



Analisis Kelayakan Ekonomi dan Teknis Proyek Pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District* Menggunakan Metode *Value Engineering*

Buyung Mantap^{1*}, Frando Heriss Mamuri²

¹⁻² Universitas Ratu Samban, Indonesia

email: buyungmantap@gmail.com¹

Article Info :

Received:
12-07-2026
Revised:
26-07-2026
Accepted:
01-08-2026

Abstract

The imbalance between increasing vehicle volumes and road infrastructure development has triggered congestion escalation in urban central business areas. This study aims to evaluate the economic and technical feasibility of a 12.5-kilometer toll road development project and optimize construction costs through a Value Engineering approach. The analysis was conducted using the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), and Payback Period indicators with a 30-year investment period. The initial analysis indicates that the project is financially feasible, with an NPV of IDR 450.2 billion, an IRR of 12.4%, and a BCR of 1.28. The implementation of Value Engineering through precast system optimization and material substitution resulted in construction cost savings of 14.2% or IDR 185 billion. After optimization, the NPV increased to IDR 635.7 billion, the IRR improved to 14.1%, the BCR reached 1.45, and the Payback Period was reduced to 11.8 years. The integration of economic evaluation and value engineering provides a more efficient and sustainable toll road development strategy. This approach can serve as a basis for urban infrastructure investment decision-making by considering technical, economic, and long-term risk aspects.

Keywords: *Engineering Economy, Infrastructure Investment, NPV, Toll Road, Value Engineering.*

Akbrstrak

Pertumbuhan volume kendaraan yang tidak seimbang dengan perkembangan infrastruktur jalan memicu peningkatan kongesti pada kawasan pusat bisnis perkotaan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan ekonomi dan teknis pembangunan jalan tol sepanjang 12,5 kilometer serta mengoptimalkan biaya konstruksi melalui pendekatan *Value Engineering*. Analisis dilakukan menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* dengan umur investasi 30 tahun. Hasil analisis awal menunjukkan proyek layak dengan NPV Rp450,2 miliar, IRR 12,4%, dan BCR 1,28. Penerapan *Value Engineering* melalui optimasi sistem pracetak dan substitusi material menghasilkan penghematan biaya konstruksi sebesar 14,2% atau Rp185 miliar. Setelah optimasi, NPV meningkat menjadi Rp635,7 miliar, IRR 14,1%, BCR 1,45, dan *Payback Period* berkurang menjadi 11,8 tahun. Integrasi evaluasi ekonomi dan rekayasa nilai menghasilkan strategi pembangunan jalan tol yang lebih efisien dan berkelanjutan. Pendekatan ini dapat menjadi dasar pengambilan keputusan investasi infrastruktur perkotaan dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan risiko jangka panjang.

Kata Kunci: *Ekonomi Rekayasa, Investasi Infrastruktur, Jalan Tol, NPV, Value Engineering.*



©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

Perkembangan kawasan perkotaan yang dinamis selalu beriringan dengan peningkatan mobilitas penduduk, ekspansi aktivitas ekonomi, dan intensitas distribusi logistik yang semakin kompleks. Perubahan struktur ekonomi perkotaan yang ditandai dengan pertumbuhan kawasan pusat bisnis (*Central Business District/CBD*) menyebabkan kebutuhan terhadap sistem transportasi yang memiliki kapasitas tinggi, keandalan operasional, serta kemampuan mendukung arus pergerakan manusia dan barang secara berkelanjutan. Di berbagai negara berkembang, pertumbuhan urbanisasi yang cepat telah memberikan tekanan besar terhadap jaringan transportasi eksisting karena peningkatan permintaan perjalanan sering kali tidak diikuti oleh percepatan pembangunan infrastruktur baru. Kondisi serupa terjadi pada wilayah perkotaan di Indonesia, ketika peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan aktivitas ekonomi menyebabkan ketidakseimbangan antara kapasitas jalan dengan

volume lalu lintas harian. Permasalahan tersebut menghasilkan berbagai konsekuensi ekonomi berupa peningkatan waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, biaya operasional kendaraan, serta penurunan produktivitas akibat kemacetan lalu lintas. Pengembangan jaringan jalan tol perkotaan (*urban toll road*) menjadi salah satu pendekatan strategis dalam bidang teknik sipil dan transportasi untuk meningkatkan konektivitas wilayah serta mengurangi tekanan pada koridor jalan utama perkotaan (Ainun et al., 2022). Infrastruktur jalan tol tidak lagi dipandang hanya sebagai fasilitas transportasi, tetapi juga sebagai instrumen penggerak pertumbuhan ekonomi yang membutuhkan perencanaan teknis dan investasi secara terpadu.

Pembangunan proyek jalan tol, khususnya pada kawasan perkotaan dengan tingkat aktivitas ekonomi tinggi, menghadirkan tantangan yang lebih kompleks dibandingkan pembangunan jalan bebas hambatan pada wilayah nonperkotaan. Keterbatasan ruang, tingginya nilai lahan, kebutuhan struktur khusus, serta tuntutan menjaga aktivitas ekonomi selama masa konstruksi menjadikan proses perencanaan harus mempertimbangkan berbagai aspek secara simultan. Proyek infrastruktur jalan tol memiliki karakteristik investasi dengan kebutuhan modal awal yang besar, periode pengembalian yang panjang, serta tingkat ketidakpastian yang relatif tinggi akibat perubahan biaya konstruksi, proyeksi lalu lintas, dan kondisi ekonomi makro. Evaluasi ekonomi rekayasa menjadi pendekatan penting dalam menentukan apakah suatu proyek mampu memberikan manfaat yang sebanding dengan sumber daya yang dialokasikan selama umur layanan infrastruktur tersebut (Blank & Tarquin, 2018). Pendekatan ekonomi teknik memungkinkan pengambil keputusan mengevaluasi alternatif investasi berdasarkan hubungan antara biaya, manfaat, waktu, serta tingkat pengembalian yang dihasilkan proyek (Park, 2019). Penelitian mengenai kelayakan Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo menunjukkan bahwa aspek investasi, estimasi biaya, dan proyeksi manfaat ekonomi merupakan faktor utama yang menentukan keberlanjutan pembangunan jalan tol (Nuzulia & Negara, 2025). Kajian kelayakan Jalan Tol Demak–Pati juga memperlihatkan bahwa keputusan pembangunan infrastruktur transportasi harus mempertimbangkan kombinasi indikator ekonomi dan finansial agar risiko investasi dapat diminimalkan (Octaviani et al., 2026). Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan model evaluasi kelayakan proyek jalan tol, sebagian besar kajian masih berfokus pada penilaian investasi tanpa memberikan perhatian yang memadai terhadap peluang optimasi teknis pada desain dan metode konstruksi.

Selain aspek kelayakan investasi, perkembangan industri konstruksi modern menunjukkan adanya kebutuhan terhadap strategi perencanaan yang mampu menghasilkan infrastruktur dengan nilai manfaat maksimum melalui penggunaan sumber daya yang efisien. Tantangan utama dalam proyek jalan tol bukan hanya bagaimana menyediakan infrastruktur dengan standar teknis yang memenuhi persyaratan keselamatan, tetapi juga bagaimana memastikan biaya pembangunan tetap rasional sepanjang siklus hidup proyek. Konsep *Value Engineering* (VE) berkembang sebagai metode sistematis yang mengidentifikasi hubungan antara fungsi, biaya, dan kinerja untuk memperoleh alternatif desain yang memberikan nilai terbaik bagi pemilik proyek maupun pengguna infrastruktur (Dell’Isola, 1997). Pendekatan ini menekankan bahwa pengurangan biaya tidak sekadar dilakukan melalui pemangkasan komponen pekerjaan, tetapi melalui analisis mendalam terhadap fungsi utama proyek dan pemilihan alternatif yang mampu mempertahankan kualitas serta keandalan konstruksi. Penerapan *Value Engineering* pada proyek infrastruktur jalan telah menunjukkan kemampuan dalam menemukan alternatif desain, material, maupun metode konstruksi yang lebih ekonomis tanpa mengurangi fungsi utama bangunan infrastruktur (SAVE International, 2015). Studi Berawi et al. (2015) membuktikan bahwa integrasi metode Value Engineering dalam analisis pembangunan jalan tol dapat meningkatkan efektivitas keputusan investasi melalui identifikasi alternatif yang lebih optimal secara teknis dan ekonomi. Penelitian terbaru mengenai penerapan Value Engineering pada proyek jalan tol di Indonesia juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis fungsi mampu menghasilkan rekomendasi penghematan biaya melalui evaluasi alternatif pekerjaan konstruksi secara sistematis (Abma et al., 2026). Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih menempatkan Value Engineering sebagai instrumen pengendalian biaya konstruksi, bukan sebagai bagian integral dari analisis kelayakan investasi proyek.

Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa terdapat celah konseptual dalam kajian infrastruktur jalan tol, khususnya terkait bagaimana pendekatan optimasi teknis melalui *Value Engineering* dapat dikombinasikan secara langsung dengan evaluasi kelayakan ekonomi untuk menghasilkan keputusan investasi yang lebih komprehensif. Sebagian penelitian terdahulu telah membahas kelayakan finansial jalan tol melalui indikator ekonomi rekayasa, sementara penelitian

lainnya berfokus pada efisiensi biaya konstruksi melalui pendekatan Value Engineering, tetapi hubungan antara perubahan desain teknis dan pengaruhnya terhadap kelayakan investasi masih belum banyak dianalisis secara mendalam. Studi mengenai jalan tol layang menunjukkan bahwa pemilihan solusi struktur tertentu dapat memberikan keuntungan dalam mengatasi keterbatasan lahan perkotaan, tetapi keputusan tersebut harus dikaji berdasarkan konsekuensi biaya pembangunan, biaya pemeliharaan, dan manfaat ekonomi selama umur layanan proyek (Setiawan, 2022). Kondisi ini menjadi semakin penting pada pembangunan jalan tol segmen CBD karena karakteristik proyek perkotaan membutuhkan keseimbangan antara efisiensi biaya, keterbatasan ruang, kecepatan pelaksanaan, dan keberlanjutan operasional. Analisis berbasis *Life Cycle Cost* menjadi pendekatan yang relevan karena mampu mengevaluasi keseluruhan biaya proyek mulai dari tahap investasi awal, konstruksi, operasi, pemeliharaan, hingga akhir masa layanan infrastruktur (Pujawan, 2012). Perspektif manajemen konstruksi modern juga menegaskan bahwa keberhasilan proyek tidak hanya ditentukan oleh penyelesaian pekerjaan sesuai spesifikasi, tetapi juga oleh kemampuan pengelola proyek dalam mengendalikan biaya, risiko, dan nilai manfaat selama seluruh tahapan siklus proyek (Kerzner, 2017). Oleh sebab itu, masih diperlukan penelitian yang mengembangkan pendekatan integratif antara analisis teknis, ekonomi rekayasa, dan Value Engineering untuk menjawab kebutuhan pengambilan keputusan pada proyek jalan tol dengan kompleksitas tinggi.

Urgensi penelitian ini semakin meningkat karena pembangunan jalan tol perkotaan melibatkan keputusan investasi jangka panjang yang berdampak terhadap berbagai pihak, mulai dari badan usaha jalan tol, pemerintah, kontraktor, hingga masyarakat sebagai pengguna akhir. Ketidakakuratan dalam menentukan alternatif desain dan strategi pembiayaan dapat menyebabkan peningkatan biaya investasi, rendahnya tingkat pengembalian modal, serta risiko ketidaksesuaian antara tarif layanan dengan kemampuan ekonomi pengguna. Pemerintah melalui pengembangan sistem jalan tol nasional juga menempatkan aspek efisiensi investasi dan keberlanjutan finansial sebagai elemen penting dalam penyediaan infrastruktur transportasi yang kompetitif (BPJT, 2025). Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa evaluasi kelayakan ekonomi perlu mempertimbangkan keterkaitan antara biaya pembangunan, manfaat pengguna, serta dukungan kebijakan agar proyek dapat berjalan secara berkelanjutan (Pratomo, 2022). Pendekatan Value Engineering memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi proyek melalui proses identifikasi fungsi, pengembangan alternatif, dan evaluasi teknis yang terstruktur sehingga keputusan desain tidak hanya didasarkan pada kebiasaan konstruksi sebelumnya. Penelitian mengenai penerapan Value Engineering pada pekerjaan struktur jalan tol juga menunjukkan bahwa alternatif metode pelaksanaan tertentu mampu memberikan efisiensi apabila dibandingkan dengan desain awal yang digunakan pada tahap perencanaan (Setyawan & Haq, 2025). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai integrasi kelayakan ekonomi dan teknis melalui metode Value Engineering pada proyek pembangunan Jalan Tol Segmen CBD memiliki relevansi ilmiah dan praktis yang kuat dalam mendukung pengembangan infrastruktur yang efisien dan berkelanjutan.

Penelitian ini menempatkan diri dalam lanskap keilmuan teknik sipil yang mengintegrasikan pendekatan ekonomi rekayasa, analisis kelayakan investasi, dan metode Value Engineering sebagai satu kerangka evaluasi terpadu pada proyek pembangunan jalan tol perkotaan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung mengevaluasi aspek finansial atau optimasi teknis secara terpisah, penelitian ini berupaya menghubungkan keputusan alternatif teknis dengan dampaknya terhadap tingkat kelayakan ekonomi proyek. Pendekatan tersebut memungkinkan proses pengambilan keputusan pembangunan infrastruktur dilakukan secara lebih menyeluruh karena mempertimbangkan fungsi proyek, kebutuhan pengguna, efisiensi biaya, serta keberlanjutan investasi dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan ekonomi dan teknis proyek pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District* menggunakan metode *Value Engineering*. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi alternatif teknis yang mampu meningkatkan nilai proyek melalui optimalisasi biaya tanpa mengurangi fungsi utama, kualitas, dan aspek keselamatan konstruksi. Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian ekonomi rekayasa dan manajemen konstruksi melalui model integrasi antara evaluasi investasi dan optimasi nilai pada proyek infrastruktur transportasi. Secara metodologis, penelitian ini menawarkan pendekatan analitis yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pembangunan jalan tol perkotaan yang lebih efisien, rasional, dan adaptif terhadap kompleksitas kebutuhan infrastruktur masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian empiris dengan pendekatan kuantitatif berbasis studi kasus yang bertujuan mengembangkan model evaluasi terpadu antara analisis kelayakan ekonomi dan metode *Value Engineering* pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District* (CBD). Model penelitian dikembangkan melalui integrasi data teknis dan ekonomi proyek yang diperoleh dari data primer berupa observasi lapangan dan wawancara dengan tenaga ahli, serta data sekunder berupa dokumen *Detailed Engineering Design* (DED), *Bill of Quantity* (BOQ), harga satuan pekerjaan, spesifikasi teknis, dan data lalu lintas harian rata-rata (LHR). Tahap awal penelitian dilakukan dengan menyusun kondisi dasar (*baseline condition*) proyek melalui perhitungan biaya investasi, pendapatan operasional, biaya pemeliharaan, dan komponen biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) untuk mengetahui tingkat kelayakan proyek sebelum dilakukan optimasi. Analisis kelayakan ekonomi dilakukan menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit Cost Ratio* (BCR) yang umum digunakan dalam evaluasi investasi infrastruktur jangka panjang (Blank & Tarquin, 2018). Formulasi analisis ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

dengan C_t merupakan arus kas bersih pada periode ke- t , i merupakan tingkat diskonto, dan n merupakan umur analisis proyek. Nilai IRR ditentukan berdasarkan tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol, sedangkan BCR dihitung melalui perbandingan antara nilai manfaat sekarang (*present benefit*) dan nilai biaya sekarang (*present cost*) sebagai dasar penentuan kelayakan investasi (Grant et al., 1996). Struktur komponen biaya proyek dianalisis menggunakan pendekatan *Life Cycle Cost Analysis* yang mencakup biaya pembebasan lahan, biaya konstruksi awal, biaya operasi, biaya pemeliharaan berkala, serta nilai sisa proyek pada akhir umur layanan (Pujawan, 2012).

Tabel 1. Estimasi Distribusi Biaya Siklus Hidup Proyek Pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District*

Komponen Biaya Proyek	Karakteristik Pengeluaran	Persentase Estimasi Awal
Pembebasan Lahan	Investasi Awal	25%
Konstruksi Struktur	Investasi Awal	55%
Operasional & Tol	Rutin Tahunan	8%
Pemeliharaan Berkala	Periodik (5 Tahunan)	12%

Tahap pengembangan alternatif teknis dilakukan menggunakan metode *Value Engineering Job Plan* yang terdiri atas tahap informasi, analisis fungsi, kreativitas, evaluasi, pengembangan, dan presentasi sebagai kerangka sistematis dalam menghasilkan alternatif desain dengan nilai optimal (SAVE International, 2015). Identifikasi pekerjaan prioritas dilakukan menggunakan analisis Pareto (*ABC Analysis*) untuk menentukan komponen pekerjaan yang memberikan kontribusi biaya terbesar terhadap total investasi proyek. Selanjutnya, analisis fungsi dilakukan dengan pendekatan *Function Analysis System Technique* (FAST) untuk mengidentifikasi hubungan antara fungsi dasar (*basic function*) dan fungsi pendukung (*secondary function*) sehingga alternatif pengurangan biaya tetap mempertahankan fungsi utama proyek (Dell'Isola, 1997).

Validasi hasil penelitian dilakukan melalui simulasi perbandingan kondisi proyek sebelum dan sesudah penerapan alternatif *Value Engineering* dengan mengukur perubahan indikator kelayakan ekonomi dan performa teknis proyek. Setiap alternatif yang dikembangkan dievaluasi berdasarkan indeks nilai (*value index*) yang mempertimbangkan hubungan antara tingkat performa fungsi dan biaya yang diperlukan, sehingga alternatif terpilih bukan hanya memiliki biaya rendah tetapi juga mampu memenuhi persyaratan teknis konstruksi. Pengujian ketahanan model dilakukan melalui analisis sensitivitas terhadap perubahan faktor eksternal yang berpotensi memengaruhi keberhasilan investasi, seperti peningkatan biaya konstruksi, perubahan pendapatan tol, dan variasi volume lalu lintas. Pendekatan sensitivitas digunakan untuk mengetahui tingkat stabilitas keputusan investasi ketika menghadapi kondisi ketidakpastian ekonomi dan teknis selama umur proyek (Park, 2019). Validasi

teknis dilakukan melalui pemeriksaan kesesuaian alternatif terhadap standar desain jalan, spesifikasi material, dan persyaratan konstruksi yang berlaku dalam pembangunan infrastruktur jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Hasil evaluasi akhir digunakan untuk menentukan alternatif pembangunan yang memberikan kombinasi terbaik antara efisiensi biaya, kelayakan investasi, dan pemenuhan fungsi infrastruktur. Metode ini memiliki keunikan karena menggabungkan evaluasi ekonomi rekayasa dengan optimasi berbasis fungsi, sehingga keputusan pembangunan jalan tol tidak hanya mempertimbangkan aspek finansial, tetapi juga kemampuan desain teknis dalam menghasilkan nilai maksimum sepanjang siklus hidup proyek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Komponen Biaya Dominan dan Prioritas Analisis *Value Engineering*

Tahap awal analisis hasil penelitian dilakukan melalui identifikasi komponen pekerjaan yang memiliki pengaruh terbesar terhadap struktur biaya pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District* (CBD). Berdasarkan dokumen *Bill of Quantity* (BOQ), nilai estimasi biaya konstruksi awal proyek mencapai Rp1,30 triliun yang terdiri atas berbagai komponen pekerjaan struktur, perkerasan, dan elemen pendukung lainnya. Analisis biaya awal diperlukan untuk menentukan kondisi dasar (*baseline condition*) sebelum dilakukan penerapan alternatif *Value Engineering*. Pendekatan identifikasi biaya dominan digunakan karena tidak seluruh komponen pekerjaan memiliki tingkat pengaruh yang sama terhadap total investasi proyek. Konsep pengendalian biaya konstruksi menunjukkan bahwa sebagian kecil komponen pekerjaan umumnya memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya sehingga menjadi prioritas dalam proses evaluasi efisiensi (Widiasanti & Lenggogeni, 2013). Hasil analisis awal menunjukkan bahwa pekerjaan struktur utama dan perkerasan jalan merupakan elemen dengan proporsi biaya terbesar sehingga dipilih sebagai fokus pengembangan alternatif teknis.

Analisis Pareto (*ABC Analysis*) diterapkan untuk mengelompokkan pekerjaan berdasarkan tingkat kontribusi biaya terhadap keseluruhan anggaran konstruksi. Metode ini memungkinkan proses evaluasi *Value Engineering* dilakukan secara lebih terarah karena sumber daya analisis difokuskan pada pekerjaan yang memiliki potensi penghematan paling besar. Berdasarkan hasil pengolahan data BOQ, pekerjaan struktur *pier head*, girder pracetak, dan perkerasan lentur menunjukkan nilai kumulatif biaya yang dominan dibandingkan komponen pekerjaan lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi pada ketiga elemen tersebut berpotensi memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi investasi proyek. Pendekatan serupa digunakan dalam kajian *Value Engineering* pada infrastruktur jalan yang menempatkan komponen berbiaya tinggi sebagai objek utama pengembangan alternatif desain (Abma et al., 2026). Identifikasi prioritas berdasarkan distribusi biaya menjadi tahap penting karena keputusan modifikasi teknis harus diarahkan pada elemen yang mampu menghasilkan peningkatan nilai proyek secara maksimal.

Tabel 2. Hasil Analisis Pareto Biaya Konstruksi

Kode Pekerjaan	Item Pekerjaan Utama	Biaya Desain Awal	Persentase Kumulatif	Status VE
A	Struktur Pier Head	Rp380 Miliar	29,2%	Masuk Studi VE
B	Girder Pracetak	Rp310 Miliar	53,1%	Masuk Studi VE
C	Perkerasan Lentur	Rp240 Miliar	71,5%	Masuk Studi VE
D	Struktur Bawah (Pile)	Rp180 Miliar	85,4%	Dipertahankan

Berdasarkan Tabel 2, pekerjaan *pier head* memiliki kontribusi biaya terbesar dengan nilai Rp380 miliar atau mencapai 29,2% dari akumulasi biaya pekerjaan yang dianalisis. Komponen girder pracetak menempati posisi berikutnya dengan kontribusi kumulatif mencapai 53,1%, sedangkan pekerjaan perkerasan lentur meningkatkan akumulasi biaya hingga 71,5%. Pola distribusi tersebut menunjukkan bahwa ketiga pekerjaan tersebut memiliki pengaruh utama terhadap efisiensi biaya konstruksi sehingga layak menjadi objek evaluasi lebih lanjut dalam proses VE. Pendekatan pemilihan item berdasarkan kontribusi biaya juga digunakan dalam penelitian Berawi et al. (2015), yang menunjukkan bahwa identifikasi komponen kritis mampu meningkatkan efektivitas penerapan *Value*

Engineering pada proyek jalan tol. Komponen struktur bawah (*pile*) tidak menjadi prioritas utama perubahan karena meskipun memiliki kontribusi biaya yang cukup besar, elemen tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan stabilitas dan keamanan struktur sehingga ruang modifikasi teknis relatif lebih terbatas.

Hasil identifikasi biaya dominan menunjukkan bahwa strategi optimasi proyek jalan tol tidak dapat hanya dilakukan melalui pengurangan biaya pada seluruh elemen pekerjaan secara umum. Setiap komponen harus dianalisis berdasarkan fungsi, tingkat kepentingan struktural, serta kemungkinan penerapan alternatif konstruksi yang tetap memenuhi standar teknis. Pendekatan Value Engineering menempatkan fungsi sebagai dasar evaluasi sehingga perubahan desain tidak hanya bertujuan mengurangi biaya, tetapi memastikan fungsi utama proyek tetap terpenuhi dengan sumber daya yang lebih efisien (Dell'Isola, 1997). Pada proyek jalan tol perkotaan, aspek tersebut menjadi semakin penting karena struktur utama harus mampu memenuhi tuntutan kapasitas lalu lintas tinggi sekaligus mempertimbangkan keterbatasan ruang konstruksi. Analisis prioritas biaya pada penelitian ini menjadi dasar dalam menentukan komponen yang akan memasuki tahap analisis fungsi dan pengembangan alternatif teknis. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa integrasi antara analisis biaya dan evaluasi fungsi merupakan pendekatan yang relevan untuk meningkatkan kualitas keputusan rekayasa pada proyek infrastruktur kompleks.

Temuan pada tahap identifikasi biaya juga memperlihatkan hubungan antara pengendalian biaya konstruksi dan keberhasilan investasi jangka panjang proyek jalan tol. Komponen yang memiliki nilai investasi tinggi akan memberikan pengaruh terhadap kebutuhan pembiayaan awal, beban depresiasi, serta kemampuan proyek mencapai tingkat pengembalian yang direncanakan. Evaluasi awal terhadap struktur biaya menjadi penting karena perubahan kecil pada komponen dominan dapat memberikan dampak signifikan terhadap indikator kelayakan ekonomi proyek. Studi mengenai kelayakan investasi jalan tol menunjukkan bahwa komponen biaya konstruksi dan strategi optimasi teknis merupakan faktor yang berpengaruh terhadap keberlanjutan finansial proyek (Nuzulia & Negara, 2025). Perspektif ekonomi rekayasa juga menjelaskan bahwa keputusan investasi harus mempertimbangkan hubungan antara biaya awal, manfaat ekonomi, dan risiko selama periode operasi proyek (Blank & Tarquin, 2018). Hasil identifikasi biaya dominan pada penelitian ini selanjutnya digunakan sebagai dasar pengembangan alternatif VE dan evaluasi dampaknya terhadap peningkatan nilai ekonomi proyek.

Pengembangan Alternatif Teknis melalui Metode *Value Engineering*

Pengembangan alternatif teknis dilakukan terhadap komponen pekerjaan yang telah ditetapkan sebagai prioritas berdasarkan hasil analisis Pareto, yaitu struktur *pier head*, girder pracetak, dan perkerasan lentur. Tahapan ini bertujuan memperoleh rancangan alternatif yang mampu meningkatkan nilai proyek melalui keseimbangan antara efisiensi biaya, kinerja teknis, serta keberlanjutan fungsi infrastruktur selama umur layanan. Proses pengembangan dilakukan menggunakan pendekatan *Value Engineering Job Plan* yang melibatkan identifikasi fungsi, penyusunan alternatif, evaluasi kelayakan, dan pemilihan rekomendasi berdasarkan tingkat nilai (*value*) yang dihasilkan. Metode tersebut menempatkan fungsi sebagai dasar utama evaluasi sehingga perubahan desain tidak hanya berorientasi pada pengurangan biaya konstruksi, tetapi juga mempertahankan aspek kualitas, keamanan, dan keandalan sistem (SAVE International, 2015). Karakteristik pembangunan jalan tol segmen CBD yang berada pada kawasan perkotaan menyebabkan aspek kecepatan pelaksanaan dan efisiensi metode kerja menjadi faktor penting dalam pengembangan alternatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen struktur atas memiliki peluang optimasi yang tinggi karena memiliki nilai biaya besar serta kompleksitas pekerjaan yang memungkinkan dilakukan inovasi teknis.

Alternatif teknis pertama dikembangkan pada pekerjaan struktur *pier head* yang pada desain awal menggunakan metode *cast-in-place* dengan beton mutu tinggi. Metode tersebut secara teknis memenuhi kebutuhan struktur, tetapi memiliki keterbatasan dari sisi produktivitas karena membutuhkan tahapan pekerjaan pengecoran, pemasangan bekisting, pengawasan mutu beton, dan proses perawatan yang dilakukan langsung di lokasi konstruksi. Alternatif yang diajukan melalui pendekatan VE adalah penggunaan *precast pier head* dengan beton prategang berkinerja tinggi yang memungkinkan proses produksi dilakukan secara lebih terkendali sebelum elemen dipasang di lapangan. Sistem pracetak memberikan potensi peningkatan efisiensi melalui pengurangan waktu pelaksanaan, peningkatan konsistensi mutu, serta pengurangan ketergantungan terhadap kondisi lingkungan proyek. Penelitian

Iandryan (2023) menunjukkan bahwa penerapan Value Engineering pada pekerjaan struktur jalan tol dapat menghasilkan alternatif konstruksi yang lebih efektif melalui evaluasi metode pelaksanaan dan pemilihan teknologi konstruksi yang memiliki tingkat efisiensi lebih tinggi. Pengembangan alternatif tersebut menunjukkan bahwa inovasi metode kerja menjadi salah satu pendekatan penting dalam meningkatkan nilai proyek tanpa mengurangi kemampuan struktur dalam menerima beban layanan.

Tabel 3. Perbandingan Alternatif Desain Awal dan Rekomendasi *Value Engineering* pada Komponen Prioritas Proyek Jalan Tol Segmen Central Business District

Komponen Pekerjaan	Kondisi Desain Awal	Alternatif <i>Value Engineering</i>	Dasar Optimasi
Struktur <i>Pier Head</i>	<i>Cast-in-place</i> menggunakan beton mutu tinggi	<i>Precast pier head</i> dengan beton prategang berkinerja tinggi	Pengurangan waktu konstruksi, peningkatan kontrol mutu, dan efisiensi pelaksanaan
Girder Pracetak	Sistem produksi dan pemasangan eksisting	Optimasi sistem fabrikasi dan metode <i>erection</i>	Efisiensi proses kerja, pengurangan risiko pelaksanaan, dan optimalisasi sumber daya
Perkerasan Lentur	Struktur lapisan eksisting dengan material konvensional	Optimasi lapisan menggunakan agregat stabilitas tinggi dan aspal modifikasi polimer	Peningkatan durabilitas dan pengurangan biaya pemeliharaan

Berdasarkan Tabel 3, alternatif yang dikembangkan menunjukkan bahwa strategi Value Engineering tidak dilakukan melalui pengurangan spesifikasi teknis, tetapi melalui perubahan metode pemenuhan fungsi yang lebih efisien. Pada pekerjaan *pier head*, perubahan sistem konstruksi diarahkan untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi waktu pelaksanaan, sedangkan pada komponen girder optimasi difokuskan pada proses fabrikasi dan pemasangan elemen struktur. Konsep tersebut sesuai dengan prinsip VE yang menyatakan bahwa alternatif terbaik merupakan alternatif yang mampu memberikan fungsi yang sama atau lebih baik dengan penggunaan sumber daya yang lebih optimal (Dell'Isola, 1997). Penelitian Berawi et al. (2015) juga menjelaskan bahwa keberhasilan penerapan Value Engineering pada proyek jalan tol sangat dipengaruhi oleh kemampuan mengintegrasikan analisis fungsi dengan evaluasi biaya sehingga alternatif yang dipilih memiliki nilai ekonomi dan teknis yang seimbang. Hasil evaluasi memperlihatkan bahwa komponen struktur utama menjadi area yang paling potensial untuk dilakukan rekayasa karena memiliki hubungan langsung dengan biaya investasi awal dan produktivitas konstruksi. Pendekatan tersebut memperkuat dasar pemilihan alternatif sebelum dilakukan analisis dampak finansial terhadap kelayakan proyek.

Selain struktur utama, pengembangan alternatif dilakukan pada pekerjaan perkerasan lentur karena komponen tersebut memiliki pengaruh terhadap kualitas pelayanan jalan selama masa operasi. Evaluasi teknis dilakukan melalui kajian terhadap karakteristik material, ketebalan lapisan, serta kemampuan struktur perkerasan dalam menerima beban lalu lintas sesuai umur rencana. Alternatif yang dikembangkan berupa optimasi penggunaan agregat dengan tingkat stabilitas tinggi dan aspal modifikasi polimer untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi serta mengurangi kebutuhan pemeliharaan berkala. Pendekatan tersebut mempertimbangkan bahwa biaya konstruksi awal hanya merupakan salah satu komponen dalam pengambilan keputusan investasi karena biaya operasi dan pemeliharaan memiliki pengaruh terhadap nilai ekonomi proyek sepanjang siklus hidupnya (Pujawan, 2012). Standar desain perkerasan jalan menegaskan bahwa pemilihan material dan struktur perkerasan harus mempertimbangkan kondisi lalu lintas, lingkungan, serta target umur pelayanan agar kinerja jalan tetap memenuhi persyaratan teknis (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Hasil pengembangan alternatif menunjukkan bahwa optimasi material perkerasan tidak hanya berpotensi menurunkan biaya, tetapi juga meningkatkan ketahanan infrastruktur terhadap beban operasional jangka panjang.

Tahap akhir pengembangan alternatif dilakukan melalui evaluasi nilai dengan mempertimbangkan hubungan antara fungsi teknis, kebutuhan biaya, dan risiko penerapan pada kondisi proyek sebenarnya. Setiap alternatif dianalisis berdasarkan kemampuan memenuhi fungsi utama (*basic*

function) dan fungsi pendukung (*secondary function*) sehingga keputusan yang diambil tidak hanya berdasarkan nilai investasi awal. Pendekatan evaluasi berbasis fungsi memungkinkan proses seleksi alternatif dilakukan secara lebih objektif karena mempertimbangkan manfaat teknis dan ekonomi secara bersamaan. Kerangka tersebut sejalan dengan konsep manajemen proyek yang menempatkan pengendalian biaya, mutu, waktu, dan risiko sebagai faktor yang saling berkaitan dalam keberhasilan proyek konstruksi (Kerzner, 2017). Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan Value Engineering menghasilkan alternatif yang memiliki potensi peningkatan nilai proyek melalui inovasi metode konstruksi dan optimalisasi penggunaan material. Temuan ini memperlihatkan bahwa VE dapat berfungsi sebagai instrumen pengambilan keputusan strategis pada proyek infrastruktur kompleks, khususnya jalan tol perkotaan yang membutuhkan keseimbangan antara efisiensi investasi dan pemenuhan standar teknis.

Evaluasi Dampak Finansial dan Ketahanan Investasi Pasca Penerapan Value Engineering

Evaluasi dampak finansial dilakukan untuk mengukur perubahan tingkat kelayakan investasi proyek setelah penerapan alternatif *Value Engineering* pada komponen pekerjaan prioritas. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi awal proyek (*baseline condition*) dengan kondisi setelah dilakukan optimasi teknis berdasarkan perubahan biaya investasi, proyeksi arus kas, serta indikator kelayakan ekonomi. Parameter yang digunakan dalam evaluasi meliputi *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* yang menjadi indikator utama dalam menilai keberlanjutan investasi infrastruktur jangka panjang. Pendekatan ekonomi rekayasa digunakan karena proyek jalan tol memiliki karakteristik investasi dengan kebutuhan modal awal yang besar, periode pengembalian panjang, serta tingkat ketidakpastian yang dipengaruhi oleh faktor teknis maupun ekonomi (Blank & Tarquin, 2018). Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan VE memberikan perubahan positif terhadap struktur finansial proyek melalui penurunan biaya investasi awal dan peningkatan nilai manfaat ekonomi selama periode konsesi. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa optimasi teknis yang dilakukan tidak hanya memberikan efisiensi pada tahap konstruksi, tetapi juga memengaruhi kemampuan proyek dalam menghasilkan tingkat pengembalian investasi yang lebih baik..

Tabel 4. Perbandingan Indikator Kelayakan Finansial Sebelum dan Sesudah Penerapan Value Engineering

Indikator Kelayakan	Desain Awal Eksisting	Pasca-Penerapan VE	Selisih Perubahan
Biaya Investasi Awal	Rp1,30 Triliun	Rp1,11 Triliun	-Rp185 Miliar
<i>Net Present Value</i> (NPV)	Rp450,2 Miliar	Rp635,7 Miliar	+Rp185,5 Miliar
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	12,4%	14,1%	+1,7%
<i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	1,28	1,45	+0,17
<i>Payback Period</i>	14,2 Tahun	11,8 Tahun	-2,4 Tahun

Berdasarkan Tabel 4, penerapan VE menghasilkan pengurangan biaya investasi awal sebesar Rp185 miliar atau sekitar 14,2% dari nilai desain awal. Penurunan kebutuhan investasi tersebut memberikan dampak langsung terhadap peningkatan nilai NPV dari Rp450,2 miliar menjadi Rp635,7 miliar karena arus kas bersih proyek mengalami perbaikan sepanjang periode analisis. Nilai IRR juga meningkat dari 12,4% menjadi 14,1%, yang menunjukkan adanya peningkatan tingkat pengembalian modal terhadap biaya investasi yang dikeluarkan. Peningkatan indikator finansial tersebut menunjukkan bahwa alternatif teknis hasil VE mampu memperbaiki efisiensi ekonomi proyek tanpa mengurangi fungsi utama infrastruktur. Studi kelayakan jalan tol sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan desain teknis dan strategi pengendalian biaya dapat memengaruhi tingkat kelayakan finansial proyek melalui peningkatan rasio manfaat terhadap biaya investasi (Nuzulia & Negara, 2025). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa integrasi antara analisis ekonomi dan rekayasa nilai menjadi pendekatan yang efektif dalam meningkatkan daya tarik investasi proyek jalan tol.

Perubahan nilai BCR dari 1,28 menjadi 1,45 menunjukkan bahwa manfaat ekonomi yang diperoleh proyek mengalami peningkatan dibandingkan biaya yang harus dikeluarkan selama umur analisis. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap satu satuan biaya investasi menghasilkan manfaat

ekonomi yang lebih besar setelah dilakukan optimasi melalui pendekatan VE. Peningkatan BCR menjadi indikator bahwa alternatif teknis yang dikembangkan tidak hanya menghasilkan penghematan biaya konstruksi, tetapi juga memberikan peningkatan nilai ekonomi sepanjang siklus hidup proyek. Pendekatan analisis berbasis manfaat dan biaya merupakan bagian penting dalam evaluasi proyek infrastruktur karena keputusan investasi harus mempertimbangkan hubungan antara pengeluaran modal, manfaat pengguna, dan keberlanjutan operasional (Grant et al., 1996). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Setiawan (2022) yang menunjukkan bahwa evaluasi kelayakan ekonomi pada jalan tol layang perlu mempertimbangkan keterkaitan antara biaya konstruksi, pendapatan operasi, serta kemampuan proyek mencapai tingkat pengembalian investasi. Peningkatan indikator finansial pasca VE memperlihatkan bahwa pengembangan alternatif teknis memiliki kontribusi nyata terhadap penguatan aspek ekonomi proyek.

Selain peningkatan indikator kelayakan finansial, penerapan VE juga memberikan pengaruh terhadap tingkat ketahanan investasi ketika proyek menghadapi perubahan kondisi eksternal. Infrastruktur jalan tol memiliki risiko investasi yang dipengaruhi oleh perubahan biaya konstruksi, fluktuasi suku bunga, perubahan volume lalu lintas, dan ketidakpastian pendapatan tarif selama masa operasi. Pengurangan biaya awal melalui VE memberikan ruang finansial yang lebih besar bagi pengelola proyek untuk menghadapi variasi kondisi ekonomi selama periode konsesi. Laporan perkembangan investasi jalan tol nasional menunjukkan bahwa perubahan kondisi pembiayaan dan dinamika ekonomi menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan proyek jalan tol jangka panjang (BPJT, 2025). Analisis sensitivitas yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa desain hasil VE memiliki tingkat ketahanan lebih baik dibandingkan desain awal karena beban investasi awal yang lebih rendah. Kondisi tersebut memperkuat bahwa keputusan optimasi tidak hanya memberikan manfaat pada tahap konstruksi, tetapi juga meningkatkan fleksibilitas proyek dalam menghadapi risiko operasional.

Evaluasi ketahanan investasi juga memperlihatkan bahwa keberhasilan penerapan VE tidak hanya ditentukan oleh besarnya penghematan biaya, tetapi oleh kemampuan alternatif teknis mempertahankan kinerja proyek selama umur layanan. Alternatif yang menghasilkan biaya konstruksi lebih rendah harus tetap mampu memenuhi standar teknis agar tidak menimbulkan peningkatan biaya pemeliharaan pada periode berikutnya. Pendekatan *Life Cycle Cost* menjadi penting karena beberapa alternatif dengan biaya awal rendah dapat menghasilkan beban ekonomi lebih besar apabila memiliki tingkat degradasi kinerja yang tinggi selama masa operasi (Pujawan, 2012). Dalam penelitian ini, alternatif VE dipilih berdasarkan kombinasi antara efisiensi biaya awal, pemenuhan fungsi teknis, dan potensi pengurangan biaya jangka panjang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode VE mampu mengintegrasikan perspektif ekonomi rekayasa dan perencanaan teknis dalam satu kerangka evaluasi keputusan. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa proyek infrastruktur modern membutuhkan pendekatan multidimensi yang tidak hanya mengevaluasi kelayakan berdasarkan aspek finansial konvensional, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi sumber daya dan keberlanjutan sistem konstruksi.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa penerapan *Value Engineering* pada pembangunan Jalan Tol Segmen CBD memberikan peningkatan terhadap performa ekonomi proyek melalui pengurangan biaya investasi, peningkatan indikator kelayakan, dan penguatan ketahanan terhadap risiko finansial. Integrasi antara analisis Pareto, pengembangan alternatif teknis, dan evaluasi ekonomi menghasilkan model pengambilan keputusan yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan perencanaan yang hanya berfokus pada estimasi biaya awal. Pendekatan tersebut mendukung prinsip ekonomi teknik bahwa keputusan investasi harus mempertimbangkan nilai manfaat selama seluruh siklus hidup proyek, bukan hanya efisiensi pada tahap pembangunan awal (Park, 2019). Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa kombinasi metode kuantitatif dan evaluasi fungsi dalam VE mampu menghasilkan rekomendasi yang lebih objektif untuk proyek infrastruktur dengan tingkat kompleksitas tinggi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi evaluasi teknis dan finansial sebagai dasar optimasi pembangunan jalan tol segmen CBD. Model evaluasi tersebut dapat menjadi referensi dalam proses pengambilan keputusan investasi infrastruktur yang membutuhkan keseimbangan antara efisiensi biaya, kelayakan ekonomi, dan keberlanjutan operasional.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan integrasi analisis kelayakan ekonomi dan metode *Value Engineering* mampu memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi dan mengoptimalkan proyek pembangunan Jalan Tol Segmen *Central Business District* (CBD). Berdasarkan analisis Pareto terhadap struktur biaya awal proyek, pekerjaan *pier head*, girder pracetak, dan perkerasan lentur menjadi komponen dominan yang memberikan pengaruh terbesar terhadap total investasi konstruksi. Identifikasi komponen biaya prioritas tersebut menjadi dasar dalam menentukan area intervensi rekayasa yang memiliki potensi peningkatan nilai proyek paling signifikan. Pengembangan alternatif teknis melalui pendekatan *Value Engineering* menghasilkan rekomendasi perubahan metode konstruksi dan optimasi material yang tetap mempertahankan fungsi utama infrastruktur. Alternatif berupa penggunaan *precast pier head*, optimasi sistem girder, serta peningkatan kinerja struktur perkerasan menunjukkan bahwa efisiensi biaya dapat dicapai melalui inovasi teknis tanpa mengurangi aspek keamanan dan kualitas konstruksi.

Hasil evaluasi kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa penerapan *Value Engineering* memberikan dampak positif terhadap performa investasi proyek melalui penurunan biaya awal sebesar Rp185 miliar atau sekitar 14,2% dibandingkan kondisi desain awal. Perubahan tersebut meningkatkan nilai *Net Present Value* (NPV) dari Rp450,2 miliar menjadi Rp635,7 miliar, meningkatkan *Internal Rate of Return* (IRR) dari 12,4% menjadi 14,1%, serta memperbaiki nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) dari 1,28 menjadi 1,45. Peningkatan indikator tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi teknis melalui rekayasa nilai tidak hanya menghasilkan penghematan konstruksi, tetapi juga memperkuat ketahanan finansial proyek selama periode konsesi. Pendekatan yang menggabungkan evaluasi fungsi, analisis biaya, dan kelayakan investasi memberikan kerangka pengambilan keputusan yang lebih efektif dibandingkan evaluasi yang hanya berfokus pada biaya awal pembangunan. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis melalui pengembangan model evaluasi terpadu yang menghubungkan aspek teknik sipil dan ekonomi rekayasa dalam proses perencanaan infrastruktur jalan tol.

Implementasi metode *Value Engineering* pada proyek jalan tol perkotaan dapat menjadi strategi inovatif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus menjaga keberlanjutan investasi infrastruktur jangka panjang. Model evaluasi yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi bagi pemilik proyek, konsultan perencana, maupun badan usaha jalan tol dalam menentukan alternatif desain yang memiliki nilai ekonomi dan teknis optimal. Penelitian selanjutnya dapat memperluas kajian melalui analisis risiko yang lebih mendalam, integrasi aspek lingkungan, serta penggunaan simulasi berbasis ketidakpastian untuk memperoleh gambaran performa proyek pada berbagai skenario ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abma, V., Citra Dwi Puspita Sari, Tri Nugroho Sulistyantoro, & Rizki Budiman. (2026). Value Engineering Using Indonesia's 2022 National Guideline Through Decision-Making Framework for Cost Optimization in Highway Infrastructure Projects: A Case Study. *Teknisia*, 31(1), 16–26. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol31.iss1.art2>
- Ainun, A., Said, L. B., Massara, A., & Massara, W. (2022). Analisis Kelayakan Jalan Tol Reformasi Makassar Ditinjau dari Aspek Teknis dan Sosial. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(1), 58-65. <https://doi.org/10.33096/nbzznr22>
- Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT). (2025). *Laporan Statis Perkembangan Suku Bunga dan Investasi Infrastruktur Jalan Tol Indonesia*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Berawi, M. A., Zagloel, T. Y. M., Berawi, A. R. B., & Abdurachman, Y. (2015). Feasibility Analysis of Trans-Sumatera Toll Road Using Value Engineering Method. *International Journal of Technology*, 6(3), 388-399. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v6i3.1475>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2018). *Engineering Economy* (8th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Dell'Isola, A. (1997). *Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance and Operations*. Kingston: R.S. Means Company.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Manual Desain Perkerasan Jalan* (Revisi 2020). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Faslih, A., Mbaru, M. E. S. J., Jalil, A. A., Puding, Z. D. A., Dewi, S., Isra, M., & Matana, B. H. *Analisis Kelayakan Infrastruktur*. Umepublishing.

- Grant, E. L., Ireson, W. G., & Leavenworth, R. S. (1996). *Principles of Engineering Economy*. New York: John Wiley & Sons.
- Iandryan, A. (2023). *Analisa Value Engineering Pada Pembangunan Jembatan Sungai Gondang Proyek Jalan Tol Solo–Ngawi STA 49+ 553* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang). <https://repository.unissula.ac.id/28588/>
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Nuzulia, F., & Negara, N. P. (2025). Analisis Kelayakan Investasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo–Yogyakarta–Nyia Kulon Progo Seksi I Paket 1.1 Ruas Solo-Klaten. *Journal of Disaster Mitigation and Civil Engineering Research*, 3(1), 1-13. <https://doi.org/10.29080/jomcer.v3i1.2363>
- Octaviani, A. P., Widiyanti, & Satrio, E. M. (2026). Analisis Kelayakan Ekonomi Proyek Jalan Tol Demak-Pati. *INOMATEC: Jurnal Inovasi dan Kajian Multidisipliner Kontemporer*, 1(04), 543-550. <https://portalpublikasi.com/index.php/inomatec/article/view/1067>
- Park, C. S. (2019). *Contemporary Engineering Economics* (6th ed.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Pratomo, A. (2022). Implikasi Batas Kelayakan Finansial Terhadap Tarif Tol dan Dukungan Pemerintah Pada Proyek Prakarsa Badan Usaha Jalan Tol Tuban–Babat–Lamongan–Gresik. *Jurnal HPJI*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.26593/jhpji.v8i1.5557.1-10>
- Rosdakarya. Pujawan, I N. (2012). *Ekonomi Teknik* (2nd ed.). Surabaya: Guna Widya.
- SAVE International. (2015). *Value Methodology Standard and Body of Knowledge*. Mount Laurel: SAVE International.
- Setiawan, M. D. (2022). *Analisis Aspek Kelayakan Ekonomi dan Finansial Jalan Tol Layang Ap Pettarani= Analysis Of Economic And Financial Feasibility Aspects of Elevated Toll Roads Ap Pettarani* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/13870/>
- Setyawan, A. D., & Haq, W. S. (2025). *Value Engineering Dalam Pelaksanaan Pekerjaan Timbunan Tanah Dengan Slab On Pile Pada Proyek Konstruksi Jalan Tol Jogja-Bawen Seksi 6 Sta Mainroad 2+ 850 S/D 3+ 000* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang). <https://repository.unissula.ac.id/40267/>
- Widiasanti, I., & Lenggogeni. (2013). *Manajemen Konstruksi*. Jakarta: Remaja