

REIMAJINASI LOGISTIK SUMATERA: KERANGKA REKAYASA NILAI HIJAU UNTUK INTEGRASI TRANSPORTASI BERKELANJUTAN

Prisca Evelyn Yulianita¹⁾, Qotrunnada Salsabila¹⁾, Mochammad Gentar Wisnu Wijaya¹⁾,
Laras Putri Effendi¹⁾

1) Magister Manajemen Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Email: prisca.evelyn@ui.ac.id

Abstrak

Biaya logistik Indonesia masih mencapai 23-24% dari Produk Domestik Bruto (PDB), tertinggi di kawasan Asia. Pulau Sumatera, sebagai koridor utama produksi dan ekspor komoditas nasional seperti perikanan, kelapa sawit, dan kopi, memiliki potensi logistik strategis yang besar, namun masih menghadapi tantangan fragmentasi sistem transportasi antarmoda antara jalan, rel, laut, dan udara. Penelitian ini mengembangkan kerangka Green Value Engineering (VE) berbasis standar ASTM E1699-14 dan ASTM E2013-12 untuk merumuskan strategi integrasi transportasi berkelanjutan berbasis fungsi-biaya-nilai. Metodologi mengikuti lima fase utama VE Job Plan yaitu Information, Function Analysis, Creative, Evaluation, dan Development/Presentation yang diperkuat dengan penerapan mekanisme analisis Value Engineering Loop (VE Loop), yaitu proses umpan balik iteratif antara Creative dan Evaluation Phase untuk menghasilkan evaluasi kuantitatif berbasis fungsi-biaya-nilai secara sistematis. Pada Creative Phase, lebih dari 120 ide dihasilkan melalui brainstorming lintas provinsi dan dikelompokkan menggunakan FAST VE Diagram sesuai standar ASTM E2013-12, menjadi enam kluster solusi fungsional utama. Melalui integrasi dalam kerangka VE Loop, kluster tersebut dikembangkan menjadi model penilaian kuantitatif yang menggabungkan dimensi fungsi-biaya-nilai serta aspek hijau dan digital logistik. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi Rail-Port Integration, Dry Port Development, dan Digital Logistics Platform memberikan nilai tertinggi dengan penurunan Levelized Cost of Logistics (LCoL) hingga 40%, dari Rp 780 menjadi Rp 467 per ton-kilometer. Pendekatan VE berbasis ASTM menunjukkan efektivitas tinggi sebagai kerangka analisis strategis untuk merancang kebijakan logistik nasional yang efisien, hijau, dan terintegrasi.

Kata kunci: Value Engineering (VE), Green Logistics, Integrasi Multimoda, Sumatera.

Pendahuluan

Biaya logistik Indonesia masih mencapai sekitar 23-24 persen terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), jauh di atas rata-rata negara maju yang hanya berkisar 8-10 persen. Pulau Sumatera, sebagai koridor utama produksi dan ekspor komoditas nasional seperti kelapa sawit, kopi, dan perikanan, memiliki potensi logistik strategis yang besar, namun masih menghadapi ketidakseimbangan moda transportasi dan lemahnya integrasi antara sistem jalan raya, rel, laut, dan udara. Sekitar 80 persen distribusi barang masih mengandalkan moda jalan raya, yang berdampak pada biaya tinggi, waktu tempuh panjang, dan emisi karbon besar.

Pemerintah telah melaksanakan berbagai Proyek Strategis Nasional seperti Jalan Tol Trans-Sumatera, Pelabuhan Kuala Tanjung, dan Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei untuk meningkatkan konektivitas fisik. Namun, integrasi sistemik antarmoda belum sepenuhnya tercapai. Diperlukan pendekatan yang tidak hanya menilai infrastruktur secara fisik, tetapi juga menganalisis keterkaitan fungsi, biaya, dan nilai sistem transportasi secara menyeluruh.

Pendekatan *Value Engineering* (VE) berbasis standar ASTM E1699-14 dan ASTM E2013-12 digunakan sebagai kerangka analitis untuk merumuskan strategi integrasi transportasi multimoda berkelanjutan di Sumatera. Melalui penerapan *Green Value Engineering* (VE), penelitian ini berupaya menghasilkan sistem logistik yang efisien, hijau, dan selaras dengan agenda *Net Zero Emission 2060*. Pendekatan ini menempatkan *Value Engineering* tidak hanya sebagai alat efisiensi proyek, tetapi juga sebagai instrumen analisis kebijakan sistemik.

Kesenjangan Penelitian

Sebagian besar studi logistik Indonesia [4],[5] masih menekankan pada pembangunan infrastruktur fisik dan analisis ekonomi parsial tanpa mengintegrasikan *Value Engineering* sebagai alat evaluasi fungsional sistem logistik. Sejauh penelusuran penulis, belum ditemukan penelitian di

Indonesia yang mengadaptasi standar ASTM untuk menganalisis hubungan fungsi-biaya-nilai dalam konteks logistik regional.

Selain itu, tantangan dekarbonisasi dan digitalisasi menuntut adanya metode baru yang menilai efisiensi dan *sustainability value*. Penelitian ini menjawab gap tersebut melalui integrasi *Green Logistics*, *Digital Logistics*, dan *Value Engineering* ke dalam satu kerangka analitis berbasis ASTM.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menyusun strategi integrasi transportasi multimoda berkelanjutan di Pulau Sumatera melalui pendekatan *Green Value Engineering (VE)* berbasis standar ASTM E1699-14 dan ASTM E2013-12.

Tujuan Khusus

1. Menganalisis kondisi sistem transportasi Sumatera dan hambatan integrasinya.
2. Mengidentifikasi fungsi dasar dan turunan sistem logistik menggunakan *Function Analysis System Technique (FAST)*.
3. Melakukan *benchmarking* terhadap praktik terbaik internasional (*Port Klang*, *Rotterdam*, *Hamburg*, dan *Tiongkok*).
4. Merumuskan strategi integrasi multimoda berbasis VE dengan kombinasi analisis *Life Cycle Cost (LCC)*, *Levelized Cost of Logistics (LCoL)*, dan *Multi-Criteria Decision Making (MCDM)* melalui mekanisme *Value Engineering Loop (VE Loop)*.

Metodologi Penelitian

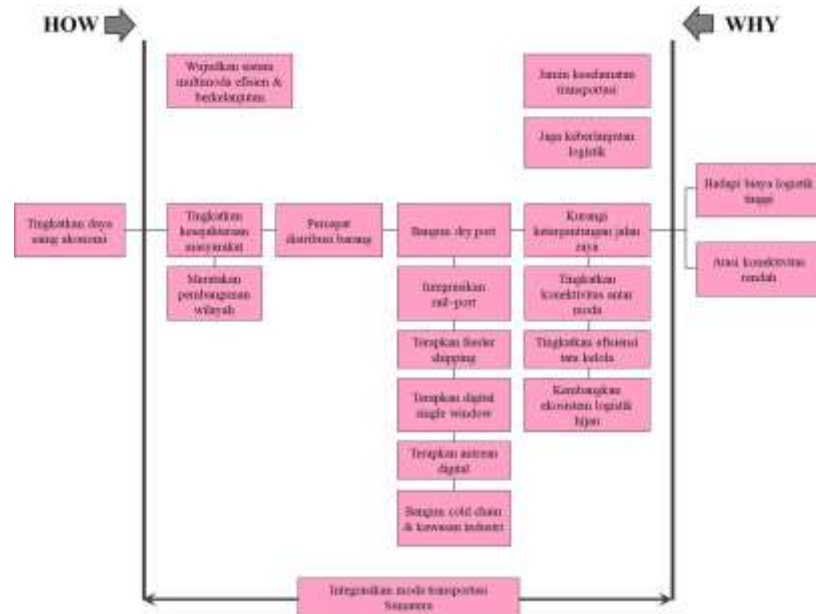
Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan kerangka berbasis standar ASTM E1699-14 dan ASTM E2013-12. Seluruh tahapan mengikuti lima fase utama *Value Engineering Job Plan* yaitu *Information*, *Function Analysis*, *Creative*, *Evaluation*, dan *Development/Presentation* yang dimodifikasi untuk konteks sistem transportasi Sumatera.

Objek penelitian mencakup sistem transportasi multimoda di Pulau Sumatera seperti jalan, rel, pelabuhan, dan bandara dengan fokus pada integrasi jaringan utama antar moda dan simpul logistik seperti Belawan, Kuala Tanjung, dan Sei Mangkei. Analisis mempertimbangkan tiga dimensi utama: fungsi, biaya (*CAPEX*, *OPEX*, *LCC*), dan nilai keberlanjutan yang mencakup aspek lingkungan serta digitalisasi sistem logistik.

Prosedur penelitian mengikuti lima fase utama VE dengan penyesuaian sebagai berikut:

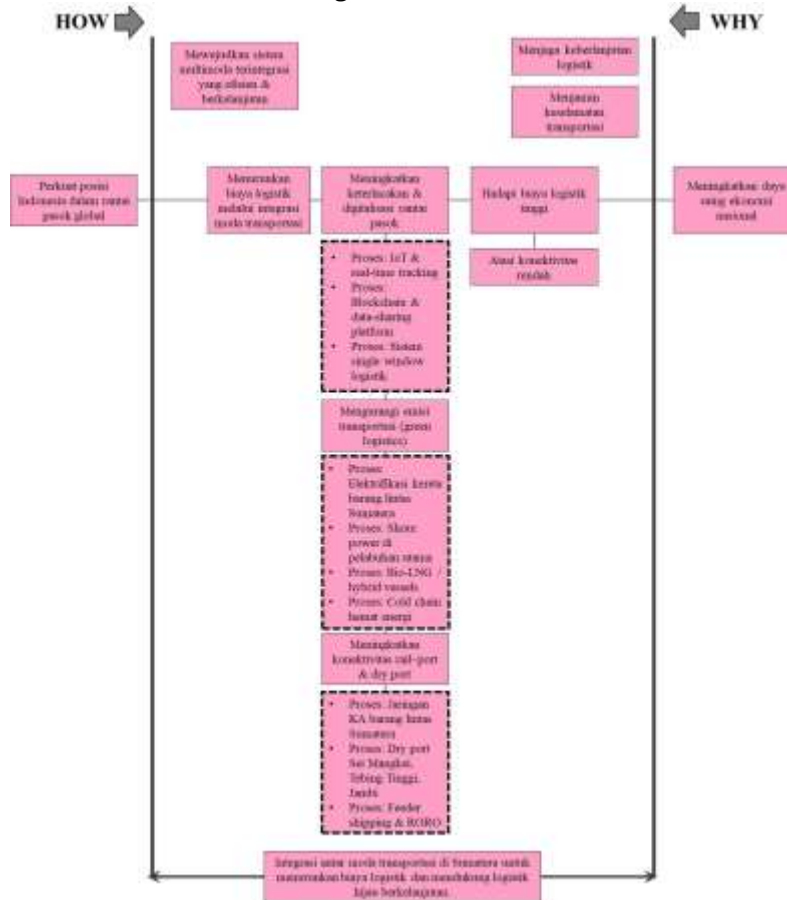
- *Information Phase*
Pengumpulan data infrastruktur dan volume logistik.
- *Function Analysis Phase*
Identifikasi fungsi dasar dan turunan menggunakan *Function Analysis System Technique (FAST)* untuk memetakan hubungan sebab-akibat antar fungsi logistik.
- *Creative Phase*
Pengembangan alternatif solusi melalui *brainstorming* menghasilkan enam kategori utama: jalan & tol, *rail-port integration*, pelabuhan & *feeder*, bandara & kargo udara, *digital logistics*, dan *dry port/logistics hub*.
- *Evaluation Phase*
Pengujian alternatif dilakukan melalui *VE Loop* yang mengintegrasikan dimensi fungsi-biaya-nilai hasil *FAST VE Diagram*, menggunakan pendekatan *Life Cycle Cost (LCC)*, *Levelized Cost of Logistics (LCoL)*, dan *Multi-Criteria Decision Making (MCDM)*.
- *Development/Presentation Phase*
Penyusunan rekomendasi strategis berbasis nilai untuk kebijakan integrasi multimoda.

Kerangka ini memungkinkan penerapan *system-level VE* di luar konteks proyek individual, sehingga hasil evaluasi berfungsi sebagai dasar kebijakan integrasi logistik regional dan instrumen pengambilan keputusan berbasis data.



Gambar 1. FAST diagram dasar sistem logistik Sumatera

Diagram menunjukkan hubungan fungsi utama *menurunkan biaya logistik* dengan fungsi turunan: meningkatkan konektivitas, mempercepat distribusi, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi emisi karbon.



Gambar 2. FAST VE diagram sistem logistik Sumatera

Diagram menunjukkan pengayaan dimensi biaya–nilai serta tambahan aspek green logistics dan digital logistics, yang dihasilkan dari analisis fungsi menggunakan *FAST VE Diagram* sesuai ASTM E2013–12.

Untuk menghubungkan *Creative Phase* dan *Evaluation Phase*, penelitian ini mengembangkan mekanisme umpan balik internal berupa *Value Engineering Loop (VE Loop)*, inovasi metodologis yang memungkinkan evaluasi iteratif fungsi–biaya–nilai hingga tercapai *best value*, sebagaimana prinsip iterasi pada ASTM E1699–14 Section 7.2. *VE Loop* dikembangkan sebagai penguatan terhadap prinsip iterasi pada *Value Job Plan*, yang sebelumnya belum dioperasionalkan secara eksplisit dalam studi transportasi sistemik.

Gambar 3. Skema konseptual *value engineering loop* (VE Loop)

Diagram menggambarkan hubungan iteratif antara *Creative Phase* dan *Evaluation Phase* melalui *feedback* fungsi–biaya–nilai; siklus berhenti saat tercapai *best value* namun dapat diaktifkan kembali ketika kondisi berubah.

Tabel 1. Kerangka Evaluasi VE Loop

Fungsi VE	Solusi/ Inovasi	Indikator Utama
Menurunkan biaya logistik	Integrasi multimoda (<i>rail-port, tol, bandara</i>)	Efisiensi biaya (<i>LCC, LCoL</i>)
<i>Digitalisasi</i>	IoT, <i>blockchain, smart port</i>	Transparansi & kecepatan layanan
<i>Green Logistics</i>	Elektrifikasi KA, <i>shore power, cold chain</i>	Reduksi emisi & efisiensi energi

Hasil dan Pembahasan

Hasil *Function Analysis* menunjukkan fungsi utama sistem logistik Sumatera adalah menurunkan biaya distribusi dengan fungsi turunan berupa peningkatan konektivitas, efisiensi energi, digitalisasi, dan pengurangan emisi. *FAST VE Diagram* menjadi dasar pengembangan *VE Loop* yang memetakan keterkaitan fungsi-biaya-nilai secara sistematis.

Hasil perhitungan *Life Cycle Cost (LCC)* menggunakan *discount rate* 8% dengan umur proyek 20 tahun menunjukkan bahwa *Rail-Port Integration* memiliki total biaya siklus hidup terendah (Rp 348 triliun). Analisis *Levelized Cost of Logistics (LCoL)* menunjukkan kombinasi *Rail-Port Integration*, *Dry Port*, dan *Digital Logistics* menghasilkan biaya rata-rata Rp 467 per ton-kilometer atau 40 persen lebih efisien dibanding sistem jalan tunggal (Rp 780 per ton-kilometer).

Selain itu, hasil *MCDM* memperlihatkan bahwa dimensi keberlanjutan (*green*) dan digitalisasi berkontribusi sebesar 32% terhadap peningkatan total nilai fungsi. Hal ini menegaskan bahwa investasi non-fisik seperti digitalisasi pelabuhan dan sistem informasi rantai pasok mampu memberikan efek leverage tinggi terhadap penurunan *LCoL*.

Temuan ini memperkuat relevansi pendekatan *Value Engineering* tidak hanya sebagai alat efisiensi biaya, tetapi juga sebagai sistem pengambilan keputusan berbasis nilai untuk kebijakan logistik berkelanjutan. Penerapan *VE Loop* memberikan kemampuan iteratif dalam memperbarui evaluasi ketika data berubah, menjadikannya relevan untuk *dynamic policy modeling* di sektor transportasi.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Analisis LCC dan LCoL

Alternatif	LCC (Rp Triliun)	LCoL (Rp/ton-km)
Jalan Raya & JTTS	696	780
<i>Rail-Port Integration</i>	348	174
Pelabuhan & Feeder	130	65
Bandara & Kargo Udara	29	58
<i>Digital Logistics</i>	15	6
<i>Dry Port / Logistics Hub</i>	69	69

Analisis *MCDM* menunjukkan kombinasi *Rail-Port Integration*, *Dry Port*, dan *Digital Logistics* memiliki skor tertinggi (4,57), diikuti oleh *Dry Port* (4,42) dan *Digital Logistics* (4,28). Hasil ini menegaskan bahwa *VE Loop* efektif sebagai mekanisme pengujian iteratif antar fungsi, di mana nilai fungsi meningkat seiring penurunan biaya logistik.

Tabel 3. Hasil Penilaian MCDM

Alternatif	Skor Total	Peringkat
<i>Rail-Port Integration</i>	4,57	1
<i>Dry Port / Logistics Hub</i>	4,42	2
<i>Digital Logistics</i>	4,28	3

Pelabuhan & Feeder	4,02	4
Green Logistics	3,94	5
Jalan Raya & JTTS	3,65	6

Pembahasan Tambahan dan Kontribusi Penelitian

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penerapan *Green Value Engineering (VE)* dalam konteks logistik regional memberikan kontribusi metodologis dan kebijakan yang signifikan. Dari sisi metodologi, penelitian ini memperluas fungsi *VE Job Plan* dengan memasukkan mekanisme umpan balik *Value Engineering Loop (VE Loop)* yang memungkinkan evaluasi dinamis keterkaitan fungsi, biaya, dan nilai. Mekanisme ini berperan penting dalam menghadapi dinamika variabel logistik seperti harga energi, biaya transportasi, dan permintaan.

Secara konseptual, penelitian ini berkontribusi sebagai salah satu studi awal yang mengaplikasikan kerangka *Value Engineering* berbasis *ASTM* dalam konteks logistik multimoda di Indonesia, memperkuat posisi *VE* sebagai pendekatan sistemik dalam pengambilan keputusan strategis. Dari sisi kebijakan, penelitian ini menawarkan kerangka analitis bagi pemerintah dalam menilai efektivitas investasi infrastruktur berbasis *value-based decision making*. Model ini dapat mendukung implementasi *National Logistics Ecosystem (NLE)* serta penyusunan peta jalan dekarbonisasi transportasi menuju *Net Zero Emission 2060*.

Kesimpulan dan Implikasi Kebijakan

Pendekatan *Value Engineering* berbasis *ASTM* yang diperluas dengan pengembangan *VE Loop* terbukti efektif dalam memetakan hubungan fungsi-biaya-nilai secara iteratif dan kuantitatif. Kombinasi *Rail-Port Integration*, *Dry Port Development*, dan *Digital Logistics* mampu menurunkan rasio biaya logistik Sumatera dari 23-24 persen menjadi sekitar 14-15 persen PDB, dengan efisiensi biaya sekitar 40 persen.

Secara konseptual, pendekatan ini juga membuka peluang penerapan *Green Value Engineering* sebagai alat perencanaan strategis lintas sektor, menghubungkan kebijakan logistik, energi, dan digitalisasi dalam satu sistem evaluasi nilai nasional.

Hasil penelitian ini memiliki potensi untuk diimplementasikan lebih luas di luar wilayah Sumatera, terutama pada koridor logistik prioritas nasional seperti Kalimantan dan Sulawesi. Penerapan *Green Value Engineering* berbasis *ASTM* dapat menjadi pendekatan sistemik untuk mengevaluasi kesesuaian antara investasi infrastruktur dan tujuan dekarbonisasi transportasi nasional. Selain itu, konsep *Value Engineering Loop (VE Loop)* dapat dikembangkan menjadi alat bantu digital berbasis *dashboard analytics* yang memvisualisasikan hubungan antara fungsi, biaya, dan nilai dalam waktu nyata, mendukung perencanaan strategis lintas sektor antara transportasi, energi, dan industri.

Implikasi kebijakan

- *Value Engineering* dapat digunakan sebagai alat analisis investasi infrastruktur berbasis nilai.
- Integrasi *rail-port-dry port* dapat dijadikan prioritas kebijakan nasional.
- *Digital Logistics* dan *Green Logistics* mendukung target *Net Zero Emission 2060*.
- *VE Loop* dapat diadaptasi sebagai *framework* perencanaan berbasis data di sektor transportasi.

Secara keseluruhan, implikasi-implikasi tersebut menegaskan bahwa pendekatan *Green Value Engineering* memiliki potensi sebagai paradigma baru dalam perencanaan sistem logistik nasional yang efisien, hijau, dan terintegrasi. Arah riset lanjutan diusulkan untuk mengembangkan *Digital VE Dashboard* berbasis *big data* guna memantau efisiensi nilai proyek logistik secara *real time* dan mendukung evaluasi kebijakan berbasis bukti.

Kesimpulan

Dengan meningkatnya kompleksitas rantai pasok nasional, pendekatan *Green Value Engineering* menjadi fondasi baru untuk mengintegrasikan efisiensi ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan. Kerangka ini juga mendukung inisiatif *National Logistics Ecosystem (NLE)* dan agenda Indonesia Emas 2045. Ke depan, kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah menjadi kunci mengoperasionalkan nilai fungsi-biaya secara berkelanjutan di seluruh wilayah Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Prof. Ir. Mohammed Ali Berawi, M.Eng.Sc, Ph.D. atas inspirasi dan wawasan yang memperkaya pemahaman penulis terhadap pendekatan *Value Engineering (VE)*.

Daftar Pustaka

- [1] ASTM International, *ASTM E1699–14: Standard Practice for Performing Value Engineering (Value Analysis)*, West Conshohocken, PA: ASTM, 2014.
- [2] ASTM International, *ASTM E2013–12: Standard Practice for Constructing FAST Diagrams and Performing Function Analysis*, West Conshohocken, PA: ASTM, 2012.
- [3] Bappenas, *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024*, Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas, 2020.
- [4] OECD, *OECD Review of Transport and Logistics in Indonesia*, Paris: OECD Publishing, 2018.
- [5] J.-P. Rodrigue and T. Notteboom, *The Geography of Transport Systems*, 5th ed., New York: Routledge, 2020.
- [6] M. A. Berawi and R. M. Woodhead, “Value Engineering for the Construction Industry: Methodology and Applications,” *Construction Management and Economics*, vol. 26, no. 11, pp. 1197–1209, 2008.
- [7] Y. He, R. Huang, and X. Yan, “Intermodal Transport and Efficiency in Container Logistics: A Multi-Criteria Evaluation Framework,” *Transport Policy*, vol. 100, pp. 1–10, 2021.
- [8] A. McKinnon, *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low-Carbon World*, London: Kogan Page, 2018.
- [9] World Bank, *Indonesia Logistics Performance Index 2021*, Washington, DC: World Bank, 2021.
- [10] Kementerian Perhubungan RI, *White Paper Penurunan Biaya Logistik Nasional*, Jakarta: Ditjen Hubla, 2017.