafiq, 2021), serta kurangnya komunikasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan

(Daoud et al., 2023) turut berkontribusi signifikan terhadap penurunan kinerja proyek. Studi lintas negara seperti di Arab Saudi, Pakistan, Mesir, dan Indonesia menunjukkan pola yang relatif seragam, di mana faktor-faktor tersebut berdampak langsung terhadap keterlambatan pelaksanaan dan peningkatan biaya proyek gedung. (Alshihri et al., 2022) mencatat bahwa lebih dari 55 profesional konstruksi di Arab Saudi menilai permasalahan keuangan kontraktor dan keterlambatan pembayaran sebagai risiko kritis terhadap kinerja proyek, sementara (Daoud et al., 2023) menekankan pentingnya keterlibatan pemangku kepentingan dan penetapan jadwal yang realistis sebagai strategi mitigasi risiko keterlambatan.

Dalam aspek teknis pelaksanaan, pemilihan metode pekerjaan struktur beton memiliki peranan yang sangat penting karena secara langsung memengaruhi efisiensi waktu, biaya, dan mutu proyek konstruksi. Metode pekerjaan yang tidak sesuai dengan kondisi proyek dapat menyebabkan pemborosan sumber daya, keterlambatan pelaksanaan, dan peningkatan biaya. Faktor-faktor yang memengaruhi pemilihan metode pekerjaan struktur beton meliputi kondisi lapangan, karakteristik lokasi proyek, kondisi cuaca, ketersediaan dan kompetensi sumber daya manusia, spesifikasi peralatan, serta kemampuan mobilisasi. (Umar & Ranap Tua Naibaho, 2022) menunjukkan bahwa perbedaan jenis peralatan dan metode kerja, seperti penggunaan crawler crane dibandingkan launcher girder, memberikan pengaruh signifikan terhadap durasi dan biaya proyek. Hasil serupa ditunjukkan oleh (Alvandi et al., 2021) yang membandingkan metode konvensional dan metode pracetak pada pekerjaan balok, dengan temuan adanya perbedaan yang signifikan dalam waktu pelaksanaan dan biaya proyek. Selanjutnya, (Zhong et al., 2022) mengusulkan bahwa metode pelaksanaan proyek harus disesuaikan secara spesifik dengan karakteristik aktivitas dan proses konstruksi, sehingga pemilihan metode menjadi keputusan strategis dalam pengendalian kinerja proyek.

Sebagai respons terhadap permasalahan kinerja proyek tersebut, konsep rekayasa ulang (re-engineering) dalam proyek konstruksi berkembang sebagai pendekatan sistematis untuk mengoptimalkan proses pelaksanaan pekerjaan melalui prinsip efisiensi dan keberlanjutan. Rekayasa ulang tidak hanya berfokus pada perubahan metode kerja, tetapi juga pada transformasi proses konstruksi secara menyeluruh. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan prinsip reduce, reuse, dan recycle (3R) mampu mengurangi limbah konstruksi secara signifikan (Mohammed et al., 2021) sementara implementasi konsep konstruksi lean terbukti meningkatkan produktivitas dan efisiensi proses proyek (Bigwanto et al., 2024). Selain itu, manajemen logistik terbalik berperan penting dalam optimalisasi pemanfaatan material dan sumber daya proyek (Wibowo et al., 2022). (Schützenhofer et al., 2022) menegaskan bahwa rekayasa ulang dalam konstruksi bertujuan mengintegrasikan praktik berkelanjutan, seperti

manajemen material ramah lingkungan, efisiensi energi, dan pengurangan limbah, untuk mencapai kinerja proyek yang lebih optimal.

Meskipun penelitian terkait keterlambatan proyek, pemilihan metode konstruksi, dan efisiensi pelaksanaan telah banyak dilakukan, sebagian besar studi masih membahas aspek-aspek tersebut secara terpisah. Penelitian yang mengintegrasikan rekayasa ulang metode pekerjaan struktur beton khususnya pekerjaan pengecoran dan sistem bekisting dalam kerangka peningkatan kinerja waktu dan biaya proyek gedung masih relatif terbatas, terutama yang didukung oleh analisis kuantitatif berbasis data durasi dan biaya aktual proyek.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan rekayasa ulang metode pekerjaan pengecoran dan sistem bekisting pada proyek gedung bertingkat guna meningkatkan kinerja waktu dan biaya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pekerjaan struktur beton yang lebih efisien, serta kontribusi akademik dalam pengembangan kajian rekayasa ulang pada proyek konstruksi gedung.

2. KAJIAN TEORITIS

Kinerja Proyek Konstruksi dari Aspek Waktu dan Biaya

Kinerja proyek konstruksi umumnya diukur berdasarkan pencapaian waktu dan biaya terhadap rencana yang telah ditetapkan. Di Indonesia, kinerja proyek konstruksi gedung menghadapi tantangan yang kompleks akibat keterkaitan antara aspek teknis, manajerial, dan lingkungan proyek. (Priyo, 2021) menyatakan bahwa Earned Value Management (EVM) merupakan metode utama yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja proyek karena mampu mengintegrasikan pengukuran lingkup pekerjaan, waktu, dan sumber daya secara simultan. Namun demikian, hasil evaluasi kinerja proyek menunjukkan variasi yang cukup besar, di mana sebagian proyek dapat diselesaikan lebih cepat dan dengan biaya lebih rendah, sementara proyek lainnya mengalami keterlambatan dan pembengkakan biaya. Variabilitas kinerja tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain lemahnya manajemen mutu, pra-perencanaan, pengelolaan pengguna, serta manajemen proyek secara keseluruhan (Wyke et al., 2023). Selain itu, faktor dinamika lapangan seperti produktivitas tenaga kerja, ketersediaan sumber daya, kondisi lingkungan, dan variabel manajerial turut berpengaruh signifikan terhadap kinerja waktu dan biaya proyek (Rachmawati et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang matang, strategi pengelolaan proyek yang komprehensif, serta pemantauan kinerja secara berkelanjutan untuk meningkatkan keberhasilan proyek konstruksi.

Rekayasa Ulang dalam Manajemen Konstruksi

Rekayasa ulang dalam manajemen konstruksi merupakan pendekatan sistematis yang bertujuan meningkatkan kinerja proyek melalui perbaikan mendasar terhadap proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi. Pendekatan ini menekankan optimalisasi alur kerja, efisiensi sumber daya, serta penerapan prinsip keberlanjutan. (Bigwanto et al., 2024) menunjukkan bahwa penerapan prinsip konstruksi lean mampu meningkatkan produktivitas dan mengurangi pemborosan dengan mengintegrasikan tahapan perencanaan dan pelaksanaan proyek. Selain itu, konsep logistik terbalik yang dikembangkan oleh (Wibowo et al., 2022) menawarkan model komprehensif dengan 21 indikator kinerja yang mencakup seluruh siklus hidup proyek, sehingga dapat meningkatkan koordinasi antar pemangku kepentingan. Dalam konteks keberlanjutan, (Schützenhofer et al., 2022) menekankan pentingnya pengelolaan material melalui sistem loop tertutup untuk meminimalkan eksploitasi sumber daya dan dampak lingkungan. Sementara itu, (Mohamed et al., 2022) mengembangkan sistem pengambilan keputusan yang bertujuan menghasilkan rencana konstruksi optimal dengan mempertimbangkan keseimbangan antara aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Secara keseluruhan, rekayasa ulang dalam manajemen konstruksi merepresentasikan pendekatan holistik untuk meningkatkan kinerja proyek melalui transformasi proses secara menyeluruh.

Metode Pekerjaan Pengecoran Beton

Metode pekerjaan pengecoran beton merupakan rangkaian tahapan sistematis yang dimulai dari persiapan hingga perawatan beton. (Andriawan, 2020) menjelaskan bahwa tahapan pekerjaan pengecoran beton meliputi pembersihan dan persiapan bekisting, pekerjaan pembesian yang mencakup pemotongan, pembengkokan, dan perakitan tulangan, pemasangan bekisting yang telah dilapisi minyak, proses pengecoran beton, pembongkaran bekisting, serta perawatan beton atau curing. Dalam pelaksanaannya, terdapat dua metode utama pengecoran beton, yaitu metode concrete-bucket dan metode concrete-pump. (Yanita & Nurdiyanto, 2023) menyatakan bahwa metode concrete-pump lebih efisien karena memiliki durasi pengecoran yang lebih cepat, yaitu sekitar 7,58 menit per meter kubik, serta produktivitas yang lebih tinggi. Meskipun demikian, pelaksanaan pengecoran beton juga menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan tenaga kerja, kondisi cuaca yang tidak mendukung, kerusakan peralatan, serta keterlambatan ketersediaan material. (Orobia et al., 2020) menekankan bahwa perencanaan yang matang dan manajemen risiko yang baik sangat diperlukan untuk meminimalkan gangguan dalam proses pengecoran beton.

Sistem Bekisting pada Proyek Gedung

Sistem bekisting merupakan elemen penting dalam konstruksi beton bertulang karena berfungsi sebagai cetakan yang menentukan bentuk dan dimensi struktur beton. Penelitian oleh (Suroño & Rossyati, 2023) mengidentifikasi beberapa permasalahan utama dalam pekerjaan bekisting, antara lain lemahnya pengawasan lapangan, penggunaan sistem bekisting yang tidak mampu menahan gaya struktural, serta kurangnya analisis teknis terhadap kekuatan material dan perancah. Selain itu, pemilihan metode bekisting yang tepat terbukti dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap waktu dan biaya proyek. (Rossaty et al., 2023) menunjukkan bahwa penggunaan bekisting aluminium mampu menurunkan biaya hingga 33,8 persen dibandingkan metode konvensional serta mempercepat waktu pelaksanaan hingga 13 hari. Namun demikian, (Terzioglu et al., 2021) menegaskan bahwa pemilihan sistem bekisting harus mempertimbangkan berbagai faktor, seperti parameter struktur bangunan, luas total konstruksi, tinggi bangunan, serta sudut pandang para profesional konstruksi yang terlibat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekisting merupakan proses kompleks yang memerlukan perencanaan teknis dan pemilihan metode yang sesuai dengan karakteristik proyek.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa kinerja waktu dan biaya proyek konstruksi sangat dipengaruhi oleh kualitas manajemen proyek, pemilihan metode pelaksanaan, serta efisiensi penggunaan sumber daya. Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas penerapan prinsip lean, logistik terbalik, dan pengelolaan material berkelanjutan dalam meningkatkan kinerja proyek. Di sisi lain, kajian terkait metode pengecoran beton dan sistem bekisting menunjukkan bahwa pemilihan metode yang tepat mampu memberikan percepatan waktu dan efisiensi biaya yang signifikan. Namun demikian, penelitian yang mengintegrasikan konsep rekayasa ulang dengan evaluasi komparatif metode pengecoran dan sistem bekisting berdasarkan data durasi dan biaya aktual proyek gedung masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis penerapan rekayasa ulang metode pekerjaan struktur beton sebagai strategi peningkatan kinerja waktu dan biaya proyek gedung bertingkat.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus pada proyek konstruksi gedung bertingkat. Penelitian difokuskan pada evaluasi metode pelaksanaan pekerjaan struktur beton, khususnya pekerjaan pengecoran beton dan sistem bekisting, yang ditinjau dari aspek kinerja waktu dan biaya proyek. Pendekatan studi kasus dipilih karena

memungkinkan analisis mendalam terhadap kondisi eksisting proyek serta perbandingan langsung dengan metode alternatif berdasarkan data aktual pelaksanaan.

Tahapan penelitian disusun mengacu pada konsep rekayasa ulang metode pelaksanaan pekerjaan yang meliputi tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis, dan tahap rekomendasi. Pada tahap informasi dilakukan identifikasi kondisi awal proyek melalui pengumpulan data terkait metode pelaksanaan eksisting, durasi pekerjaan, dan biaya proyek. Tahap kreatif dilakukan dengan menyusun alternatif metode pelaksanaan sebagai hasil rekayasa ulang terhadap metode eksisting. Tahap analisis digunakan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing metode berdasarkan indikator waktu dan biaya. Tahap rekomendasi dilakukan untuk menentukan metode pelaksanaan yang paling optimal dan layak diterapkan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap pelaksanaan pekerjaan struktur beton di lapangan serta wawancara dengan pihak terkait, seperti manajemen proyek dan pelaksana lapangan, guna memperoleh informasi mengenai metode pelaksanaan dan kendala yang dihadapi. Data sekunder diperoleh dari dokumen resmi proyek yang meliputi gambar kerja, rencana anggaran biaya, time schedule, metode pelaksanaan eksisting, laporan harian dan mingguan proyek, serta data volume pekerjaan struktur beton. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar analisis kinerja waktu dan biaya pada metode eksisting dan metode alternatif.

Teknik analisis data dilakukan secara kuantitatif melalui analisis komparatif antara metode eksisting dan metode alternatif hasil rekayasa ulang. Analisis waktu dilakukan dengan membandingkan durasi total pelaksanaan proyek berdasarkan time schedule masing-masing metode. Analisis biaya dilakukan dengan menghitung total biaya proyek yang terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung, kemudian dibandingkan untuk memperoleh besarnya efisiensi biaya yang dihasilkan. Selisih durasi dan biaya antara metode eksisting dan metode alternatif digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat percepatan waktu dan penghematan biaya. Metode pelaksanaan yang memberikan percepatan waktu terbesar dan efisiensi biaya tertinggi selanjutnya ditetapkan sebagai metode yang paling optimal untuk proyek gedung bertingkat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode eksisting pada proyek gedung bertingkat ini menggunakan beton ready mix tanpa aditif dan sistem bekisting konvensional. Berdasarkan hasil analisis time schedule dan rencana anggaran biaya, metode eksisting menghasilkan durasi total proyek selama 243 hari. Durasi ini didominasi oleh pekerjaan struktur beton, khususnya pekerjaan pengecoran dan bekisting, yang memiliki keterkaitan langsung dengan aktivitas kritis proyek. Dari sisi biaya, metode eksisting menunjukkan total biaya proyek yang relatif tinggi akibat durasi pelaksanaan yang panjang sehingga meningkatkan komponen biaya tidak langsung.

Tabel 1. Selisih Biaya Antar Metode.

No.	Metode Kerja	Biaya	Selisih Biaya	Persentase
1	Eksisting	Rp26.107.700.000		
2	Alternatif I (Beton Ready Mix + Sika Viscocrete 8007 dan Semi Sistem)	Rp26.051.918.270	Rp55.781.730	0,214
3	Alternatif II (Beton Ready Mix dan Sistem)	Rp25.920.146.739	Rp187.553.261	0,724
4	Alternatif III (Beton Ready Mix + Sika Viscocrete 8007 dan Sistem)	Rp25.864.365.009	Rp243.334.991	0,941

Alternatif I menerapkan penggunaan beton ready mix dengan penambahan aditif Sika Viscocrete 8007 serta sistem bekisting semi sistem. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan metode ini mampu menurunkan durasi pelaksanaan proyek menjadi 208 hari atau lebih cepat 35 hari dibandingkan metode eksisting. Percepatan waktu tersebut diperoleh dari peningkatan workability beton yang memungkinkan proses pengecoran lebih cepat dan efisien, serta penggunaan bekisting semi sistem yang lebih mudah dipasang dan dibongkar dibandingkan bekisting konvensional. Dari sisi biaya, Alternatif I menghasilkan efisiensi sebesar Rp55.781.730 atau setara dengan penghematan 0,214 persen dari total biaya proyek. Hasil ini menunjukkan bahwa Alternatif I mampu memberikan keseimbangan yang baik antara percepatan waktu dan efisiensi biaya dengan tingkat perubahan metode pelaksanaan yang relatif rendah.

Alternatif II menggunakan beton ready mix tanpa aditif dengan penerapan sistem bekisting penuh. Berdasarkan hasil analisis, durasi pelaksanaan proyek pada alternatif ini menjadi 203 hari atau lebih cepat 40 hari dibandingkan metode eksisting. Percepatan waktu

yang dihasilkan terutama dipengaruhi oleh penggunaan sistem bekisting yang memungkinkan proses pemasangan dan pembongkaran bekisting dilakukan lebih cepat dan berulang. Dari sisi biaya, Alternatif II menghasilkan efisiensi sebesar Rp187.553.261 atau setara dengan penghematan 0,724 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun penggunaan sistem bekisting memerlukan biaya awal yang lebih tinggi, percepatan waktu pelaksanaan mampu menurunkan biaya tidak langsung secara signifikan sehingga memberikan efisiensi biaya total proyek.

Alternatif III merupakan kombinasi penggunaan beton ready mix dengan aditif Sika Viscocrete 8007 dan sistem bekisting penuh. Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif ini memberikan kinerja terbaik dibandingkan metode lainnya. Durasi pelaksanaan proyek dapat dipercepat menjadi 168 hari atau lebih cepat 75 hari dibandingkan metode eksisting. Percepatan waktu yang signifikan ini diperoleh dari sinergi antara peningkatan produktivitas pengecoran beton akibat penggunaan aditif dan efisiensi siklus kerja bekisting sistem. Dari sisi biaya, Alternatif III menghasilkan efisiensi terbesar, yaitu sebesar Rp243.334.991 atau setara dengan penghematan 0,941 persen dari total biaya proyek. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun Alternatif III memerlukan perubahan metode yang lebih besar, manfaat yang diperoleh dari sisi waktu dan biaya paling optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan rekayasa ulang metode pelaksanaan pekerjaan struktur beton mampu meningkatkan kinerja waktu dan biaya proyek secara signifikan. Seluruh metode alternatif memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode eksisting, namun dengan tingkat efektivitas yang berbeda. Alternatif I memberikan keseimbangan antara percepatan waktu dan efisiensi biaya dengan risiko implementasi yang relatif rendah, sehingga cocok diterapkan pada proyek dengan keterbatasan perubahan metode. Alternatif II menunjukkan bahwa penggunaan sistem bekisting memiliki pengaruh dominan terhadap percepatan waktu dan efisiensi biaya, meskipun tanpa penggunaan aditif beton. Sementara itu, Alternatif III terbukti sebagai metode paling optimal karena mampu menghasilkan percepatan waktu terbesar sekaligus efisiensi biaya tertinggi.

Temuan ini menguatkan konsep bahwa percepatan waktu pelaksanaan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan biaya total proyek. Sebaliknya, percepatan durasi pada pekerjaan kritis seperti pengecoran dan bekisting dapat menurunkan biaya tidak langsung secara signifikan, sehingga meningkatkan kinerja proyek secara keseluruhan. Dengan demikian, rekayasa ulang metode pelaksanaan pekerjaan struktur beton dapat dijadikan sebagai strategi efektif dalam pengambilan keputusan metode kerja pada proyek konstruksi gedung bertingkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan rekayasa ulang metode pelaksanaan pekerjaan struktur beton secara nyata meningkatkan kinerja waktu dan biaya proyek gedung bertingkat. Analisis komparatif membuktikan bahwa seluruh metode alternatif lebih unggul dibandingkan metode eksisting dengan durasi 243 hari, di mana Alternatif III memberikan kinerja terbaik dengan durasi 168 hari atau percepatan 75 hari serta efisiensi biaya terbesar sebesar Rp243.334.991 atau 0,941 persen. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi beton ready mix dengan aditif dan sistem bekisting merupakan strategi paling efektif dalam optimasi pelaksanaan pekerjaan struktur beton. Alternatif III direkomendasikan untuk proyek gedung bertingkat sejenis dengan mempertimbangkan kesiapan teknis dan manajerial di lapangan. Namun demikian, hasil penelitian ini dibatasi oleh penggunaan satu objek studi kasus sehingga penerapan pada proyek lain perlu dilakukan secara hati-hati. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas objek studi, mempertimbangkan variabel mutu dan risiko pelaksanaan, serta mengkaji dampak rekayasa ulang pada tipe proyek konstruksi lainnya guna memperoleh temuan yang lebih general dan komprehensif.

DAFTAR REFERENSI

- Alshihri, S., Al-Gahtani, K., & Almohsen, A. (2022). Risk factors that lead to time and cost overruns of building projects in Saudi Arabia. *Buildings*, 12(7), 902. <https://doi.org/10.3390/buildings12070902>
- Alvandi, B., Rosyati, R., & Abdu, M. (2021). Analisis perbandingan biaya pelaksanaan pekerjaan balok metode konvensional dan precast pada proyek Aspina Residence Batuceper. *Structure*, 3(1), 96. <https://doi.org/10.31000/civil.v3i1.7156>
- Andriawan, E. (2020). Metode pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek Gedung Arandra Residence Jakarta.
- Bigwanto, A., Widayati, N., Wibowo, M. A., & Sari, E. M. (2024). Lean construction: A sustainability operation for government projects. *Sustainability*, 16(8), 3386. <https://doi.org/10.3390/su16083386>
- Daoud, A. O., Hefnawy, M. E., & Wefki, H. (2023). Investigation of critical factors affecting cost overruns and delays in Egyptian megaconstruction projects. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.052>
- Idrees, S., & Shafiq, M. (2021). Factors for time and cost overrun in public projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*. <https://doi.org/10.2478/jepmm-2021-0023>
- Mohamed, A. S., Xiao, F., & Hettiarachchi, C. (2022). Project level management decisions in construction and rehabilitation of flexible pavements. *Automation in Construction*, 133, 104035. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104035>
- Mohammed, M., Shafiq, N., Elmansoury, A., Al-Mekhlafi, A.-B. A., Rached, E. F., Zawawi, N., Haruna, A., Rafindadi, A. D., & Ibrahim, M. (2021). Modeling of 3R (Reduce,

- Reuse and Recycle) for sustainable construction waste reduction: A partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su131910660>
- Orobia, L. A., Nakibuuka, J., Bananuka, J., & Akisimire, R. (2020). Inventory management, managerial competence and financial performance of small businesses. *Journal of Accounting in Emerging Economies*, 10(3), 379–398. <https://doi.org/10.1108/jaee-07-2019-0147>
- Priyo, M. (2021). Earned value management system in Indonesian construction projects. *International Journal of Integrated Engineering*. <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.03.005>
- Rachmawati, F., Mudjahidin, M., & Dewi Widowati, E. (2022). Work rate modeling of building construction projects using system dynamic to optimize project cost and time performance. *International Journal of Construction Management*, 24(2), 213–225. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2122265>
- Rossaty, R., Safitri, R. A., & Nabilah, S. A. (2023). Analisis perbandingan penggunaan bekisting konvensional dan bekisting aluminium terhadap biaya dan waktu (Studi kasus: Proyek Akasa Apartment Tower Kamaya, Bumi Serpong Damai, Tangerang Selatan). *Structure*, 4(2), 43. <https://doi.org/10.31000/civil.v4i2.8062>
- Schützenhofer, S., Kovacic, I., Rechberger, H., & Mack, S. (2022). Improvement of environmental sustainability and circular economy through construction waste management for material reuse. *Sustainability*, 14(17), 11087. <https://doi.org/10.3390/su141711087>
- Surono, A., & Rosyati, R. (2023). Faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan bekisting pada proyek gedung sekolah St. Yohanes Pik2. *Structure*. <https://doi.org/10.31000/civil.v5i2.10021>
- Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2021). Analysis of formwork system selection criteria for building construction projects: A comparative study. *Buildings*, 11(12), 618. <https://doi.org/10.3390/buildings11120618>
- Umar, A. R., & Ranap Tua Naibaho, P. (2022). Proyek pembangunan jembatan rumah susun padat karya "Pengamatan pelaksanaan pekerjaan plat pada jembatan rumah susun padat karya." *NUCLEUS*, 3(1), 76–84. <https://doi.org/10.37010/nuc.v3i1.791>
- Wibowo, M. A., Handayani, N. U., Mustikasari, A., Wardani, S. A., & Tjahjono, B. (2022). Reverse logistics performance indicators for the construction sector: A building project case. *Sustainability*, 14(2), 963. <https://doi.org/10.3390/su14020963>
- Wyke, S., Lindhard, S., & Larsen, J. (2023). Using principal component analysis to identify latent factors affecting cost and time overrun in public construction projects. *Engineering Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ecam-02-2022-0189>
- Yanita, R., & Nurdianto, N. (2023). Perbandingan kinerja pengecoran antara concrete-bucket dan concrete-pump pada proyek bangunan bertingkat. *Racic: Rab Construction Research*, 8(2), 296–307. <https://doi.org/10.36341/racic.v8i2.3639>
- Zhong, Q., Tang, H., & Chen, C. (2022). A framework for selecting construction project delivery method using design structure matrix. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings12040443>