



ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL DAN PEMODELAN SISTEM DINAMIS TERHADAP SENSITIVITAS INVESTASI PABRIK TINPLATE BERKAPASITAS 100.000 TON/TAHUN DI CILEGON

Erpan Maulana¹, Dedy Setyo Oetomo², Asep Hermawan³

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta, Indonesia

Email: erpanmaulana675@gmail.com



DOI: <https://doi.org/10.34125/jmp.v11i4.3296>

Sections Info

Article history:

Submitted: 13 June 2026

Final Revised: 21 June 2026

Accepted: 6 August 2026

Published: 25 August 2026

Keywords:

Financial feasibility
investment feasibility
system dynamics
Vensim
tinplate



ABSTRACT

Objective: This study analyzes the financial feasibility and investment sensitivity of a planned 100,000-ton/year tinplate plant in Cilegon. Total initial investment was recorded at USD 281.29 million, with a positive NPV of USD 101.44 million, an IRR of 14.82% (above the MARR of 10.14%), a Net B/C of 1.01, a Payback Period of about 6 years 2 months, and a Discounted Payback Period of 6.15 years, indicating the project is FEASIBLE with a narrow margin. **Methods:** Feasibility was assessed using conventional investment appraisal combined with Vensim-based system dynamics sensitivity analysis. Both approaches consistently identified HRC price as the most influential variable, followed by tin ingot price. **Results:** The system dynamics approach additionally captured time-delay effects and dynamic cash flow behavior across the project's life cycle, revealing how raw material price volatility propagates through cash flows over time, an insight not offered by static sensitivity analysis alone. **Novelty:** This study integrates conventional investment appraisal methods (NPV, IRR, Net B/C, PBP) with Vensim-based system dynamics modeling in a rarely studied case within the national tinplate industry, offering a more comprehensive feasibility framework for investment decision-making in capital-intensive, commodity-based manufacturing sectors.

ABSTRAK

Objective: Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan finansial rencana pembangunan pabrik tinplate berkapasitas 100.000 ton/tahun di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, serta sensitivitas kelayakan investasi terhadap perubahan harga Hot Rolled Coil dan tin ingot menggunakan pendekatan sistem dinamis. **Metode:** Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder dari Badan Pusat Statistik, PT Krakatau Steel, dan London Metal Exchange. Kelayakan finansial dihitung menggunakan NPV, IRR, Net B/C, dan Payback Period pada diskonto WACC 10,14% selama umur ekonomis proyek 21 tahun, sedangkan sensitivitas dimodelkan melalui Causal Loop Diagram dan simulasi Stock and Flow menggunakan Vensim. Total investasi awal USD 281,29 juta. **Hasil:** NPV positif USD 101,44 juta, IRR 14,82% di atas MARR 10,14%, Net B/C 1,01, Payback Period sekitar 6 tahun 2 bulan, dan Discounted Payback Period 6,15 tahun, sehingga proyek dinyatakan layak dengan margin tipis. Analisis sensitivitas konvensional maupun sistem dinamis konsisten menunjukkan harga HRC sebagai variabel paling berpengaruh, diikuti harga tin ingot, dengan sistem dinamis menambahkan gambaran efek tunda dan perilaku dinamis arus kas yang tidak tertangkap analisis statis. **Kebaruan:** Penelitian ini mengintegrasikan metode penilaian investasi konvensional dengan pemodelan sistem dinamis berbasis Vensim pada studi kasus industri tinplate nasional yang masih jarang dikaji, sehingga memberikan kerangka analisis kelayakan investasi yang lebih komprehensif.

Kata kunci: kelayakan finansial; kelayakan investasi; sistem dinamis; Vensim; tinplate

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menempatkan hilirisasi komoditas mineral sebagai salah satu agenda strategis utama untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya alam nasional, salah satunya melalui rencana pembangunan pabrik tinplate berkapasitas 100.000 ton per tahun di Kawasan Industri Krakatau Cilegon (KIEC), Banten. Kebijakan ini sejalan dengan agenda substitusi impor dan penguatan industri hilir sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, yang mewajibkan peningkatan nilai tambah komoditas tambang di dalam negeri (Kementerian Perindustrian, 2024). Tinplate merupakan baja lembaran tipis yang dilapisi timah dan menjadi material kemasan strategis pada industri makanan, minuman, aerosol, cat, dan pelumas, sehingga permintaannya senantiasa meningkat seiring pertumbuhan sektor manufaktur berbasis kemasan kaleng (Setiawan & Nugroho, 2022). Urgensi investasi ini semakin nyata bila dicermati dari kesenjangan antara kapasitas produksi domestik dan kebutuhan nasional, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kesenjangan Produksi, Kebutuhan, dan Impor Tinplate Nasional (Tahun 2023)

Indikator	Nilai	Sumber
Volume impor tinplate (kode HS 7210)	1.188.910 ton	BPS (2024)
Nilai impor tinplate	USD 1.037,5 juta	BPS (2024)
Produksi nasional (produsen tunggal eksisting)	1,23–1,59 juta ton/tahun	Kemenperin (2024)
Kebutuhan domestik rata-rata	> 2,4 juta ton/ tahun	Kemenperin (2024)
Kesenjangan pasokan domestik (estimasi defisit)	±0,8–1,2 juta ton/ tahun	Diolah dari BPS & Kemenperin (2024)

Sumber: diolah oleh penulis dari Badan Pusat Statistik dan Kementerian Perindustrian (2024). Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, produksi nasional yang hanya bertumpu pada satu produsen tunggal belum mampu memenuhi kebutuhan domestik, sehingga terjadi defisit pasokan yang harus ditutup melalui impor dalam jumlah besar setiap tahun. Kesenjangan pasokan inilah yang mendasari urgensi penambahan kapasitas produksi domestik melalui investasi pabrik baru, sejalan dengan temuan bahwa ketergantungan impor bahan baku strategis meningkatkan kerentanan industri hilir nasional terhadap gejolak pasar global (Prasetyo & Wijaya, 2023).

Investasi pembangunan pabrik tinplate tergolong padat modal (capital intensive) dengan total kebutuhan modal awal ratusan juta dolar AS, sehingga studi kelayakan finansial menjadi instrumen krusial sebelum keputusan investasi diambil (UNIDO, 2018). Namun demikian, industri tinplate sangat terekspos pada volatilitas harga komoditas bahan baku utamanya, yaitu Hot Rolled Coil (HRC) dan tin ingot. Harga HRC berfluktuasi pada rentang USD 380 per ton (2020) hingga USD 870 per ton (2022), sedangkan harga tin ingot di London Metal Exchange (LME) berfluktuasi jauh lebih ekstrem, yaitu USD 17.000 per ton (2020) hingga USD 44.000 per ton (2022). Volatilitas ini berdampak langsung pada struktur biaya produksi dan kelayakan finansial pabrik, sehingga analisis kelayakan investasi konvensional saja dinilai belum

cukup untuk menggambarkan ketangguhan (robustness) proyek terhadap ketidakpastian harga (Rahman et al., 2023).

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini mengadopsi pendekatan sistem dinamis (system dynamics) sebagai kerangka analisis sensitivitas, karena pendekatan ini mampu menggambarkan hubungan kausal dan umpan balik (feedback loop) antara variabel harga bahan baku, harga jual produk, biaya operasional, dan kelayakan investasi secara simultan dan dinamis sepanjang umur ekonomis proyek – berbeda dengan analisis sensitivitas konvensional yang bersifat satu variabel pada satu waktu (*ceteris paribus*). Liu, Deng, Gao, dan Ni (2024) mengembangkan model evaluasi investasi proyek jalan tol berbasis sistem dinamis menggunakan perangkat lunak Vensim dan menunjukkan bahwa pendekatan ini menghasilkan nilai NPV yang lebih konsisten dibandingkan metode discounted cash flow konvensional. Kasperska, Mateja-Losa, dan Marjasz (2013) menerapkan analisis sensitivitas pada model rantai pasok menggunakan Vensim sebagai rujukan metodologis mengenai cara sistem dinamis menguji kepekaan suatu sistem terhadap perubahan parameter, sementara Ramdan, Hermawan, dan Oetomo (2025) menggunakan Vensim untuk simulasi sistem dinamis pada perencanaan produksi di industri manufaktur Indonesia. Ketiga penelitian tersebut menjadi dasar argumentasi bahwa sistem dinamis merupakan metode yang relevan untuk menganalisis sensitivitas kelayakan investasi pabrik tinplate terhadap fluktuasi harga bahan baku, khususnya pada industri padat modal dengan struktur biaya yang sangat bergantung pada harga komoditas global (Stermann, 2000).

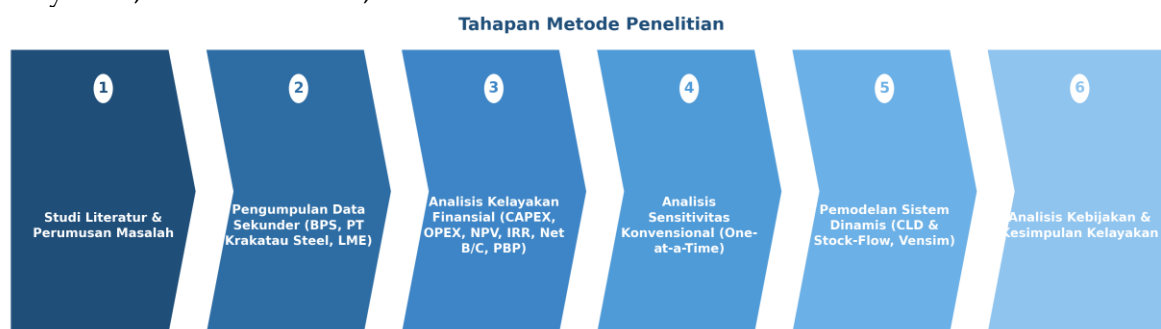
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis kelayakan finansial rencana pembangunan pabrik tinplate berkapasitas 100.000 ton/tahun di Cilegon melalui indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Net Benefit-Cost Ratio, dan Payback Period; serta (2) menganalisis sensitivitas nilai kelayakan investasi terhadap perubahan harga HRC dan tin ingot menggunakan pendekatan pemodelan sistem dinamis berbasis perangkat lunak Vensim.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu metode penelitian yang berlandaskan pada fakta empiris dan data numerik terukur (Waruwu, Pu'at, Utami, Yanti, & Rusydiana, 2025). Pendekatan ini dipilih karena seluruh analisis kelayakan finansial didasarkan pada data numerik berupa biaya investasi, proyeksi arus kas, dan parameter kelayakan seperti NPV, IRR, dan BEP, sementara pemodelan sistem dinamis menggunakan Vensim memerlukan kuantifikasi matematis dari seluruh hubungan antarvariabel dalam model.

Objek penelitian adalah rencana pembangunan pabrik tinplate berkapasitas 100.000 ton/tahun di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Provinsi Banten. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari studi literatur, meliputi: (1) data statistik ekspor-impor tinplate (HS 7210) dari Badan Pusat Statistik; (2) data harga Hot Rolled Coil (HRC) dari PT Krakatau Steel; (3) data harga tin ingot dari London Metal Exchange (LME); serta (4) dokumen teknis dari World Steel Association, International Tin Association, dan jurnal ilmiah terakreditasi terkait studi

kelayakan, sistem dinamis, dan analisis sensitivitas investasi.



Gambar A. Tahapan Metode Penelitian

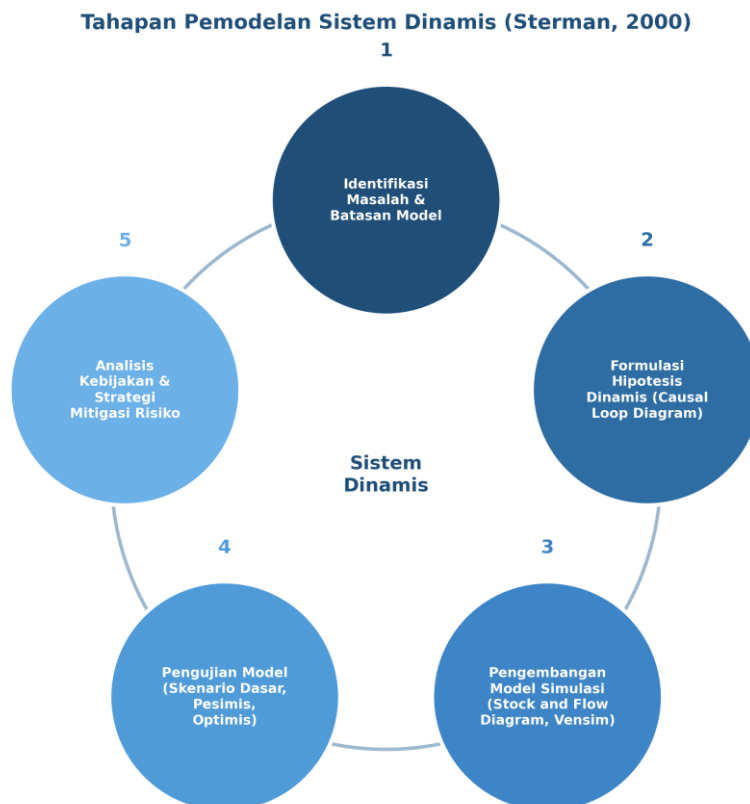
Sumber: diolah oleh penulis (2026)

Variabel dan Indikator Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial dilakukan dengan menghitung struktur investasi (Capital Expenditure/CAPEX dan Operating Expenditure/OPEX), proyeksi arus kas (cash flow), serta lima indikator kelayakan investasi. Weighted Average Cost of Capital (WACC) dihitung dengan formula $WACC = (W_e \times K_e) + (W_d \times K_d \times (1 - t))$, yang selanjutnya digunakan sebagai Minimum Attractive Rate of Return (MARR). Net Present Value dihitung dengan $NPV = \sum [CF_t / (1+r)^t] - I_0$, dengan kriteria proyek layak apabila $NPV > 0$. Internal Rate of Return (IRR) adalah tingkat diskonto yang menyebabkan NPV sama dengan nol, dengan kriteria proyek layak apabila $IRR > MARR$ (Sinaga et al., 2023; Astasari, Suryanto, & Putri, 2024). Net Benefit-Cost Ratio dihitung sebagai rasio nilai sekarang manfaat bersih terhadap nilai sekarang biaya, dengan kriteria layak apabila $Net\ B/C > 1$, sedangkan Payback Period mengukur jangka waktu pengembalian investasi awal melalui arus kas bersih kumulatif (Lan, Li, & Zhang, 2022).

Permodelan Sistem Dinamis

Analisis sensitivitas menggunakan pendekatan sistem dinamis mengikuti tahapan pemodelan menurut Sterman (2000), yaitu: (1) identifikasi masalah dan penetapan batasan model, mencakup variabel harga HRC, harga tin ingot, harga jual produk, biaya operasional, arus kas, dan indikator kelayakan investasi; (2) formulasi hipotesis dinamis melalui penyusunan Causal Loop Diagram (CLD) yang menggambarkan hubungan kausal dan loop umpan balik antarvariabel; (3) pengembangan model simulasi kuantitatif dalam bentuk Stock and Flow Diagram menggunakan perangkat lunak Vensim (Ventana Systems, Inc., 2024); (4) pengujian model melalui simulasi skenario dasar (base case), skenario pesimis (kenaikan harga bahan baku tanpa penyesuaian harga jual), dan skenario optimis (harga bahan baku stabil dengan harga jual mengikuti inflasi); serta (5) analisis kebijakan berdasarkan hasil simulasi untuk merumuskan strategi mitigasi risiko.



Gambar B. Tahapan Pemodelan Sistem Dinamis (Sterman, 2000)

Sumber: diadaptasi dari Sterman (2000), diolah oleh penulis (2026)

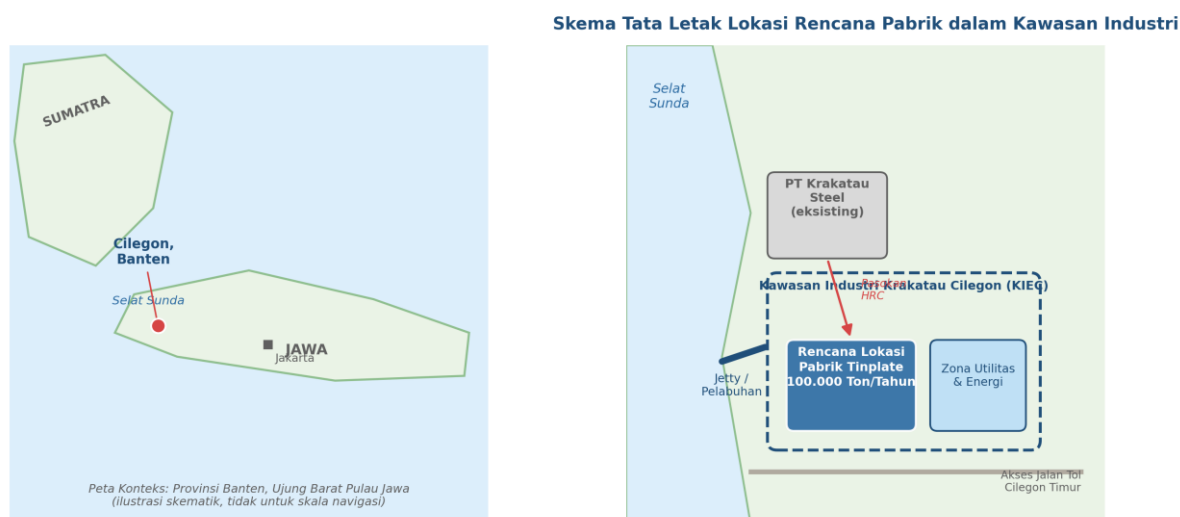
Analisis sensitivitas konvensional (one-at-a-time) turut dilakukan sebagai pembanding, dengan menguji dampak kenaikan harga HRC dan tin ingot sebesar 10% hingga 25% dari harga dasar terhadap perubahan NPV dan IRR proyek, sebelum dilanjutkan dengan simulasi sistem dinamis yang menguji kombinasi perubahan harga secara simultan dan dinamis sepanjang umur proyek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Objek penelitian berlokasi di Kawasan Industri Krakatau Cilegon (KIEC), Provinsi Banten, di ujung barat Pulau Jawa yang berhadapan langsung dengan Selat Sunda. Lokasi ini dipilih karena berdekatan dengan fasilitas eksisting PT Krakatau Steel sebagai pemasok utama Hot Rolled Coil (HRC), memiliki akses jetty/pelabuhan untuk bongkar-muat bahan baku dan produk, serta terhubung dengan jaringan jalan tol Cilegon Timur. Gambar C menyajikan skema lokasi penelitian.

Gambaran Lokasi Penelitian: Rencana Pabrik Tinplate di Kawasan Industri Krakatau Cilegon (KIEC), Provinsi Banten



Gambar C. Skema Lokasi Rencana Pabrik Tinplate di Kawasan Industri Krakatau Cilegon (KIEC), Banten

Sumber: ilustrasi skematik diolah oleh penulis (2026), tidak untuk skala navigasi

Struktur Investasi dan Kelayakan Finansial

Total kebutuhan investasi awal (Capital Expenditure) pembangunan pabrik tinplate tercatat sebesar USD 281,29 juta, dengan komponen terbesar berasal dari peralatan utama produksi senilai USD 65,25 juta (20,4%), diikuti oleh utilitas dan energi senilai USD 43,84 juta (Tabel 1). Total kebutuhan modal awal (initial outlay), yang merupakan gabungan CAPEX dan modal kerja awal sebesar USD 40,23 juta, mencapai USD 360,37 juta, didanai melalui struktur pendanaan 60% pinjaman bank (debt) senilai USD 216,22 juta dan 40% modal sendiri (equity) senilai USD 144,15 juta.

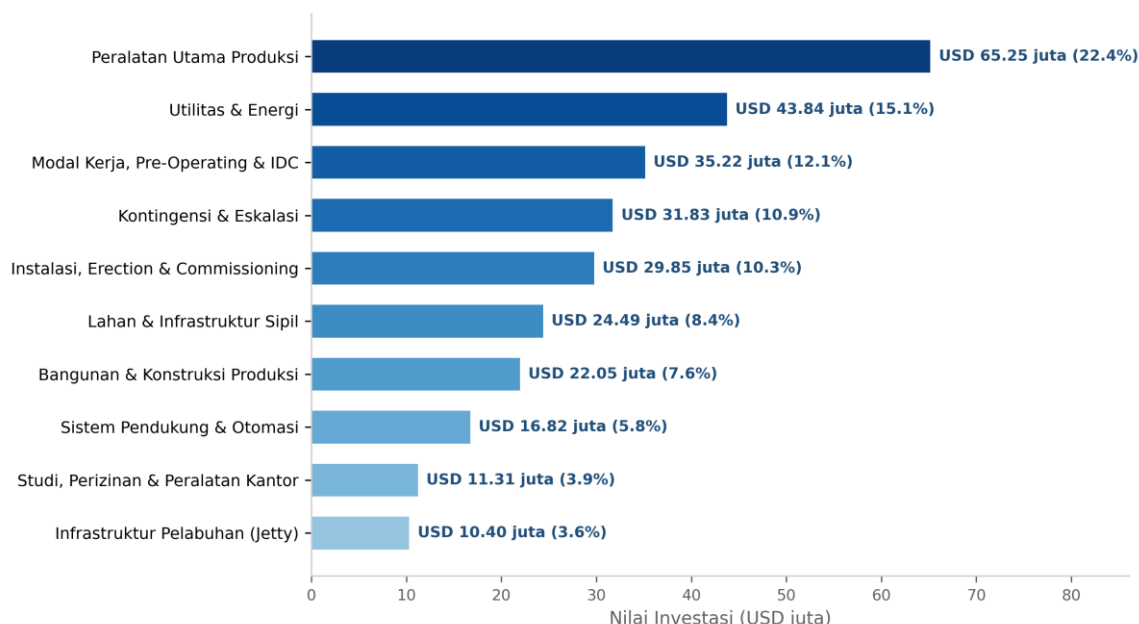
Tabel 1. Ringkasan Struktur Investasi (CAPEX) Pabrik Tinplate 100.000 Ton/Tahun

Komponen Investasi	Nilai (USD)	% CAPEX
Lahan & Infrastruktur Sipil	24.488.482	8,4%
Bangunan & Konstruksi Produksi	22.050.000	7,6%
Peralatan Utama Produksi	65.250.000	22,4%
Utilitas & Energi (Power Plant, WTP/WWTP, Elektrikal)	43.835.000	15,1%
Sistem Pendukung & Otomasi	16.815.000	5,8%
Infrastruktur Pelabuhan (Jetty)	10.400.000	3,6%
Instalasi, Erection & Commissioning	29.850.000	10,3%
Studi, Perizinan & Peralatan Kantor	11.308.500	3,9%
Modal Kerja, Pre-Operating & IDC	35.216.500	12,1%
Kontingensi & Eskalasi	31.825.000	10,9%

Komponen Investasi	Nilai (USD)	% CAPEX
Total Direct Cost	291.038.482	-
Kontingensi (10%)	29.103.848	-
Grand Total CAPEX	320.142.330	100,0%

Sumber: diolah dari data penelitian (2026)

Struktur Komponen CAPEX Pabrik Tinplate 100.000 Ton/Tahun



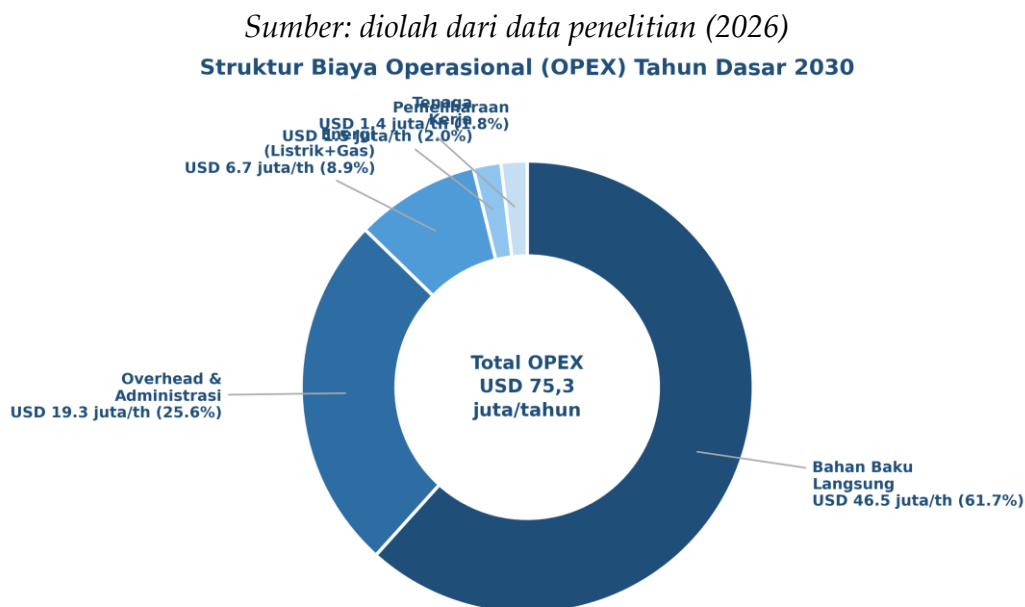
Gambar D. Struktur Komponen CAPEX Pabrik Tinplate (Diurutkan Berdasarkan Nilai)

Sumber: diolah dari Tabel 1 (2026)

Struktur biaya operasional (OPEX) tahunan pabrik didominasi oleh komponen bahan baku langsung yang berkontribusi sebesar 61,7% terhadap total OPEX, jauh melampaui kontribusi energi (8,9%) maupun tenaga kerja (2,0%) (Tabel 2). Tingginya proporsi biaya bahan baku ini konsisten dengan karakteristik industri tinplate yang bersifat material-intensive, sehingga harga HRC dan tin ingot menjadi penentu utama struktur biaya produksi dan sekaligus menjadi variabel kunci dalam analisis sensitivitas.

Tabel 2. Ringkasan Struktur Biaya Operasional (OPEX) Tahun Dasar 2030

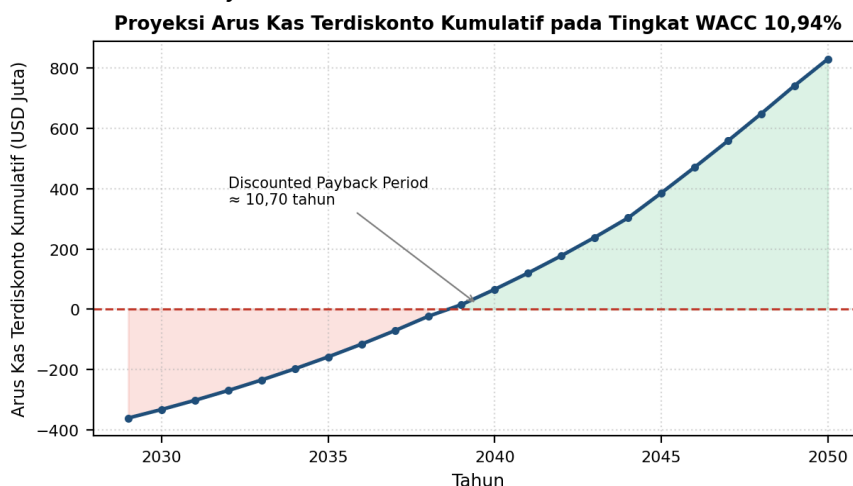
Komponen OPEX	USD Juta/Tahun	% Total OPEX
Bahan Baku Langsung	46,5	61,7%
Energi (Listrik + Gas)	6,7	8,9%
Tenaga Kerja	1,5	2,0%
Pemeliharaan	1,4	1,8%
Overhead & Administrasi	19,3	25,6%
Total OPEX	75,3	100,0%



Gambar E. Struktur Biaya Operasional (OPEX) Tahun Dasar 2030

Sumber: diolah dari Tabel 2 (2026)

Hasil perhitungan indikator kelayakan investasi menunjukkan bahwa Internal Rate of Return (IRR) proyek sebesar 14,82%, berada di atas Minimum Attractive Rate of Return (MARR) sebesar 10,14%, sedangkan Net Present Value (NPV) pada tingkat diskonto WACC tercatat positif sebesar USD 101,44 juta. Gambar 1 menyajikan proyeksi arus kas terdiskonto kumulatif proyek, yang menunjukkan bahwa titik impas (discounted payback point) tercapai pada tahun ke-10 operasi, konsisten dengan nilai Discounted Payback Period sebesar 6,15 tahun.



Gambar 1. Proyeksi Arus Kas Terdiskonto Kumulatif pada Tingkat WACC 10,14%

Sumber: diolah dari data penelitian (2026)

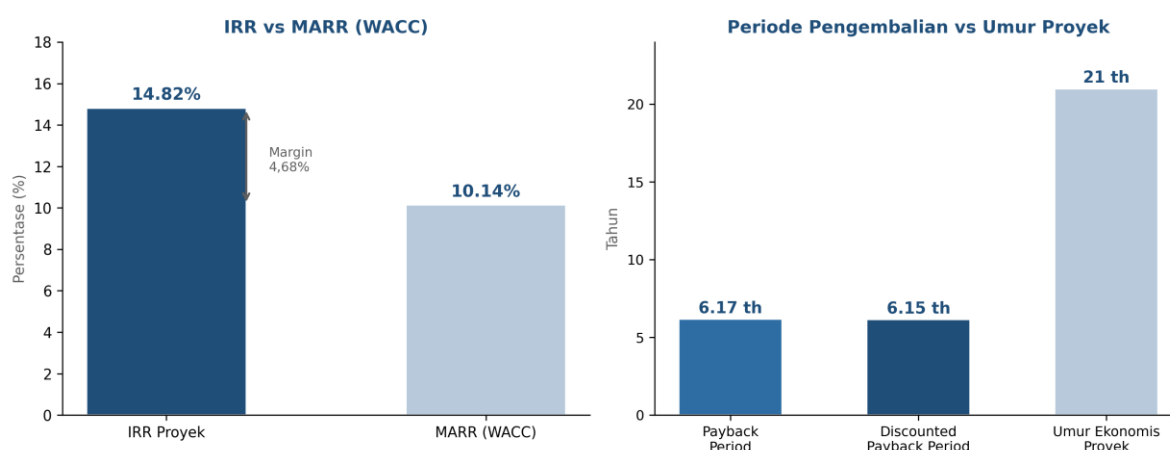
Rekapitulasi keseluruhan indikator kelayakan finansial (Tabel 3) menunjukkan bahwa seluruh parameter yang dievaluasi berstatus LAYAK. Meskipun demikian, margin antara IRR (11,09%) dan MARR (10,94%) tergolong tipis, yaitu hanya berselisih 0,15%, sehingga kelayakan proyek tetap tergolong sensitif terhadap perubahan variabel biaya, khususnya harga bahan baku utama.

Tabel 3. Rekapitulasi Indikator Kelayakan Investasi

Indikator Kelayakan Finansial	Nilai	Kriteria	Status
Net Present Value (NPV)	USD 101,44 juta	> 0	LAYAK
Internal Rate of Return (IRR)	14,82%	$> \text{MARR (10,14\%)}$	LAYAK
Net Benefit-Cost Ratio (Net B/C)	1,01	$> 1,00$	LAYAK
Payback Period (PBP)	6 tahun 2 bulan	$< 21 \text{ tahun}$	LAYAK
Discounted Payback Period (DPP)	6,15 tahun	$< 21 \text{ tahun}$	LAYAK
WACC / MARR	10,14%	-	-

Sumber: diolah dari data penelitian (2026)

Ringkasan Indikator Kelayakan Investasi Pabrik Tinplate



Gambar F. Ringkasan Visual Indikator Kelayakan Investasi

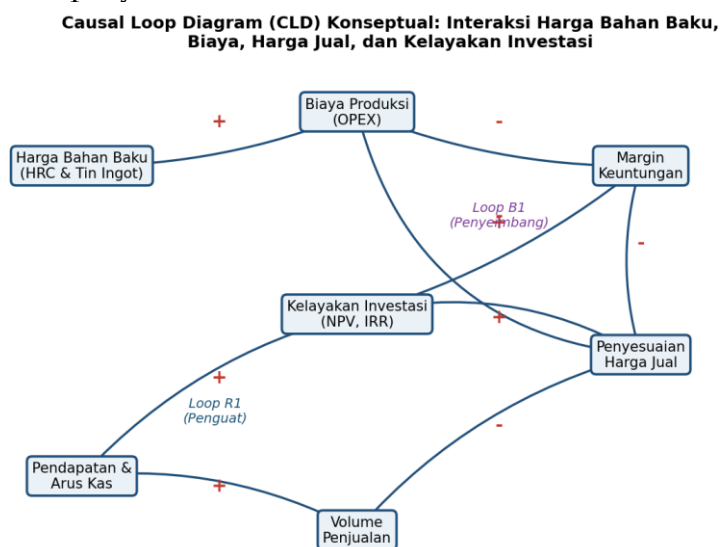
Sumber: diolah dari Tabel 3 (2026)

Analisis Sensitivitas dan Pemodelan Sistem Dinamis

Analisis sensitivitas konvensional (one-at-a-time) terhadap skenario kenaikan harga HRC dan tin ingot sebesar 10% hingga 25% dari harga dasar menunjukkan bahwa kenaikan harga HRC memberikan dampak penurunan NPV dan IRR yang lebih signifikan dibandingkan kenaikan harga tin ingot pada persentase kenaikan yang sama, karena proporsi biaya HRC terhadap total biaya bahan baku langsung jauh lebih besar. Pada skenario kenaikan harga HRC sebesar 25% tanpa diimbangi penyesuaian harga jual, IRR proyek berpotensi turun mendekati ambang batas MARR, sehingga margin keamanan proyek terhadap fluktuasi harga HRC tergolong relatif tipis. Sensitivitas terhadap kenaikan biaya energi (listrik dan gas) sebesar 10–20% menunjukkan dampak yang relatif moderat dibandingkan sensitivitas terhadap harga bahan baku, mengingat proporsi biaya energi terhadap total OPEX jauh lebih kecil.

Pendekatan sistem dinamis digunakan untuk menangkap hubungan kausal dan umpan balik antara variabel harga bahan baku, harga jual, biaya operasional, arus kas, dan indikator kelayakan investasi secara simultan. Struktur Causal Loop Diagram (Gambar 2) mengidentifikasi loop penyeimbang (balancing loop) antara

kenaikan harga bahan baku, peningkatan biaya produksi, penurunan margin keuntungan, dan respons penyesuaian harga jual, serta loop penguat (reinforcing loop) antara pertumbuhan volume penjualan, peningkatan pendapatan, dan akumulasi arus kas proyek.



Gambar 2. Causal Loop Diagram (CLD) Konseptual Interaksi Harga Bahan Baku, Biaya, Harga Jual, dan Kelayakan Investasi

Sumber: diolah dari data penelitian (2026)

Model CLD tersebut menjadi kerangka dasar penyusunan model simulasi kuantitatif (Stock and Flow Diagram) pada Vensim, yang memungkinkan simulasi skenario perubahan harga secara dinamis dan simultan, berbeda dengan analisis sensitivitas konvensional yang hanya mengubah satu variabel pada satu waktu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada skenario dasar, lintasan NPV kumulatif proyek bergerak dari posisi negatif pada tahun-tahun awal investasi menuju positif pada sekitar tahun ke-10 operasi, konsisten dengan hasil perhitungan Discounted Payback Period. Pada skenario pesimis, yaitu kombinasi kenaikan harga HRC dan tin ingot secara simultan tanpa penyesuaian harga jual yang memadai, model menunjukkan perpanjangan periode pengembalian investasi serta penurunan signifikan pada nilai akhir NPV kumulatif, bahkan berpotensi mendekati titik impas kelayakan pada kondisi kenaikan harga bahan baku yang ekstrem dan berkepanjangan. Sebaliknya, pada skenario optimis dengan asumsi harga bahan baku stabil dan harga jual tumbuh konsisten mengikuti inflasi, model menunjukkan percepatan periode pengembalian investasi dan peningkatan nilai akhir NPV kumulatif dibandingkan skenario dasar.

Pembahasan

Hasil analisis kelayakan finansial mengonfirmasi bahwa rencana investasi pabrik tinsplate berkapasitas 100.000 ton/tahun di Cilegon layak untuk direalisasikan, sejalan dengan temuan Sinaga et al. (2023) dan Astasari, Suryanto, dan Putri (2024) bahwa kombinasi NPV positif dan IRR di atas MARR merupakan indikator kelayakan investasi yang saling menguatkan. Namun demikian, margin kelayakan yang tipis antara IRR dan MARR (selisih 0,15%) menunjukkan bahwa proyek berada pada zona

kelayakan marginal, sehingga sejalan dengan pandangan Lan, Li, dan Zhang (2022), evaluasi kelayakan investasi tidak dapat berhenti pada perhitungan titik estimasi (point estimate) semata, melainkan perlu diperkuat dengan analisis sensitivitas maupun simulasi skenario untuk menggambarkan ketangguhan proyek terhadap ketidakpastian.

Konsistensi antara hasil analisis sensitivitas konvensional dan simulasi sistem dinamis – yang sama-sama menunjukkan harga HRC sebagai variabel paling berpengaruh, diikuti harga tin ingot – memperkuat validitas temuan sekaligus menegaskan area risiko utama proyek. Namun demikian, sebagaimana ditunjukkan oleh Liu, Deng, Gao, dan Ni (2024) serta Kasperska, Mateja-Losa, dan Marjasz (2013), nilai tambah utama pendekatan sistem dinamis terletak pada kemampuannya menggambarkan perilaku dinamis (dynamic behavior) sistem dari waktu ke waktu, termasuk efek tunda (time delay) antara perubahan harga bahan baku dan dampaknya terhadap arus kas serta kelayakan investasi – sebuah dimensi yang tidak dapat ditangkap oleh analisis sensitivitas statis konvensional yang bersifat ceteris paribus. Model CLD pada penelitian ini menegaskan bahwa mekanisme penyesuaian harga jual berperan sebagai loop penyeimbang yang menentukan seberapa jauh kenaikan biaya bahan baku dapat diserap tanpa mengorbankan kelayakan investasi. Secara praktis, temuan ini mengindikasikan bahwa keberlanjutan kelayakan finansial pabrik tinplate sangat bergantung pada strategi mitigasi risiko harga bahan baku, antara lain melalui kontrak pasokan jangka panjang dengan harga tetap (fixed-price supply agreement) bersama PT Krakatau Steel untuk HRC, diversifikasi sumber pasokan dan mekanisme lindung nilai (hedging) terhadap fluktuasi harga tin ingot di LME, serta mekanisme penyesuaian harga jual produk yang adaptif terhadap pergerakan harga bahan baku. Temuan ini juga memperkuat argumen bahwa integrasi metode penilaian investasi konvensional dengan pemodelan sistem dinamis memberikan gambaran kelayakan investasi yang lebih komprehensif dan realistis dibandingkan penggunaan salah satu pendekatan secara terpisah, khususnya pada industri manufaktur berbasis komoditas dengan volatilitas harga bahan baku yang tinggi.

KESIMPULAN

Hasil analisis kelayakan finansial menunjukkan bahwa rencana pembangunan pabrik tinplate berkapasitas 100.000 ton/tahun di Cilegon dinyatakan LAYAK untuk direalisasikan, dengan Net Present Value (NPV) positif sebesar USD 101,44 juta pada tingkat diskonto WACC 10,14%, Internal Rate of Return (IRR) sebesar 14,82% yang berada di atas MARR sebesar 10,14%, Net Benefit-Cost Ratio sebesar 1,01, Payback Period sekitar 6 tahun 2 bulan, serta Discounted Payback Period selama 6,15 tahun, seluruhnya berada dalam batas umur ekonomis proyek selama 21 tahun. Meskipun demikian, margin kelayakan antara IRR dan MARR tergolong tipis, sehingga proyek tetap tergolong sensitif terhadap perubahan variabel biaya. Hasil analisis sensitivitas, baik menggunakan pendekatan konvensional maupun pendekatan sistem dinamis berbasis Vensim, secara konsisten menunjukkan bahwa kelayakan investasi pabrik paling sensitif terhadap kenaikan harga Hot Rolled Coil (HRC), diikuti oleh harga tin ingot, dan relatif kurang sensitif terhadap perubahan biaya energi. Pemodelan sistem

dinamis melalui Causal Loop Diagram memberikan nilai tambah berupa gambaran perilaku dinamis proyek dari waktu ke waktu, termasuk efek tunda antara perubahan harga bahan baku dan dampaknya terhadap arus kas, yang tidak dapat ditangkap oleh analisis sensitivitas statis konvensional.

REFERENSI

- Astasari, D., Suryanto, B., & Putri, C. (2024). Internal rate of return dan WACC dalam evaluasi kelayakan investasi. *Jurnal Keuangan dan Investasi*.
- Bhutani, V., Kazi, M. K., & Romagnoli, J. A. (2024). Optimization of continuous steel annealing operations using model predictive control at Tata Steel, India. *INFORMS Journal on Applied Analytics*. <https://doi.org/10.1287/inte.2024.0183>
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance*. McGraw-Hill.
- Çolak, B. (2021). How the skin-pass rolling reduction ratio affects the strain aging behaviour of low-carbon steel sheets. *Ironmaking & Steelmaking*, 48(10), 1254–1260. <https://doi.org/10.1080/03019233.2021.1936877>
- Fueyo, J. G., Pison, M., Fuente, D., & Morcillo, M. (2022). Acid pickling of carbon steel. *Revista de Metalurgia*, 58(3), Article e226. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.226>
- Ichsan, M., Wahyu, T., & Farida, N. (2019). Tujuan dan manfaat studi kelayakan investasi. *Jurnal Manajemen Bisnis*.
- Kasperska, E., Mateja-Losa, E., & Marjasz, R. (2013). Sensitivity analysis and optimization for selected supply chain management issues in the company – Using system dynamics and Vensim. *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*, 9(2), 29–44. <https://doi.org/10.7341/2013922>
- Kurniawan, T., Pratiwi, R., & Widodo, S. (2020). Integrasi rantai pasok CRC hingga tinplate pada PT Krakatau Steel. *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*.
- Lan, J., Li, Q., & Zhang, W. (2022). Investment feasibility analysis: Payback period, IRR, and profitability index as critical metrics. *Journal of Financial Analysis*, 15(3), 45–60.
- Liu, Y., Deng, H., Gao, H., & Ni, W. (2024). Research on investment evaluation of highway projects based on system dynamics model. *AIMS Mathematics*. <https://doi.org/10.3934/math.2024989>
- Nurmahmudah, S., & Putra, A. (2020). *Studi kelayakan bisnis: Konsep dan aplikasi*. Penerbit Akademik.
- Pandey, S., Mishra, K. K., Ghosh, P., Singh, A. K., & Jha, S. K. (2023). Characterization of tin-plated steel. *Frontiers in Materials*, 10, Article 1113438. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1113438>
- Prabowo, A., Hartono, B., & Sari, D. (2022). Rantai hilirisasi tinplate: Analisis nilai tambah. *Jurnal Ekonomi Industri*.
- Ramdan, A., Hermawan, A., & Oetomo, D. S. (2025). Jadwal induk produksi thinner dengan perhitungan RCCP bill of labor approach dan sistem dinamis (Studi kasus: Pabrik produksi thinner PT XY). *Jurnal Teknik Industri (JUTIN)*. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i4.50566>
- Sinaga, A. S., Sari, M. M., Hutasuhut, A. A., Zahara, S. T., Amanda, A., & Fitri, A.

- (2023). Comparison of capital budgeting methods: NPV, IRR, payback period. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(2), 1078–1081. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.1483>
- Sofian, F. A., & Burhanudin, H. (2022). Evaluasi keberadaan Kawasan Industri KIEC I Kota Cilegon terhadap lingkungan sekitar berdasarkan nilai indeks sustainable development. *Bandung Conference Series: Urban & Regional Planning*, 2(2). <https://doi.org/10.29313/bcsurp.v2i2.3183>
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.
- Susanto, A., Pratama, B., & Wijaya, C. (2023). Kebijakan hilirisasi dan pengembangan industri tinplate di negara berkembang. *Jurnal Teknik Industri Indonesia*.
- Ventana Systems, Inc. (2024). Vensim software documentation. <https://vensim.com/software/>
- Waruwu, M., Pu'at, S. N., Utami, P. R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode penelitian kuantitatif: Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 10(1), 917–932. <https://doi.org/10.29303/jipp.v10i1.3057>
- Wibowo, E., Kusuma, R., & Santoso, A. (2021). Nilai tambah komoditi tinplate dalam rantai produksi baja. *Jurnal Kebijakan Industri*.
- Zhao, X., Li, Y., Zhang, W., Chen, L., & Wang, J. (2024). Design of a Ti-Zr-P-Si chromium-free passivation composite film with high corrosion resistance and eco-friendliness on tinplate. *JOM*. <https://doi.org/10.1007/s11837-024-06965-w>
- Hudák, M., Šimčák, P., Šramel, M., & Krajňák, J. (2023). New approaches to project risk assessment utilizing the Monte Carlo method. *Sustainability*, 15(2), 1006. <https://doi.org/10.3390/su15021006>
- Kvet, M., & Kvetová, J. (2023). A comprehensive methodology for investment project assessment based on Monte Carlo simulation. *Applied Sciences*, 13(10), 6103. <https://doi.org/10.3390/app13106103>
- Ronyastra, I. M., Hariyadi, H., & Irianto, D. (2024). Monte Carlo simulation-based financial risk identification for industrial estate as post-mining land usage in Indonesia. *Resources Policy*, 90, 104757. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104757>
- Rodríguez, A. (2024). A novel approach to calculate weighted average cost of capital (WACC) considering debt and firm's cash flow durations. *Managerial and Decision Economics*, 45(2), 1154–1179. <https://doi.org/10.1002/mde.4042>
- Wau, F. T., Kiton, M. A., Wau, M., & Fau, J. F. (2024). Analisis strategis kebijakan hilirisasi mineral: Implikasi ekonomi dan pengaruhnya terhadap perekonomian Indonesia. *Journal Publicuho*, 7(3), 1215–1224. <https://doi.org/10.35817/publicuho.v7i3.481>

Copyright holder:
© Author

First publication right:
Jurnal Manajemen Pendidikan
This article is licensed under:

CC-BY-SA