

# STUDI KELAYAKAN FINANSIAL DAN ANALISIS SENSITIVITAS PEMBANGUNAN PABRIK INGOT ALUMINIUM BERKAPASITAS 500.000 TON PER TAHUN DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIS

Noval Dwi Sanggar Ramadhan<sup>1</sup>, Dedy Setyo Oetomo<sup>2</sup>, Asep Hermawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Indonesia

Email: [sanggarnoal06@wastukencana.ac.id](mailto:sanggarnoal06@wastukencana.ac.id)



DOI: <https://doi.org/10.34125/jkps.v11i4.3290>

## Sections Info

### Article history:

Submitted: 13 June 2026

Final Revised: 21 June 2026

Accepted: 6 August 2026

Published: 30 August 2026

### Keywords:

aluminium ingot  
financial feasibility  
sensitivity analysis  
NPV  
system dynamics



## ABSTRACT

*Objective: Indonesia faces a persistent aluminium supply deficit and heavy import dependence, while the mineral downstream policy drives domestic value-added processing. This study evaluates the financial feasibility and risk sensitivity of a planned 500,000 tonnes-per-year (TPY) aluminium ingot smelter at Industrial Estate "X", Central Kalimantan, modelling its ROI dynamics through a system dynamics approach. Methods: A quantitative descriptive approach used secondary data over a 22-year period (2030 construction; 2031–2051 operation). Feasibility was assessed with five capital budgeting indicators (NPV, IRR, Net B/C, Payback Period, Break-Even Point) at MARR 10.14%, complemented by DuPont decomposition and a Vensim-based Causal Loop Diagram (CLD). One-at-a-time sensitivity analysis ( $\pm 10$ –30%) was applied to alumina price and coal energy cost. Results: The project is feasible, with NPV of USD 2,285.66 million, IRR of 16.69% (above MARR), Net B/C of 1.761, and payback period of 6.16 years. Energy cost is 1.60 times more sensitive to NPV than alumina price. The CLD identified two reinforcing and two balancing feedback loops explaining ROI dynamics across the project's deleveraging phases. Novelty: This study extends prior alumina-stage feasibility research to the ingot-smelting stage and integrates sensitivity analysis with DuPont-based system dynamics modelling, a combination absent from Indonesia's aluminium feasibility literature.*

## ABSTRAK

*Objektif: Indonesia menghadapi defisit pasokan aluminium yang persisten dan ketergantungan impor tinggi, sementara kebijakan hilirisasi mineral mendorong pengolahan bernilai tambah domestik. Penelitian ini menganalisis kelayakan finansial dan sensitivitas risiko pembangunan pabrik ingot aluminium berkapasitas 500.000 TPY di Kawasan Industri "X", Kalimantan Tengah, serta memodelkan dinamika ROI melalui pendekatan sistem dinamis. Metode: Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan berdasarkan data sekunder selama periode analisis 22 tahun (konstruksi 2030; operasi 2031–2051). Kelayakan dinilai menggunakan lima indikator capital budgeting (NPV, IRR, Net B/C, Payback Period, Break Even Point) pada MARR 10,14%, dilengkapi dekomposisi DuPont dan Causal Loop Diagram (CLD) berbasis Vensim. Analisis sensitivitas one-at-a-time (10–30%) diterapkan pada harga alumina dan biaya energi batu bara. Hasil: Proyek dinyatakan layak secara finansial, dengan NPV sebesar USD 2.285,66 juta, IRR 16,69% (di atas MARR), Net B/C 1,761, dan payback period 6,16 tahun. Biaya energi terbukti 1,60 kali lebih sensitif terhadap NPV dibandingkan harga alumina. Model CLD mengidentifikasi dua loop penguat dan dua loop penyeimbang yang menjelaskan dinamika ROI sepanjang fase deleveraging. Kebaruan: Penelitian ini memperluas kajian kelayakan tahap alumina hingga tahap smelting ingot aluminium, serta mengintegrasikan analisis sensitivitas dengan pemodelan sistem dinamis berbasis DuPont, kombinasi yang belum tersedia pada literatur aluminium Indonesia.*

**Kata kunci:** ingot aluminium, kelayakan finansial, analisis sensitivitas, NPV, sistem dinamis

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam strategis yang menjadi bahan utama berbagai sektor industri modern, mulai dari konstruksi, transportasi, otomotif, hingga elektronik. Berdasarkan data International Aluminium Institute, produksi aluminium primer global pada 2024 mencapai 72,76 juta ton, tumbuh 2,89% dari tahun sebelumnya, sementara total konsumsi global (primer dan sekunder) telah melampaui 111,2 juta ton (International Aluminium Institute, 2024). Di tingkat nasional, Indonesia menghadapi kesenjangan pasokan yang serius: impor aluminium dan produk turunannya tercatat 606.730 ton (2020), 722.712 ton (2021), dan 713.822 ton (2022) (Badan Pusat Statistik, 2023), sementara kapasitas produksi domestik PT Indonesia Asahan Aluminium (Inalum) hanya sekitar 250.000 ton per tahun, jauh di bawah kebutuhan domestik yang diperkirakan mencapai 1,2 juta ton per tahun. Tren lima tahun terakhir menegaskan bahwa ketergantungan impor ini bersifat struktural dan belum tertangani oleh kapasitas produksi domestik yang ada (Tabel 1), sehingga pembangunan smelter aluminium ingot berskala besar menjadi mendesak untuk mengurangi kesenjangan pasokan nasional (Silitonga dkk., 2026).

Tabel 1. Volume Impor Aluminium Indonesia, 2020-2024

| Tahun | Volume Impor (ribu ton) | Keterangan                                            |
|-------|-------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2020  | 606,73                  | Titik terendah akibat kontraksi pandemi COVID-19      |
| 2021  | 722,71                  | Pemulihan permintaan pasca-pandemi                    |
| 2022  | 724,75                  | Ketergantungan impor berlanjut meski harga fluktuatif |
| 2023  | 708,00                  | Impor tetap tinggi meski hilirisasi mulai berjalan    |
| 2024  | 758,70                  | Lonjakan permintaan konstruksi dan kendaraan listrik  |

Sumber: Badan Pusat Statistik (2023); Silitonga dkk. (2026).

Dalam struktur biaya produksi aluminium primer melalui proses elektrolisis Hall-Héroult, dua variabel yang paling berpengaruh terhadap kelayakan finansial adalah harga alumina sebagai bahan baku utama dan biaya batu bara sebagai sumber energi. Volatilitas kedua variabel ini – misalnya lonjakan harga batu bara hingga 171 % pada 2022 akibat krisis energi global – menjadikan analisis sensitivitas sebagai komponen krusial dalam setiap studi kelayakan smelter aluminium (Kementerian ESDM, 2024).

Kajian akademik mengenai kelayakan finansial industri aluminium di Indonesia masih terbatas. Rianto dkk. (2023) menganalisis kelayakan pembangunan pabrik Smelter Grade Alumina (SGA) berkapasitas 1.000.000 ton per tahun menggunakan indikator NPV, IRR, dan Payback Period, dan menyimpulkan proyek tersebut layak dengan IRR 15% dan payback period 8 tahun 3 bulan. Namun, kajian tersebut berhenti pada tahap produksi alumina sebagai produk antara berbasis proses Bayer, belum menjangkau tahap peleburan (smelting) menjadi aluminium ingot melalui proses elektrolisis Hall-Héroult yang memiliki struktur biaya energi jauh lebih kompleks, serta tidak dilengkapi analisis sensitivitas maupun pemodelan sistem dinamis. Studi lain oleh Oetomo dkk. (2025) mengkaji kelayakan pabrik ingot aluminium berbasis bahan baku scrap berkapasitas 50.000 ton per tahun di Cilegon, dengan hasil IRR 18,2% dan payback period 6,8 tahun; namun studi tersebut berfokus pada aluminium sekunder (daur ulang) berskala jauh lebih kecil dan belum menyentuh dimensi produksi aluminium primer berskala mega maupun pemodelan dinamis kausal.

Celah inilah yang menjadi justifikasi penelitian ini: memperluas kajian kelayakan finansial hingga tahap smelting aluminium ingot primer berkapasitas 500.000 ton per tahun, sekaligus melengkapinya dengan analisis sensitivitas kuantitatif terhadap harga alumina dan biaya energi, analisis kinerja keuangan menggunakan metode DuPont, serta pemodelan sistem dinamis berbasis Causal Loop Diagram (CLD) dengan perangkat lunak Vensim – kombinasi metodologis yang belum tersedia pada literatur kelayakan industri aluminium Indonesia,

sekali pun studi kelayakan mineral hilir sejenis di Kalimantan Tengah telah mulai menerapkan analisis capital budgeting serupa tanpa dimensi sensitivitas maupun sistem dinamis (Bahri dkk., 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menghitung dan mengevaluasi indikator kelayakan investasi (NPV, IRR, Net B/C, PBP, dan BEP) pembangunan pabrik ingot aluminium 500.000 TPY di Kawasan Industri “X”, Kalimantan Tengah; (2) menganalisis pengaruh perubahan harga alumina dan biaya energi batu bara terhadap tingkat kelayakan investasi melalui analisis sensitivitas one-at-a-time; dan (3) menganalisis kinerja keuangan proyek menggunakan metode DuPont serta memodelkan hubungan sebab-akibat antar variabel kelayakan investasi melalui Causal Loop Diagram berbasis Vensim.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif, yang mengombinasikan analisis kondisi faktual industri aluminium dengan pengujian numerik terhadap indikator kelayakan investasi dan sensitivitas (Sugiyono, 2013). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang bersumber dari International Aluminium Institute, Badan Pusat Statistik, Kementerian ESDM, London Metal Exchange, serta jurnal ilmiah terindeks Sinta sebagaimana dirangkum pada Tabel 2, yang dikumpulkan melalui studi pustaka (library research).

**Tabel 2. Sumber Data Penelitian**

| No | Jenis Data                           | Sumber                                     | Keterangan                         |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Produksi & konsumsi aluminium global | International Aluminium Institute (IAI)    | Data permintaan (demand)           |
| 2  | Impor aluminium nasional             | Badan Pusat Statistik (BPS)                | Data pasokan domestik              |
| 3  | Harga batu bara                      | Kementerian ESDM                           | Variabel sensitivitas biaya energi |
| 4  | Harga alumina & aluminium            | London Metal Exchange (LME)                | Variabel sensitivitas & harga jual |
| 5  | Kelayakan pabrik SGA (studi analog)  | Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik (Sinta 2) | Pembandingan metodologi utama      |

Variabel penelitian terdiri atas variabel output (NPV, IRR, Net B/C, PBP, dan BEP), variabel input tetap (kapasitas produksi 500.000 ton/tahun, investasi awal, harga jual aluminium, umur proyek 21 tahun, dan tingkat diskonto MARR), serta variabel sensitivitas (harga alumina dan biaya batu bara, dengan variasi  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ , dan  $\pm 30\%$  dari nilai dasar).

Analisis kelayakan finansial dilakukan menggunakan lima indikator capital budgeting sebagaimana dirangkum pada Tabel 3, dengan tingkat diskonto MARR sebesar 10,14% yang dihitung dari Weighted Average Cost of Capital (WACC) – rata-rata tertimbang biaya ekuitas ( $K_e = 16\%$ ) dan biaya utang setelah pajak ( $K_d = 8\%$ ; tarif PPh 22%), pada struktur pendanaan 60% utang dan 40% ekuitas.

**Tabel 3. Metode Analisis Kelayakan Finansial**

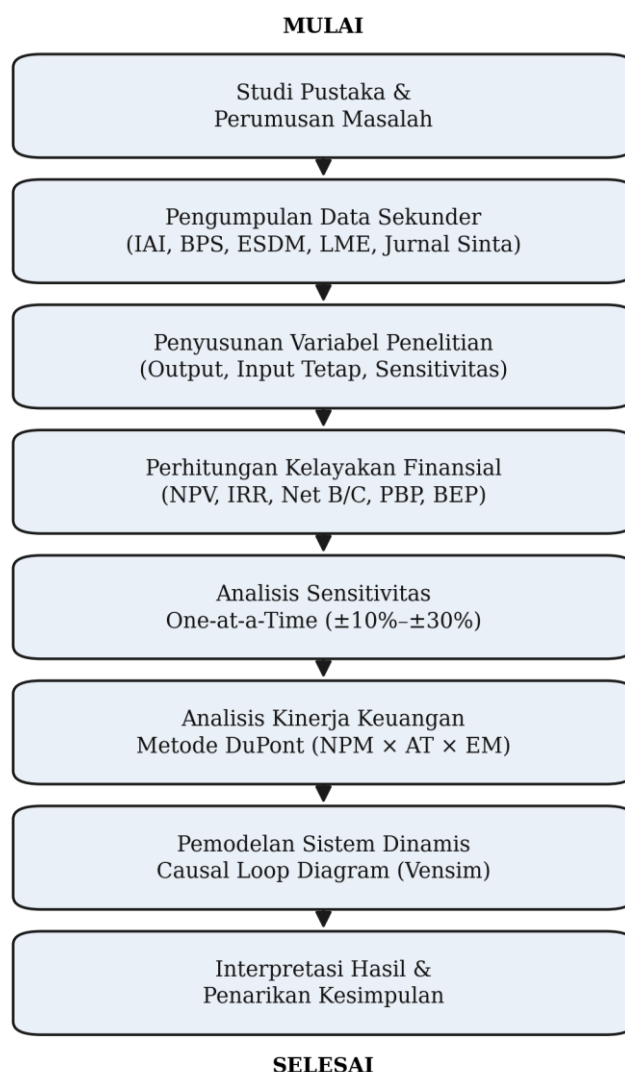
| No | Metode  | Formula                                                                                | Kriteria Layak                    |
|----|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | NPV     | $NPV = \sum [C_t / (1+i)^t] - I_0$                                                     | $NPV > 0$                         |
| 2  | IRR     | Discount rate saat $NPV = 0$ (interpolasi linear)                                      | $IRR > MARR$                      |
| 3  | Net B/C | $Net\ B/C = PV(\text{Manfaat}) / PV(\text{Biaya})$                                     | $Net\ B/C > 1,00$                 |
| 4  | PBP     | $PBP = \text{Tahun sebelum BEP} + (\text{Sisa Investasi} / \text{Arus Kas Tahun BEP})$ | $PBP < \text{Umur Proyek}$        |
| 5  | BEP     | $BEP(\text{unit}) = FC / (P - VC)$ ; $BEP(Rp) = FC / (1 - VC/P)$                       | $BEP < \text{Kapasitas Produksi}$ |

Analisis sensitivitas dilakukan dengan pendekatan one-at-a-time, mengubah nilai harga alumina dan biaya batu bara secara terpisah pada rentang  $-30\%$ ,  $-20\%$ ,  $-10\%$ ,  $+10\%$ ,  $+20\%$ , dan  $+30\%$  dari nilai dasar (harga alumina USD 343/ton dan biaya batu bara USD

101/ton pada tahun operasional 2030), kemudian menghitung ulang NPV, IRR, dan PBP untuk setiap skenario (Kusumo & Mamengko, 2022; Ayun dkk., 2023).

Analisis kinerja keuangan dilakukan menggunakan metode DuPont, yang mengurai Return on Equity (ROE) menjadi tiga komponen: Net Profit Margin (NPM), Asset Turnover (AT), dan Equity Multiplier (EM), sebagaimana dinyatakan dalam persamaan  $ROE = NPM \times AT \times EM$ . Analisis dilakukan pada enam tahun representatif yang mewakili fase ramp-up (2031), kapasitas penuh (2033), operasi stabil (2035 dan 2038), pasca-pelunasan utang (2041), dan bebas utang (2045).

Selanjutnya, pemodelan sistem dinamis dikembangkan menggunakan perangkat lunak Vensim untuk membangun model Causal Loop Diagram (CLD) yang merepresentasikan struktur umpan balik (feedback loop) antara Revenue, COGS, Beban Bunga, Net Income, dan komponen DuPont terhadap dinamika ROI sepanjang 21 tahun masa operasi (Stermann, 2000). Ringkasan tahapan penelitian secara keseluruhan, mulai dari studi pustaka hingga penarikan kesimpulan, disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Rekap hasil analisis kelayakan finansial pabrik ingot aluminium 500.000 TPY, yang dihitung menggunakan lima indikator capital budgeting pada tingkat diskonto MARR 10,14%, disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Rekap Indikator Kelayakan Finansial**

| No | Indikator Kelayakan              | Nilai Hasil            | Nilai Batas       | Status |
|----|----------------------------------|------------------------|-------------------|--------|
| 1  | Net Present Value (NPV)          | USD 2.285,66 juta      | > 0 (positif)     | LAYAK  |
| 2  | Internal Rate of Return (IRR)    | 16,69% / tahun         | > MARR 10,14%     | LAYAK  |
| 3  | Net Benefit-Cost Ratio (Net B/C) | 1,761                  | > 1,00            | LAYAK  |
| 4  | Payback Period (PBP)             | 6 tahun 2 bulan        | < 21 tahun        | LAYAK  |
| 5  | Break Even Point (BEP)           | 264.113–21.097 ton/thn | < 500.000 ton/thn | LAYAK  |

NPV positif sebesar USD 2.285,66 juta menunjukkan bahwa proyek ini akan menghasilkan nilai tambah yang signifikan bagi investor selama umur proyek 21 tahun operasi. IRR sebesar 16,69% melampaui MARR 10,14% dengan selisih 6,55 poin persentase, memberikan margin keamanan terhadap peningkatan biaya modal. Net B/C sebesar 1,761 berarti setiap satu dolar yang diinvestasikan menghasilkan manfaat bersih sebesar USD 1,76. PBP selama 6 tahun 2 bulan menunjukkan pengembalian investasi yang relatif cepat mengingat umur proyek 21 tahun dan skala investasi yang sangat besar. BEP bervariasi dari 264.113 ton per tahun (55,6% kapasitas) pada tahun pertama operasi menurun hingga 21.097 ton per tahun (4,4% kapasitas) pada tahun terakhir, menunjukkan bahwa titik impas semakin mudah dicapai seiring pematangan operasi pabrik.

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap dua variabel kunci yang paling berpengaruh dalam struktur biaya, yaitu harga alumina dan biaya energi (batu bara), menggunakan pendekatan one-at-a-time pada rentang  $\pm 10\%$  hingga  $\pm 30\%$  dari nilai dasar. Alumina merupakan komponen biaya terbesar dalam bahan baku langsung (70,9% dari total biaya bahan baku), sementara energi listrik dari PLTU batubara captive merupakan komponen biaya terbesar kedua dalam OPEX (48,43%). Hasil analisis sensitivitas harga alumina disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5. Analisis Sensitivitas terhadap Perubahan Harga Alumina**

| Skenario Perubahan | NPV (USD Juta) | IRR (%) | PBP (tahun) | Net B/C | Status |
|--------------------|----------------|---------|-------------|---------|--------|
| -30%               | 3.143,88       | 18,38%  | 5,67        | 1,980   | LAYAK  |
| 0% (Dasar)         | 2.285,66       | 16,69%  | 6,16        | 1,761   | LAYAK  |
| +30%               | 1.427,44       | 14,93%  | 6,74        | 1,542   | LAYAK  |

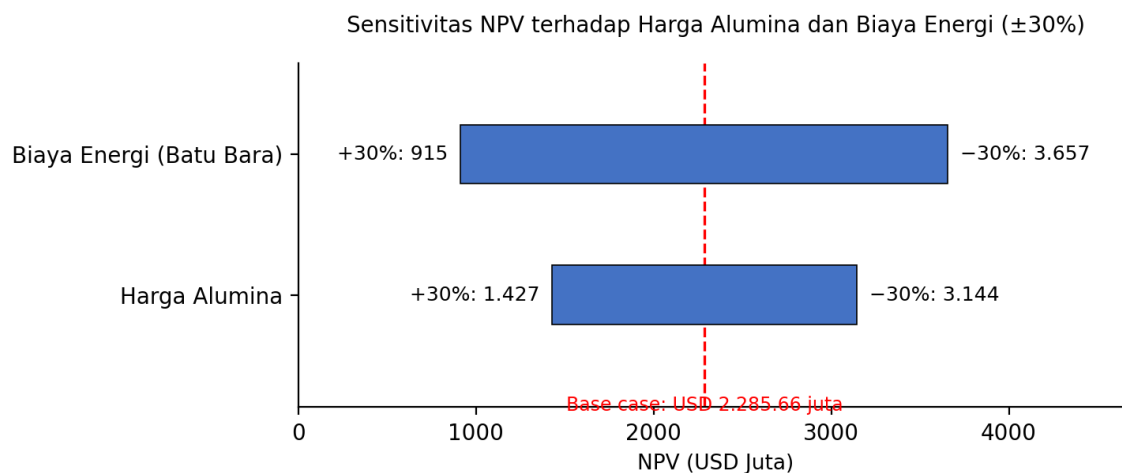
Pada skenario paling pesimistis (kenaikan harga alumina +30%), NPV masih bernilai positif sebesar USD 1.427,44 juta dengan IRR 14,93% yang tetap melampaui MARR 10,14%. Seluruh skenario menunjukkan status LAYAK, membuktikan bahwa proyek ini tahan terhadap volatilitas harga alumina global. Hasil analisis sensitivitas biaya energi batu bara disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Analisis Sensitivitas terhadap Perubahan Biaya Energi (Batu Bara)**

| Skenario Perubahan | NPV (USD Juta) | IRR (%) | PBP (tahun) | Net B/C | Status |
|--------------------|----------------|---------|-------------|---------|--------|
| -30%               | 3.656,81       | 19,37%  | 5,42        | 2,111   | LAYAK  |
| 0% (Dasar)         | 2.285,66       | 16,69%  | 6,16        | 1,761   | LAYAK  |
| +30%               | 914,52         | 13,84%  | 7,15        | 1,411   | LAYAK  |

Pada skenario kenaikan biaya energi +30%, NPV masih mencapai USD 914,52 juta dengan IRR 13,84%, tetap di atas MARR. Setiap perubahan 10% pada biaya energi berdampak pada perubahan NPV sebesar USD 457,05 juta, yaitu 1,60 kali lebih besar dibandingkan dampak perubahan harga alumina sebesar 10% (USD 286,07 juta). Perbandingan tingkat

sensitivitas kedua variabel disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Grafik Tornado Sensitivitas NPV terhadap Harga Alumina dan Biaya Energi ( $\pm 30\%$ )**

Selanjutnya, analisis kinerja keuangan dengan metode DuPont dilakukan untuk memahami dinamika evolusi struktur keuangan proyek, dengan hasil disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7. Dekomposisi DuPont Pabrik Ingot Aluminium**

| Tahun | Fase Proyek             | NPM (%) | AT (x) | EM (x) | ROE (%) |
|-------|-------------------------|---------|--------|--------|---------|
| 2031  | Ramp-up (50% kapasitas) | 1,98    | 0,406  | 2,373  | 1,90    |
| 2033  | Kapasitas penuh (100%)  | 21,76   | 0,536  | 1,804  | 21,02   |
| 2035  | Operasi stabil - awal   | 23,50   | 0,496  | 1,452  | 16,91   |
| 2038  | Operasi stabil - mid    | 26,38   | 0,432  | 1,197  | 13,64   |
| 2041  | Pasca-pelunasan utang   | 30,25   | 0,374  | 1,076  | 12,18   |
| 2045  | Bebas utang (EM=1)      | 32,36   | 0,311  | 1,000  | 10,05   |

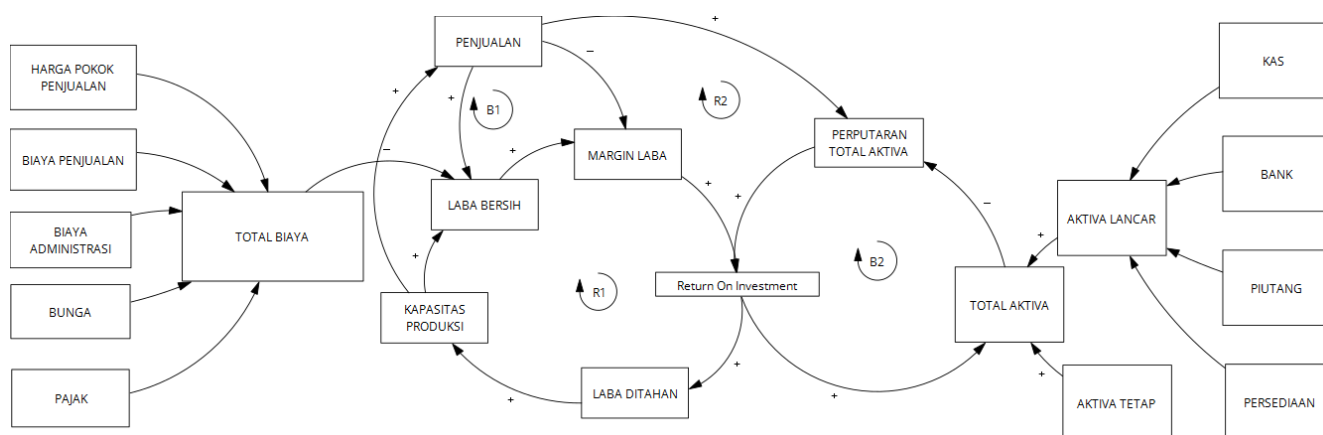
Net Profit Margin (NPM) tumbuh konsisten dari 1,98% (2031) menjadi 32,36% (2045), mencerminkan penguatan efisiensi operasional seiring pematangan kapasitas produksi. Equity Multiplier (EM) menurun dari 2,373 menjadi 1,000 seiring pelunasan utang bank (tenor 15 tahun), yang menekan ROE meskipun NPM terus meningkat – ROE memuncak pada 2033 (21,02%, melampaui Cost of Equity 16%) kemudian menurun bertahap hingga 10,05% pada 2045, tetap di atas WACC 10,14%. Fenomena ini merupakan proses deleveraging yang normal pada proyek infrastruktur berpendanaan campuran, bukan penurunan kinerja operasional.

Untuk memahami struktur kausal di balik dinamika ROI tersebut, dikembangkan model Causal Loop Diagram (CLD) berbasis Vensim yang mengimplementasikan kerangka DuPont ke dalam sistem dinamis. Model ini mengidentifikasi empat feedback loop sebagaimana dirangkum pada Tabel 8.

**Tabel 8. Identifikasi Feedback Loop pada CLD Analisis DuPont-ROI**

| Loop                        | Tipe            | Rantai Kausal                                                    | Implikasi Dinamis                                                                    |
|-----------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| R1 - Penguat Profitabilitas | Reinforcing (+) | ROI → Laba Ditahan → Ekuitas → Total Aset → Revenue → NPM → ROI  | Profitabilitas tinggi memperbesar basis aset, mendorong revenue dan NPM lebih tinggi |
| R2 - Penguat Efisiensi Aset | Reinforcing (+) | ROI → Laba Ditahan → Total Aset → Revenue → Asset Turnover → ROI | Akumulasi aset membuka kapasitas revenue lebih besar                                 |
| B1 - Penyeimbang Leverage   | Balancing (-)   | Equity Multiplier → Total Utang → Beban Bunga → Net Income → ROI | Leverage tinggi menekan laba bersih dan ROI                                          |
| B2 - Penyeimbang Beban      | Balancing (-)   | Revenue → COGS → Net Income → ROI                                | Kenaikan revenue mengangkat COGS, membatasi pertumbuhan laba                         |

Struktur kausal keempat loop tersebut, sebagaimana diimplementasikan dalam model Vensim, divisualisasikan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Causal Loop Diagram Dinamika DuPont-ROI Pabrik Ingot Aluminium**

Loop R1 mendominasi pada fase ramp-up awal (2031–2033) ketika laba bersih tumbuh cepat dari USD 30,40 juta menjadi USD 491,76 juta, sementara loop B1 aktif menekan laba bersih melalui beban bunga (USD 160,53 juta pada 2031) selama utang bank masih bersaldo. Efek B1 melemah seiring deleveraging (EM turun dari 2,373 ke 1,000), memberi ruang bagi R1 untuk lebih dominan pada paruh kedua umur proyek. Model CLD ini melengkapi analisis sensitivitas statis dengan dimensi temporal dan kausal, mengonfirmasi bahwa pabrik ingot aluminium 500.000 TPY memiliki fundamental finansial yang kuat dan tahan terhadap tekanan biaya.

### Pembahasan

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa pembangunan pabrik ingot aluminium 500.000 TPY di Kawasan Industri “X”, Kalimantan Tengah layak secara finansial ditinjau dari seluruh indikator capital budgeting yang diuji. Temuan ini sejalan dengan Rianto dkk. (2023) yang menekankan bahwa kombinasi NPV positif dan IRR di atas tingkat diskonto merupakan kombinasi indikator paling andal untuk keputusan investasi pada industri smelter aluminium, meskipun penelitian tersebut hanya menjangkau tahap produksi alumina (SGA) dan belum mencakup tahap smelting yang memiliki struktur biaya energi jauh lebih kompleks. PBP 6 tahun 2 bulan yang dihasilkan dalam penelitian ini juga konsisten dengan temuan Ayun dkk. (2023) yang melaporkan PBP 5,6 tahun pada proyek pertambangan batu bara berskala besar, menguatkan validitas triangulasi indikator NPV-IRR-PBP pada proyek industri mineral.

Analisis sensitivitas membuktikan ketahanan (robustness) proyek secara kuantitatif. Bahkan pada skenario paling pesimistis dengan kenaikan biaya energi +30%, NPV masih berada di atas USD 900 juta dan IRR di atas 13%, tetap melampaui MARR. Temuan bahwa biaya energi 1,60 kali lebih sensitif dibandingkan harga alumina sejalan dengan Butar-Butar & Horman (2022) yang menekankan bahwa kelayakan proyek pertambangan sangat sensitif terhadap perubahan harga komoditas energi, dan memperkuat rekomendasi agar manajemen memprioritaskan strategi lindung nilai (hedging) terhadap harga batu bara melalui kontrak Domestic Market Obligation (DMO) jangka panjang serta menjajaki investasi pada teknologi sel elektrolisis berenergi rendah.

Dibandingkan dengan studi Oetomo dkk. (2025) pada pabrik ingot aluminium berbasis scrap berkapasitas 50.000 TPY di Cilegon (IRR 18,2%; payback period 6,8 tahun), penelitian ini menunjukkan bahwa pabrik aluminium primer berskala jauh lebih besar (500.000 TPY) tetap dapat mencapai kelayakan finansial yang kompetitif (IRR 16,69%; payback period 6,16 tahun) meskipun menghadapi kompleksitas biaya energi elektrolisis Hall-Hérault yang lebih tinggi dibandingkan proses peleburan scrap. Hal ini menegaskan bahwa skala ekonomi (economies of scale) pada produksi aluminium primer mampu mengompensasi intensitas energi yang

lebih besar.

Integrasi analisis DuPont dan Causal Loop Diagram berbasis Vensim memberikan wawasan tambahan yang belum tersedia pada literatur kelayakan aluminium Indonesia sebelumnya, yakni bagaimana struktur pendanaan (leverage) berinteraksi secara dinamis dengan profitabilitas operasional sepanjang siklus hidup proyek. Temuan bahwa loop penyeimbang leverage (B1) melemah seiring deleveraging memberikan implikasi praktis bahwa risiko finansial proyek menurun secara struktural setelah tahun ke-15 (2045), sehingga periode kritis manajemen risiko terkonsentrasi pada 15 tahun pertama operasi.

## KESIMPULAN

Seluruh indikator kelayakan investasi menyatakan bahwa pembangunan pabrik ingot aluminium 500.000 TPY di Kawasan Industri "X", Kalimantan Tengah LAYAK secara finansial: NPV USD 2.285,66 juta ( $> 0$ ), IRR 16,69% (melampaui MARR 10,14%), Net B/C 1,761 ( $> 1$ ), PBP 6 tahun 2 bulan, dan BEP bervariasi dari 264.113 ton (55,6% kapasitas) hingga 21.097 ton (4,4% kapasitas) sepanjang masa operasi.

Perubahan harga alumina dan biaya energi memengaruhi tingkat kelayakan namun tidak mengubah status LAYAK hingga skenario  $\pm 30\%$ ; biaya energi terbukti 1,60 kali lebih sensitif terhadap NPV, sejalan dengan dominasinya dalam OPEX (48,43%).

Analisis DuPont menunjukkan ROE memuncak pada 2033 (21,02%) lalu menurun struktural akibat deleveraging, bukan penurunan kinerja operasional. Model Causal Loop Diagram berbasis Vensim mengidentifikasi dua loop penguat (profitabilitas, efisiensi aset) dan dua loop penyeimbang (leverage, beban) yang menjelaskan dinamika ROI, dengan loop leverage yang melemah signifikan setelah tahun ke-15 operasi.

Secara keseluruhan, pembangunan pabrik ini LAYAK dilaksanakan ditinjau dari kelayakan finansial, sensitivitas risiko, kinerja keuangan, dan dinamika sistem. Manajemen disarankan melanjutkan ke tahap Front End Engineering Design (FEED) sembari memprioritaskan lindung nilai harga batu bara melalui kontrak DMO jangka panjang. Penelitian selanjutnya disarankan menambah variabel risiko nilai tukar rupiah, ESG, serta simulasi Monte Carlo untuk interaksi antar-variabel risiko.

## REFERENSI

- Abdinagoro, S. B., & Hamsal, M. (2023). Strategic marketing approach of Indonesia aluminium mineral industry: Upstream and downstream analysis. *The Winners*, 23(2), 181-188. <https://doi.org/10.21512/tw.v23i2.9199>
- Ayun, Q., Juniah, R., & Azwardi. (2023). Analisis kelayakan investasi penambangan batubara di PT. Cipta Kridatama site PT. KIM, Kabupaten Bungo, Provinsi Jambi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(1), 57-72. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol19.No1.2023.1327>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik perdagangan luar negeri Indonesia: Impor 2020-2022*. Badan Pusat Statistik.
- Bahri, S., Oetomo, D. S., & Hermawan, A. (2024). Financial feasibility analysis of copper cathode factory at PT. X in Central Kalimantan. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 6(2), 283-296. <https://doi.org/10.37577/sainteks.v6i02.778>
- Butar-Butar, K., & Horman, J. R. (2022). Analisis sensitivitas di PT AE. *Jurnal Penelitian Tambang*, 4(1), 43-53. <https://doi.org/10.56139/intan.v4i1.81>
- Diwantari, W. P., Herison, A., Usman, K., Zakaria, A., & Kusumastuti, D. I. (2025). Analisis kelayakan ekonomi teknik investasi pembangunan terminal khusus dalam mendukung distribusi tambang batu basalt. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 492-506. <https://doi.org/10.29103/tj.v15i2.1290>
- Fitriani, A., Zahar, W., & El Hakim, M. (2024). Analisis pencampuran batubara pada PT. Bukit Asam Tbk dalam upaya meningkatkan kualitas batubara untuk memenuhi kriteria permintaan PLTU

- Bukit Asam Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 20(3), 165-179. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol20.No3.2024.1563>
- International Aluminium Institute. (2024). *World aluminium statistics 2020-2024*. International Aluminium Institute. <https://international-aluminium.org/statistics/>
- Jalaludin, P., Rahman, A., Indah, D., & Andirasdini, G. (2023). Implementasi metode Fuzzy Black-Scholes Real Options Valuation pada rencana investasi smelter nikel. *KUBIK: Jurnal Publikasi Ilmiah Matematika*, 8(2), 110-118. <https://doi.org/10.15575/kubik.v8i2.29738>
- Kementerian ESDM. (2024). *Arsip berita harga batu bara acuan*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita>
- Kusumo, P. A., & Mamengko, D. V. (2022). Analisis kelayakan sumberdaya batuan sebagai peluang investasi stone crusher di dataran rendah Prafi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 18(2), 105-117. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol18.No2.2022.1223>
- Oetomo, D. S., Ramdhani, R. F., & Wijaya, M. F. (2023). Analisa kelayakan finansial pembangunan incinerator limbah rumah sakit. *Jurnal Manajemen Bisnis dan Organisasi*, 2(1), 62-67. <https://doi.org/10.58290/jmbo.v2i1>
- Oetomo, D. S., Sutartiah, F., & Amalia, A. N. (2025). Feasibility study of aluminum ingot manufacturing plant development using latest technology with aluminum scrap raw material and 50,000 TPY capacity in Cilegon Industrial Area. *Jurnal Teknologika*, 15(2), 792-804. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i2.509>
- Octaviani, A. V., Nabila, A., Mayadi, F., & Saleh, M. Z. (2024). Pembatasan kebijakan ekspor batu bara bagi perekonomian Indonesia. *Journal of Management and Creative Business*, 3(1), 100-108. <https://doi.org/10.30640/jmcbus.v3i1.3538>
- Pahlevi, R., Thamrin, S., Ahmad, I., & Nugroho, F. B. (2024). Masa depan pemanfaatan batubara sebagai sumber energi di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(2), 50-60. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22973>
- Reyseliani, N., Hidayatno, A., & Purwanto, W. W. (2022). Implication of the Paris agreement target on Indonesia electricity sector transition to 2050 using TIMES model. *Energy Policy*, 169, 113184. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113184>
- Rianto, D., Oetomo, D. S., & Ramdhani, R. F. (2023). Analisis kelayakan pembangunan proyek Smelter Grade Alumina (SGA) pada PT. X. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 5(2), 246-258. <https://doi.org/10.37577/sainteks.v5i2.598>
- Setiawan, A., & Rosyid, F. A. (2024). Potensi pertumbuhan dan daya saing sektor pertambangan di Kabupaten Manokwari. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 20(2), 99-114. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol20.No2.2024.1501>
- Shinta, J. A., & Wikarya, U. (2024). The impact analysis of bauxite downstreaming on the Indonesian economy: Case study in PT Bintan Alumina Indonesia. *Journal La Sociale*, 5(2), 383-397. <https://doi.org/10.37899/journal-la-sociale.v5i2.1080>
- Sikki, N., Kuseno, T., Wijaya, S. T., Soares, S. B. D. C., Hidayat, S. A., Taliudin, Y., & Sahrial, E. (2025). Strategi peningkatan daya saing PT Borneo Alumina Indonesia pada bidang industri alumina refinery di Indonesia. *JISAMAR: Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, 9(1), 312-323. <https://doi.org/10.52362/jisamar.v9i1.1756>
- Silitonga, E. D., Purba, E. Y., Silaban, L. T. Y., Silalahi, E. N. R., & Hardinata, J. T. (2026). Pemodelan ANN berbasis ARIMA untuk peramalan impor aluminium menurut negara asal utama. *JUKTISI: Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi*, 4(3), 2272-2279. <https://doi.org/10.62712/juktisi.v4i3.842>
- Sopyan, S., Ramadhan, I. C., & Margana, R. R. (2025). Analisis kelayakan investasi mesin menggunakan metode NPV, IRR, dan payback period di salah satu UMKM pabrik roti di Bandung. *Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 15(1). <https://doi.org/10.36040/industri.v15i1.11667>
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill/Irwin.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (19th ed.). Alfabeta.

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 Kepemimpinan & Pengurusan Sekolah

**This article is licensed under:**