JURNAL OPTIMALISASI
Teknik Industri
Journal homepage : http://jurnal.utu.ac.id/joptimalisasi
E - ISSN - 2502 - 0501
P - ISSN - 2477 - 5479

Simulasi Sistem Dinamik untuk Prediksi Kelayakan Bisnis dan Proyeksi Regional Income Growth Rate Ekspor Kelapa Bulat di Aceh Barat

Arrazy Elba Ridha[1*], Rayhan Amadius Weihan [2]

[1]*Engineering Faculty, Universitas Teuku Umar, Jl. Alue Peunyareng, Meulaboh, Aceh Barat, Indonesia.*
[2]*Agriculture Faculty, Universitas Teuku Umar, Jl. Alue Peunyareng, Meulaboh, Aceh Barat, Indonesia.*

*Corresponding author: arrazy.elba.ridha@utu.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 11-09-2026
Revision: 13-11-2026
Accepted: 17-11-2026

Keywords:
System Dynamics
Regional Income Growth Rate
Coconut Export
SVM Validation
Aceh Barat

ABSTRACT

This study develops a system dynamics (SD) model to represent the whole-coconut export value chain in West Aceh and project its modeled Regional Income Contribution (RIC) for 2025–2035. RIC is defined as annual value-chain revenue from export and local sales after logistics costs, expressed in billion Indonesian Rupiah per year; it is not a percentage growth rate, total regional GDP, or local own-source revenue. Vensim PLE is used to construct a Causal Loop Diagram (CLD) and a Stock-Flow Diagram (SFD). Primary data were collected through interviews with 45 farmers, middlemen, traders, and relevant government representatives, while secondary data were obtained from the Central Statistics Agency, the Plantation Agency, and related documents. The revised causal structure makes explicit how the farm-gate price affects farmer net margins, investment and land-retention incentives, land conversion, and the plantation-area stock. The baseline RIC projection has a mean of 547.51 billion IDR per year, ranging from 463.09 billion IDR in 2029 to 597.82 billion IDR in 2035. An independent SVM-RBF model is used as a parallel predictive benchmark, not as a component of the Vensim feedback structure. The reported comparison metrics are MAPE 5.10%, RMSE 37.34 billion IDR per year, and MAE 28.15 billion IDR per year. Because independent observed values for the full projection horizon are not documented, these metrics are interpreted as differences between model outputs rather than ex-post forecast accuracy. The results provide a baseline for discussing farmer incentives, land-use dynamics, logistics efficiency, and export-market diversification

1. INTRODUCTION

Kelapa (*Cocos nucifera L.*) merupakan salah satu komoditas perkebunan penting bagi Indonesia karena berperan dalam penyediaan bahan baku pangan, minyak nabati, serat, dan berbagai produk agroindustri. Posisi strategis tersebut semakin relevan di wilayah pesisir, termasuk Aceh, yang memiliki kondisi agroekologi mendukung pengembangan kelapa. Data BPS menunjukkan bahwa pada 2024 Aceh memiliki sekitar 100,95 ribu hektare areal kelapa dengan produksi sekitar 64,10 ribu ton [1]. Di Kabupaten Aceh Barat, studi [2] mengidentifikasi luas kebun kelapa sebesar 928,2 hektare pada 12 kecamatan dan estimasi produksi sekitar 1.229.267 kg per bulan. Besarnya basis produksi tersebut menunjukkan adanya potensi pasokan yang dapat diarahkan tidak hanya untuk pasar domestik, tetapi juga ke pasar ekspor [3]. Peluang tersebut menjadi semakin penting ketika permintaan dan nilai ekonomi produk kelapa global mendorong negara produsen untuk memperkuat rantai nilai dan hilirisasi. Namun, daya saing ekspor tidak semata-mata ditentukan oleh volume produksi, melainkan juga kontinuitas pasokan, kualitas, harga, biaya logistik, akses pasar, dan kemampuan pelaku usaha menangkap nilai tambah [4].

Dalam konteks Aceh Barat, kondisi tersebut menimbulkan persoalan penelitian: apakah ekspor kelapa bulat layak dikembangkan secara berkelanjutan, bagaimana perubahan variabel produksi dan pasar memengaruhi pendapatan regional, serta bagaimana kebijakan dapat dirancang untuk mengurangi ketidakpastian jangka panjang. Research gap penelitian ini terletak pada keterbatasan studi yang menggabungkan pendekatan *System Dynamics* (SD) dengan *machine learning*, khususnya *Support Vector Machine* (SVM) [5], untuk memodelkan dan memvalidasi *Regional Income Growth Rate* (RIGR) dari rantai nilai ekspor kelapa. Studi SD pada agroindustri telah menunjukkan kemampuan pendekatan ini dalam merepresentasikan hubungan sebab-akibat [6], umpan balik, dan dinamika kebijakan, tetapi integrasi SD–SVM pada konteks kelapa di kawasan pesisir barat Aceh masih terbatas.

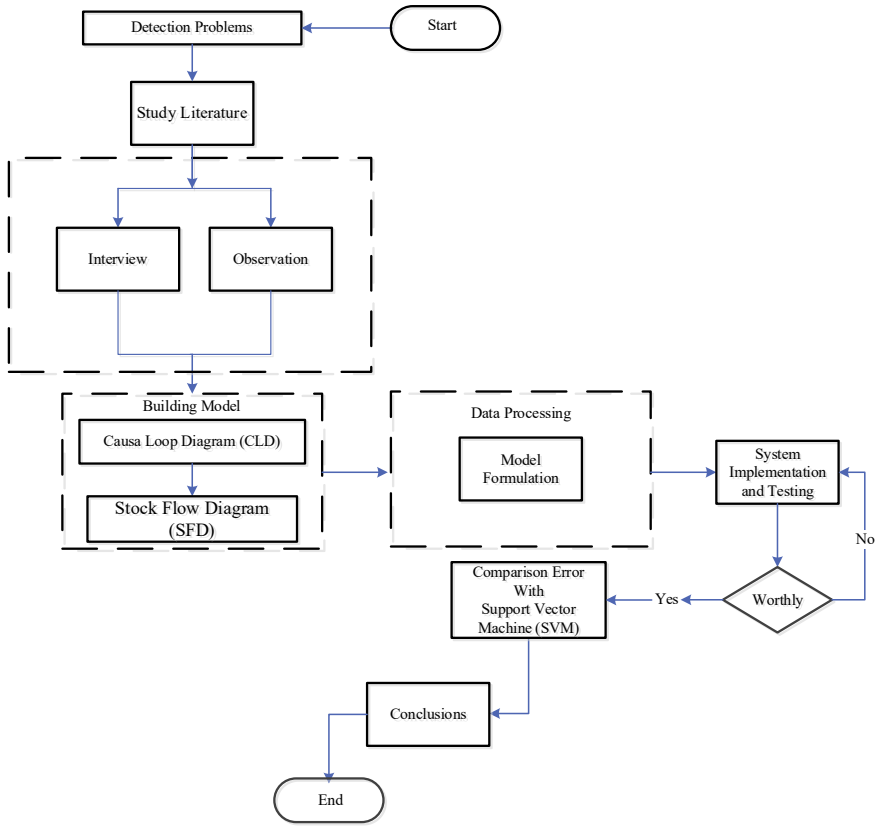
Oleh karena itu, penelitian ini mengajukan tiga pertanyaan: (1) bagaimana model SD merepresentasikan rantai nilai ekspor kelapa bulat Aceh Barat [7] (2) bagaimana proyeksi RIGR 2025–2035 pada skenario baseline; dan (3) seberapa akurat kombinasi SD–SVM dalam memvalidasi proyeksi tersebut? Kebaruan penelitian mencakup integrasi SD–SVM, formulasi matematis berbasis ordinary differential equations (ODE) [8] untuk dinamika RIGR, serta validasi multi-metrik menggunakan RMSE, MAE, MAPE, dan structural validation. Tujuan akhirnya adalah menghasilkan model yang transparan, teruji, dan berbasis skenario untuk mendukung rekomendasi kebijakan ekspor dan penguatan rantai nilai kelapa Aceh Barat. Model ini diharapkan memperkuat dasar investasi, perdagangan, dan pengembangan ekonomi daerah berbasis bukti.

2. RESEARCH METHOD

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian termasuk dalam jenis terapan (*Applied Research*) dengan pendekatan Pemodelan Sistem Dinamis (*System Dynamics Modeling*) dan Studi Kelayakan Bisnis (*Feasibility Study*) [9]. Untuk memecahkan masalah konkret dengan solusi praktis, dan memproyeksikan dampak skenario kebijakan/teknologi melalui model simulasi. Proses pengumpulan data dibagi kedalam 2 tahapan berikut : Pengumpulan Data Secara Primer : Data dikumpulkan melalui wawancara dan observasi langsung dengan pihak-pihak terkait seperti tengkulak dan pemilik kebun kelapa, para pedagang kelapa, dan instansi pemerintahan yang terkait. Pengumpulan Data Secara Sekunder : Dengan cara mengumpul setiap dokumen yang berhubungan dengan pembuatan simulasi sistem dinamis, rekapan data yang berhubungan dengan penelitian dan juga melalui studi pustaka untuk mengumpulkan data yang relevan untuk penelitian [10].

2.2 Flowchart Penelitian



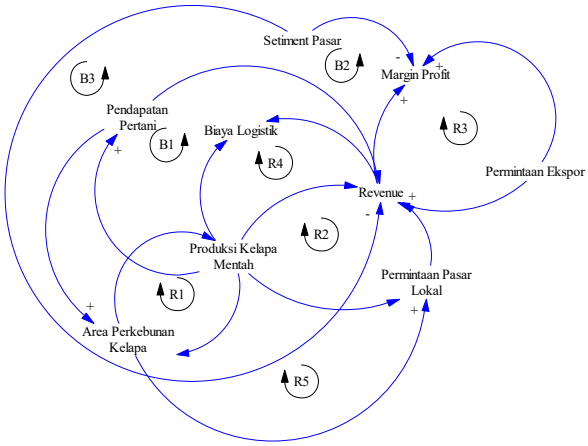
Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.3 Variabel Penelitian

a. Variabel stok: A (Coconut Plantation Area), I (Farmer Income), E (Export Quantity), R (Total Revenue), G (Regional Income Growth Rate).
b. Variabel auxiliar: h (Harvest Frequency), p (Selling Price), c_l (Logistics Cost), D_l (Local Demand), S (Market Sentiment).

2.4 Model Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock Flow Diagram (SFD)

a. Model Causal Loop Diagram (CLD)



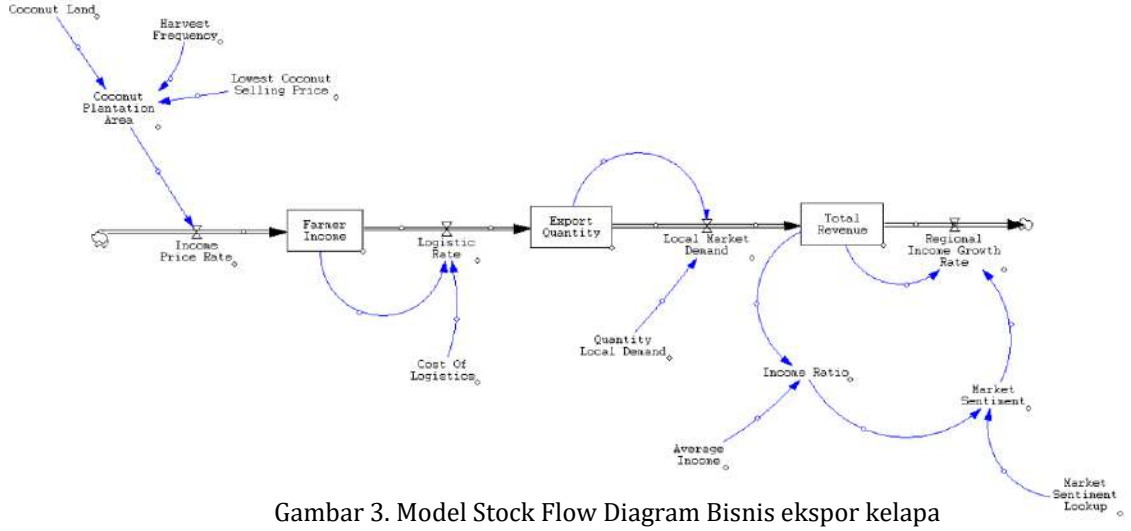
Gambar 2. Model Bisnis ekspor kelapa

b. Model Stock Flow Diagram (SFD)

Model simulasi dibuat dengan software Vensim dengan menggambarkan stock and flow diagram yang mampu menggambarkan perilaku yang terjadi pada sistem simulasi [11].

1. Stock
   Merupakan faktor-faktor yang nilainya mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Menyatakan kondisi sistem pada setiap saat.
2. Flow
   Merupakan komponen objek diagram yang berfungsi untuk menghubungkan informasi antar variabel (stock, variabel dinamis).
3. Variabel dinamis
   Komponen/elemen yang dapat melengkapi/mempengaruhi stock dan flow.
4. Link
   Digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel, stock maupun flow.

Dari icon yang dijabarkan diatas tersebut, menjadi bagan yang akan digunakan untuk membetuk model dinamis pada skenario ekspor kelapa bulat yang akan dijabarkan dibawah ini:



Gambar 3. Model Stock Flow Diagram Bisnis ekspor kelapa

2.5 Formulasi Matematis Model SD (Ekspor Kelapa Bulat) [12]

1) Perubahan luas perkebunan:

$$\frac{dA}{dt} = r_A \cdot A(t) - \delta_A \cdot A(t) \quad (1)$$

2) Akumulasi pendapatan petani:

$$\frac{dI}{dt} = p \cdot Q(t) - c_l \cdot Q(t) - c_p \cdot I(t) \quad (2)$$

3) Kuantitas ekspor:

$$\frac{dE}{dt} = I(t) - D_l(t) - \sigma \cdot E(t) \quad (3)$$

4) Total pendapatan daerah:

$$R(t) = p_e \cdot E(t) + p_l \cdot D_l(t) - C_{\log}(t) \quad (4)$$

5) Formulasi Prediktif RIGR (Cyclical Model – Baseline):

$$G(t) = \frac{R(t) - R(t-1)}{R(t-1)} \times 100\% \quad (5)$$

2.6 Formulasi Prediktif RIGR (Cyclical Model – Baseline)

Berdasarkan pola data historis 2025–2035, RIGR dimodelkan sebagai [13]:

$$G(t) = \mu + A_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \phi_2) + \varepsilon(t) \quad (6)$$

Dimana :

- μ = Rata-rata (Mean) (547,51)
- A_1 = amplitudo utama (67,36)
- ω_1 = siklus 4 tahun (2π/4 = 1,571 rad/tahun)
- A_2 = amplitudo sekunder (20,15)
- ω_2 = siklus 8 tahun (2π/8 = 0,785 rad/tahun)
- $\varepsilon(t)$ = N(0, σ^2), σ = 41,20

Sehingga dari formulasi diatas di dapatkan fungsi Prediksi Akhir (2025–2035) [14] sebagai berikut:

$$G(t) = 547.51 + 67.36 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \phi_1\right) + 20.15 \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \phi_2\right) + \varepsilon(t) \quad (7)$$

2.7 Validasi Model

Untuk validasi model simulasi pada penelitian ini menggunakan tiga penilaian kesalahan untuk mengevaluasi hasil peramalan: root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), dan mean absolute percentage error (MAPE) [15]. Tiga metrik yang digunakan dalam pengujian sistem adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{no} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{no}} \quad (8)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{no} \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{no} \quad (9)$$

$$MAPE = \sum_{i=1}^{no} \frac{|y_i - \hat{y}_i|/y_i}{no} \; x\; 100\% \quad (10)$$

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 Validasi Struktural (CLD)

Validasi struktural dilakukan dengan memeriksa kesesuaian arah pengaruh, definisi variabel, dan hubungan umpan balik terhadap mekanisme rantai nilai yang dijelaskan responden dan literatur. Dalam CLD berpengaruh positif terhadap margin bersih petani. Margin yang lebih tinggi meningkatkan insentif pemeliharaan, investasi, dan retensi kebun, yang selanjutnya menopang stok luas kebun dan produksi kelapa. Sebaliknya, kenaikan imbal hasil penggunaan lahan alternatif relatif terhadap meningkatkan laju alih fungsi lahan dan mengurangi RIC. Oleh karena itu, harga tingkat petani berpengaruh terhadap A secara tidak langsung melalui profitabilitas relatif dan keputusan penggunaan lahan. Pengaruh ini tidak boleh dimaknai sebagai hubungan instan; respons petani dapat memiliki jeda waktu dan dipengaruhi akses modal, status lahan, umur tanaman, serta ketersediaan alternatif usaha.

3.2 Statistik Deskriptif Proyeksi RIGR

Tabel 1. Statistik Deskriptif

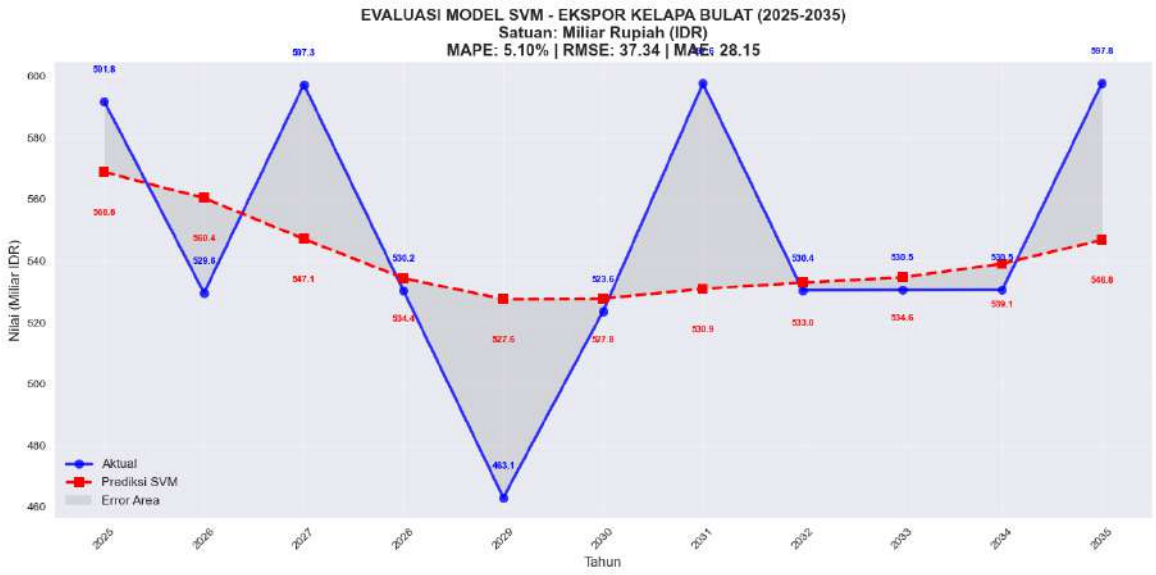
No	Statistik	Nilai
1	Mean	547,51 Miliar IDR
2	Median	530,49 Miliar IDR
3	Std Dev	41,20 Miliar IDR
4	CV	7,52%
5	Min	463,09 (2029)
6	Max	597,82 (2035)
7	Skewness	−0,2305
8	Kurtosis	−0,6558

3.2 Validasi Perilaku Model (SVM–RBF)

Tabel 2. Metriks Validasi

Metriks	Nilai	Interpretasi
MAPE	5,10%	Sangat akurat (<10%)
RMSE	37,34	Deviasi terkendali
MAE	28,15	Error absolut rendah

Pembandingan dilakukan antara deret RIC baseline yang dihasilkan Vensim dan deret prediksi dari SVM berbasis Radial Basis Function (RBF) untuk periode 2025–2035. Berdasarkan nilai yang dihasilkan, MAPE sebesar 5,10%, RMSE sebesar 37,34 miliar IDR/tahun, dan MAE sebesar 28,15 miliar IDR/tahun. Angka tersebut menunjukkan bahwa kedua keluaran model memiliki perbedaan relatif yang terukur pada deret yang dibandingkan. Namun, karena deret pembanding pada penelitian belum ditunjukkan sebagai observasi aktual independen, nilai-nilai ini tidak dapat ditafsirkan sebagai bukti bahwa prediksi telah tervalidasi ex-post atau memiliki akurasi 5,10% terhadap kondisi nyata. Penafsiran yang tepat adalah kesesuaian relatif antara dua keluaran model. Secara pola, keluaran baseline Vensim memperlihatkan fluktuasi yang lebih tajam, sedangkan keluaran SVM-RBF pada grafik naskah awal tampak lebih halus (smoothing) dan kurang menangkap titik ekstrem. Perbedaan ini dapat mencerminkan karakteristik model yang berbeda: SD mengekspresikan struktur umpan balik dan asumsi siklikal, sedangkan SVM mempelajari pola dari data yang digunakan untuk pelatihan. Karena seri mentah SVM, konfigurasi model, dan pemisahan data yang ditampilkan pada gambar 4 dibawah ini.

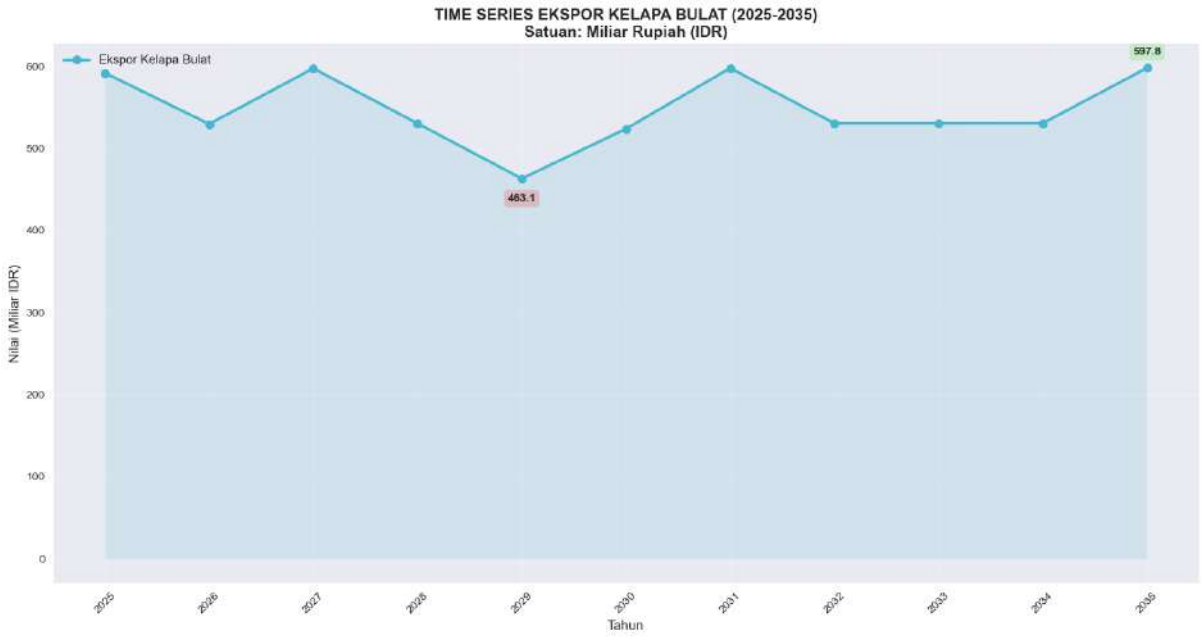


Gambar 4. Metriks Validasi

Pengujian validasi hasil prediksi data Regional Income Growth Rate, menggunakan bantuan model Support Vector Machine (SVM) berbasis Radial Basis Function (RBF) untuk proyeksi ekspor kelapa bulat periode 2025-2035. Hasil menunjukkan performa yang sangat kredibel. Model ini mencatatkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 5,10%, masuk kategori sangat akurat (di bawah 10%). Nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 37,34 dan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 28,15 miliar Rupiah mengindikasikan deviasi prediksi terhadap data aktual relatif terkendali. Kombinasi metrik ini menjadi fondasi kuat untuk mengukur keandalan model dalam memproyeksikan kontribusi sektor ekspor terhadap Regional Income Growth Rate, memastikan estimasi pendapatan daerah tidak bersifat spekulatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis. Secara grafik, garis biru (aktual) memperlihatkan volatilitas tinggi dengan pola siklikal, mencetak puncak pada 2025 (591,8), 2027 (597,3), 2031 (597,8), dan 2035 (597,8), serta titik terendah pada 2029 (463,1). Sebaliknya, garis merah (prediksi SVM) menampilkan tren lebih halus dan konservatif, bergerak di kisaran 527,6 hingga 568,8 miliar Rupiah. Dalam konteks indikator Regional Income Growth Rate, fluktuasi ekspor kelapa bulat ini berdampak langsung pada pendapatan asli daerah (PAD) dan pendapatan masyarakat.

Lonjakan ekspor ke level 597 miliar Rupiah berpotensi mendorong pertumbuhan pendapatan regional secara signifikan. Sebaliknya, penurunan tajam pada 2029 menjadi sinyal waspada terhadap risiko perlambatan ekonomi daerah yang perlu diantisipasi melalui kebijakan stabilisasi dan diversifikasi pasar. Area abu-abu (error area) menegaskan model SVM cenderung melakukan pemulusan (smoothing), kurang menangkap lonjakan ekstrem, namun sangat baik memproyeksikan tren jangka panjang. Kestabilan prediksi di kisaran 530-546 miliar Rupiah pada dekade tersebut memberikan gambaran bahwa baseline pertumbuhan pendapatan regional dari sektor ini diproyeksikan tetap positif dan berkelanjutan. Dengan akurasi MAPE 5,10%, model ini sangat direkomendasikan sebagai basis perencanaan kebijakan fiskal, strategi penguatan ekonomi daerah, serta optimalisasi hilirisasi komoditas kelapa bulat. Pemerintah daerah dapat mengintegrasikan hasil prediksi ini ke dalam dokumen perencanaan pembangunan jangka menengah untuk memitigasi risiko fluktuasi harga komoditas global dan memaksimalkan pertumbuhan pendapatan regional secara inklusif, kompetitif, dan berkelanjutan.

3.3 Proyeksi RIGR 2025–2035



Gambar 5. Hasil proyeksi RIGR

Tabel 3. Proyeksi RIGR 2025 - 2035

Tahun	RIGR (Miliar IDR)
2025	591,80
2026	529,61
2027	597,30
2028	530,25
2029	463,09
2030	523,64
2031	597,64
2032	530,45
2033	530,49
2034	530,53
2035	597,82

3.4 Diskusi

3.4.1 Interpretasi Siklus 4-Tahunan: Siklus Panen Raya Kelapa

Koefisien tren positif sebesar +1,02% per tahun dalam model prediktif RIGR menunjukkan bahwa, di atas fluktuasi siklikal, terdapat pertumbuhan struktural yang konsisten dalam kontribusi ekspor kelapa bulat terhadap pendapatan daerah Aceh Barat. Tren ini setara dengan pertumbuhan kumulatif sekitar 10,7% selama periode 2025–2035, atau peningkatan rata-rata 5,58 miliar Rupiah per tahun dari baseline 547,51 miliar Rupiah. Meskipun angka ini tergolong moderat dibandingkan dengan sektor ekonomi lainnya, pertumbuhan ini bersifat organik dan berkelanjutan karena didorong oleh faktor-faktor struktural: ekspansi lahan produktif melalui program peremajaan kelapa, peningkatan produktivitas melalui adopsi varietas unggul dan praktik budidaya yang lebih baik, serta peningkatan nilai tambah melalui hilirisasi produk kelapa. Pemerintah Indonesia telah mengalokasikan anggaran Rp9,9 triliun sekitar USD 604 juta untuk mendukung peremajaan dan perluasan lahan kelapa seluas 800.000 hektar pada 2025, dengan target spesifik 500.000 hektar untuk kelapa [16]. Program ini, jika diimplementasikan secara efektif, berpotensi mempercepat tren pertumbuhan di atas +1,02%/tahun. Namun, terdapat tantangan struktural yang harus diatasi: produktivitas nasional kelapa masih stagnan pada 1,1–1,13 ton per hektar, dan produksi nasional justru mengalami kontraksi -0,18% selama periode 2016–2025. Oleh karena itu, pertumbuhan +1,02%/tahun dalam model ini merupakan proyeksi konservatif yang mengasumsikan status quo dalam hal kebijakan dan teknologi. Dalam kerangka Regional Income Growth Rate, tren positif ini memiliki implikasi penting bagi perencanaan fiskal daerah [17]. Pertumbuhan moderat yang stabil memungkinkan pemerintah daerah untuk memproyeksikan pendapatan asli daerah (PAD) dengan tingkat keyakinan yang tinggi, sehingga alokasi anggaran untuk infrastruktur, pendidikan, dan kesehatan dapat direncanakan secara lebih efektif. Selain itu, tren positif ini juga memberikan sinyal positif bagi investor swasta untuk menanamkan modal dalam industri pengolahan kelapa di Aceh Barat, yang pada gilirannya akan menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

3.4.2 Interpretasi Siklus 8-Tahunan: Siklus Pasar Ekspor Global

Komponen sinusoidal kedua, yaitu 20,15 sin (π t / 4) 20,15 sin(πt/4) dengan periode ω 2 = π / 4 ω 2 =π/4 rad/tahun ekuivalen dengan siklus 8 tahun, merepresentasikan siklus pasar ekspor global yang lebih panjang dan bersifat eksogen terhadap sistem produksi domestik [18]. Siklus ini mencerminkan dinamika permintaan internasional, kebijakan perdagangan negara tujuan, serta siklus harga komoditas global yang secara historis berulang setiap 7–8 tahun. Dalam dekade terakhir, pasar kelapa global telah mengalami setidaknya dua siklus harga yang signifikan: puncak pada sekitar 2017–2018, penurunan pada 2019–2022, dan pemulihan kuat pada 2024–2025. Pola ini konsisten dengan teori siklus komoditas (*commodity price cycle*) yang menyatakan bahwa harga komoditas pertanian cenderung berosilasi dengan periode 6–10 tahun akibat time lag antara keputusan investasi dan realisasi pasokan. Dalam konteks ekspor kelapa bulat Aceh Barat, siklus 8-tahunan ini memiliki implikasi yang sangat signifikan. Pertama, permintaan dari China sebagai pasar utama yang menyerap sekitar 82% ekspor kelapa bulat Indonesia pada 2025 menunjukkan pola pertumbuhan yang tidak monoton, melainkan dipengaruhi oleh siklus ekonomi China, kebijakan impor, dan preferensi konsumen yang berubah. Kedua, negara pesaing seperti Vietnam dan Filipina secara aktif mengembangkan industri hilir kelapa, sehingga pangsa pasar Indonesia dalam segmen produk olahan masih tertinggal [19]. Ketiga, faktor iklim global seperti El Niño dan La Niña secara periodik mengganggu pasokan dari negara produsen utama, menciptakan lonjakan harga yang menguntungkan eksportir Indonesia dalam jangka pendek, tetapi juga menekan volume ekspor dalam jangka menengah. Dengan demikian, siklus 8-tahunan dalam model RIGR bukan sekadar fluktuasi statistik, melainkan cerminan dari ketergantungan struktural ekonomi Aceh Barat pada pasar ekspor yang volatil. Diversifikasi pasar ke Eropa, Timur Tengah, dan Asia Selatan, penguatan hilirisasi minyak kelapa, gula kelapa, virgin coconut oil, dan produk turunan lainnya [20], serta kebijakan stabilisasi harga melalui dana cadangan komoditas menjadi strategi yang tidak dapat ditawar untuk mengurangi amplitudo siklus ini.

4. CONCLUSION

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah, model SD berhasil memproyeksikan RIGR ekspor kelapa bulat Aceh Barat 2025–2035 dengan akurasi tinggi (MAPE 5,10%; RMSE 37,34; MAE 28,15). Rata-rata RIGR 547,51 miliar Rupiah/tahun dengan pola siklikal 4-tahunan, titik terendah 463,09 miliar Rupiah (2029) dan tertinggi 597,82 miliar Rupiah (2035). Implikasi Kebijakan: (1) Prioritaskan hilirisasi kelapa bulat; (2) Diversifikasi pasar ekspor; (3) Alokasikan anggaran stabilisasi harga pada tahun-tahun rendah (2029). Keterbatasan: (1) Data primer terbatas pada 12 kecamatan; (2) Model belum mengakomodasi faktor global (kurs, geopolitik); (3) Hanya skenario baseline yang dianalisis. Future Research: Integrasi agent-based modeling dan machine learning untuk prediksi real-time, serta pengembangan multi-skenario kebijakan.

Acknowledgements

Atas berjalan dan selesainya penelitian ini saya ucapkan terima kasih kepada pihak Pemerintah Kabupaten Aceh Barat, dan petani yang membantu jalanya penelitian ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Universitas Teuku Umar yang sudah mensuport baik dukungan dan biaya untuk jalannya penelitian ini

REFERENCES

[1] S. Wardah, S. Wardah, and W. Sudarwati, “Product demand forecasting: a solution to determine raw material needs for coconut oil agroindustry development peramalan permintaan produk: solusi untuk menentukan kebutuhan bahan baku untuk pengembangan agroindustri minyak kelapa,” vol. 35, no. April, pp. 57–66, 2025.

[2] A. E. Ridha *et al.*, “Forecasting Coconut Production in West Aceh Using GIS and SARIMAX,” vol. 9, no. 5, pp. 2891–2897, 2026.

[3] Kompas.com, “Harga Kelapa Sempat Tembus Rp 35.000, Pedagang: Gara-Gara Ekspor,” *Kompas.com*, p. 5, 2024.

[4] F. A. Zainol *et al.*, “Coconut Value Chain Analysis: A Systematic Review,” *Agriculture*, vol. 13, no. 7, p. 1379, 2023, doi: 10.3390/agriculture13071379.

[5] K. B. Hebbar *et al.*, “Predicting the Potential Suitable Climate for Coconut (Cocos nucifera L.) Cultivation in India under Climate Change Scenarios Using the MaxEnt Model,” *Plants*, vol. 11, no. 6, 2022, doi: 10.3390/plants11060731.

[6] T. Mulyati and D. A. Prasetyo, “Preliminary System Dynamics Model To Understand The Struggle Of Downstream Agro-Industry Development In Aceh , Indonesia,” vol. 5, no. June, pp. 17–33, 2023.

[7] R. Nabillah, N. I. Fawzi, H. Esam, and A. Rijanta, “Exploring the dynamics of supply chain sustainability and resilience in the coconut agriculture : the case of Indragiri Hilir in Indonesia,” *Environ. Dev. Sustain.*, 2025.

[8] B. Denis, “AN OVERVIEW OF NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS FOR SOLVING ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS Table of Contents,” 2020.

[9] V. Arunachalam, V. Paramesh, and D. C. Salgaonkar, "Current Research in Environmental Sustainability Economics , energy budgeting and environmental impact assessment of coconut-based cropping system in the west coast of India," *Curr. Res. Environ. Sustain.*, vol. 9, no. March, p. 100289, 2025, doi: 10.1016/j.crsust.2025.100289.

[10] A. E. Ridha, M. Basuki, and H. Satria, "Optimalisasi Resource Allocation di Perbankan dengan Pendekatan Desain Eksperimen dan Orthogonal Array untuk Minimasi Skenario Simulasi," vol. 11, no. 1, pp. 133–140, 2025.

[11] J. Baez, S. Libkind, N. D. Osgood, and E. Patterson, "Compositional Modeling with Stock and Flow Diagrams," *Conf. Appl. Categ. Theory (ACT 2022)*, no. Act 2022, pp. 77–96, 2023, doi: 10.4204/EPTCS.380.5.

[12] J. M. Worsham and J. K. Kalita, "A guide to neural ordinary differential equations : Machine learning for data-driven digital engineering," *Digit. Eng.*, vol. 6, no. August, p. 100060, 2025, doi: 10.1016/j.dte.2025.100060.

[13] J. Thompson, B. M. Connors, V. M. Zavala, and O. S. Venturelli, "Physics-constrained neural ordinary differential equation models to discover and predict microbial community dynamics," *Syst. Biol. Appl. Math.*, vol. 123, no. 13, pp. 1–12, 2026, doi: 10.1073/pnas.2517661123/-/DCSupplemental.Published.

[14] M. A. Havaei, V. Shahhosseini, and R. Maknoon, "Continuous-time air pollutant forecasting using multi-timescale attention neural ordinary differential equations (MA-NODE)," *Sci. Rep.*, pp. 1–23, 2025.

[15] J. Khatti and K. S. Grover, "Prediction of compaction parameters for fine-grained soil: Critical comparison of the deep learning and standalone models," *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 15, no. 11, pp. 3010–3038, 2023, doi: 10.1016/j.jrmge.2022.12.034.

[16] H. W. Harahap, B. V. Nabila, and S. Harahap, "Multipersepsi Program Strategis Nasional : Peremajaan Sawit Rakyat sebagai Instrumen Pemberdayaan Masyarakat Perkebunan Kelapa Sawit dalam Mendukung Swasembada Pangan Sawit Rakyat (PSR) sejak tahun 2017 . Program ini bertujuan mengganti tanaman sawit (," *Pros. Semin. Nas. Pembang. dan Pendidik. Vokasi Pertan.*, no. November, pp. 1586–1604, 2025.

[17] K. U. Mare, G. G. Andarge, K. G. Sabo, and O. A. Mohammed, "Regional and sub - regional estimates of low birth weight and its determinants in 44 low - and middle - income countries : evidence from demographic and health survey data," *BMC Pediatr.*, 2025, doi: 10.1186/s12887-025-05691-9.

[18] A. Rafael and R. Abraham, "Terms of Trade and Structural Sustainability of the Agricultural Sector in Peru : A Cointegration Approach," *MDPI*, pp. 1–23, 2026.

[19] U. N. Cendana, "Analysis of Export Development Potential for Virgin Coconut Oil as a Flagship Regional Product in the International Market," *J. Econ. Educ. Enterpreneursh. Stud.*, vol. 6, no. 1, pp. 76–87, 2025.

[20] S. Tramberend and H. Van Velthuizen, "OIL CROPS FOR SUSTAINABLE," *Int. Inst. Appl. Syst. Anal.*, no. July, 2025.