



Analisis Dinamika Interaksi Harga Saham Sektor Energi dan Infrastruktur di Pasar Modal Indonesia Menggunakan Model Lotka-Volterra

Radisha Fanni Sianti*

Universitas Pertamina, *Penulis Korespondensi: radisha.fs@universitaspertamina.ac.id

Syukrio Idaman

Universitas Pertamina

Tasmi

Universitas Pertamina

Muhammad Zaki Almuzakki

Universitas Pertamina

ABSTRAK

Fluktuasi harga saham sektor energi dan infrastruktur di pasar modal Indonesia sering menunjukkan pergerakan yang saling berkaitan, namun hubungan dinamis keduanya belum banyak dikaji secara mendalam. Kedua sektor ini memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional, di mana sektor energi menyediakan sumber data utama bagi kegiatan infrastruktur, sementara pembangunan infrastruktur turut mendorong permintaan energi. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan dinamis antara kedua sektor tersebut menggunakan model Lotka-Volterra. Objek penelitian meliputi PT. Bukit Asam Tbk (PTBA) sebagai sektor energi dan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk (SMGR) sebagai sektor infrastruktur, dengan data harga penutupan harian periode 1 Januari 2023 – 10 Oktober 2025. Analisis awal menunjukkan adanya korelasi negatif sebesar $-0,7206$ antara kedua saham, yang mengindikasikan bahwa kenaikan harga saham salah satu sektor cenderung diikuti oleh penurunan pada sektor lainnya. Hal ini mencerminkan adanya hubungan kompetitif dalam dinamika pergerakan harga kedua sektor tersebut. Model *Lotka-Volterra* kemudian diestimasi menggunakan metode *Nonlinear Least Square* (NLS), sedangkan evaluasi akurasi model dilakukan dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil evaluasi menunjukkan tingkat akurasi yang baik, yaitu pada data latih PTBA sebesar $0,54\%$ dan data latih SMGR sebesar $1,74\%$ sedangkan pada data uji PTBA sebesar $1,27\%$ dan data uji SMGR sebesar $6,28\%$. Secara keseluruhan, model *Lotka-Volterra* terbukti efektif menggambarkan interaksi non-linear dan kompetitif antar sektor serta berkontribusi pada pengembangan pendekatan dinamis dalam analisis keterkaitan sektor di pasar modal Indonesia.

Kata kunci: Pasar modal, interaksi saham, lotka-volterra, energi, infrastruktur

PENDAHULUAN

Pasar modal memegang peranan penting dalam perekonomian nasional sebagai sarana pengumpulan dana dan alokasi sumber daya ke sektor-sektor produktif, sehingga berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (Jamil & Hayati, 2021). Dalam kondisi ideal, harga saham mencerminkan nilai fundamental perusahaan dan bergerak secara efisien sesuai mekanisme pasar (Yulyanah & Manurung, 2024). *Efficient Market Hypothesis* (Fama, 1970) menyatakan bahwa harga aset keuangan secara cepat mengakomodasi informasi yang tersedia, sehingga perubahan harga merefleksikan respons pasar terhadap dinamika ekonomi dan sektoral. Dalam konteks ini, efisiensi pasar tidak hanya berkaitan dengan informasi individual perusahaan, tetapi juga dengan keterkaitan interaksi antar sektor ekonomi yang saling memengaruhi.

Di pasar modal Indonesia, keterkaitan lintas sektor memiliki implikasi penting terhadap stabilitas sistem keuangan dan kesehatan ekonomi nasional, sebagaimana

ditegaskan dalam Undang-Undang Nomor 8 tahun 1995 tentang pasar modal yang menekankan transparansi, efisiensi, dan integritas pasar (Kurniawan, 2023). Salah satu hubungan sektoral yang strategis adalah anatara sektor energi dan sektor infrastruktur. Kedua sektor ini memiliki hubungan fungsional yang erat dan saling melengkapi. Sektor energi menyediakan sumber daya utama bagi pembangunan infrastruktur, sementara peningkatan aktivitas infrastruktur turut mendorong permintaan energi secara signifikan (Bappenas, 2023). Keterhubungan ini menjadikan fluktuasi harga saham kedua sektor sering kali bergerak dengan pola yang tidak independen. Berdasarkan studi (Sari, 2024), sektor energi dan infrastruktur merupakan kelompok saham yang sangat sensitif terhadap perubahan kebijakan pemerintah, harga komoditas global, serta kondisi makroekonomi.

Keseimbangan antara sektor energi dan infrastruktur menggambarkan hubungan ekonomi yang saling mendukung antara sisi penawaran dan permintaan sebagaimana dijelaskan dalam *general equilibrium theory* serta teori interdependensi sektor ekonomi (Olivier Blanchard, 2017). Idealnya, peningkatan proyek infrastruktur akan diikuti oleh peningkatan permintaan energi secara proporsional, sedangkan ketersediaan energi yang stabil dan efisien akan memperkuat keberlanjutan pembangunan infrastruktur. Hubungan yang harmonis ini diharapkan menciptakan iklim investasi yang sehat serta menjaga stabilitas harga saham kedua sektor. Namun, kenyataannya sering terjadi ketidakseimbangan, di mana harga saham sektor energi dan infrastruktur mengalami fluktuasi dengan arah dan intensitas yang berbeda-beda. Sebagai contoh, kenaikan harga komoditas energi dapat meningkatkan pendapatan perusahaan energi, tetapi pada saat yang sama menekan kinerja sektor infrastruktur akibat meningkatnya biaya produksi.

Dinamika tersebut menunjukkan bahwa hubungan antar sektor di pasar modal bersifat timbal balik, dinamis, dan nonlinier, sehingga kurang tepat jika direpresentasikan hanya dengan pendekatan linear statis. Oleh karena itu, diperlukan model yang mampu menangkap mekanisme interaksi dua arah serta perubahan hubungan antar sektor dari waktu ke waktu. Dalam konteks ini, model *Lotka-Volterra* menjadi relevan karena secara matematis dirancang untuk menggambarkan interaksi antar entitas yang saling memengaruhi melalui sistem persamaan diferensial nonlinier. Model ini memungkinkan analisis hubungan kompetitif maupun kooperatif, serta evaluasi kestabilan dan keseimbangan sistem dalam jangka pendek.

Model *Lotka-Volterra* menawarkan kerangka analisis yang lebih dinamis dan adaptif dalam memahami interaksi antar entitas yang saling memengaruhi. Model ini awalnya dikembangkan dalam bidang ekologi untuk menggambarkan hubungan antara predator dan mangsa. Seiring perkembangannya, model *Lotka-Volterra* mulai diadaptasi ke berbagai disiplin ilmu, termasuk analisis deret waktu, karena kemampuannya merepresentasikan dinamika sistem yang saling bergantung dan berubah secara nonlinear terhadap waktu. (Ashari, 2025) memodelkan dinamika persaingan tipe mobil sejenis dari dua industri otomotif menggunakan model *Lotka-Volterra* logistik, yang memformulasikan interaksi kompetitif melalui sistem persamaan diferensial nonlinier dengan parameter laju pertumbuhan dan koefisien kompetisi silang. (Rachmawati, 2024) membangun model kooperatif *Lotka-Volterra* untuk dua perusahaan otomotif, menganalisis titik kesetimbangan dan kestabilan dari model yang dianggap sebagai sistem interaksi nonlinier. Sementara itu, (Wang, 2021) mengembangkan model kesetimbangan tiga populasi berbasis *Lotka-Volterra* tiga dimensi untuk menganalisis persaingan industri. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa perluasan model *Lotka-Volterra* ke tiga dimensi berguna dan dapat diaplikasikan secara empiris untuk memahami hubungan persaingan yang kompleks di industri.

Selain dalam bidang industri, penerapan model *Lotka-Volterra* juga telah diperluas ke ranah ekonomi dan keuangan. (Kastoris, 2025) meneliti dinamika pangsa pasar *cryptocurrency* dengan memanfaatkan sistem *Lotka-Volterra* yang diestimasi menggunakan

Deep Neural Network (DNN) untuk memperoleh parameter model secara efisien dan akurat. Di sisi lain, (Sterpu, 2023) menggunakan pendekatan pemodelan *Grey Lotka-Volterra*. Model tersebut diterapkan untuk menganalisis hubungan kompetisi dan kerja sama antara empat indikator makroekonomi yaitu produk domestik bruto, ekspor, impor, dan investasi, serta melakukan peramalan jangka pendek terhadap indikator-indikator tersebut. (Jamal, Suparno, Rashid, & Fauziah, 2024) menerapkan model *Lotka-Volterra* untuk menganalisis dinamika kompetisi antar bank dan mengevaluasi tipe kompetisi serta stabilitas sistem. (Wang & Zhang, 2025) menggunakan model *Lotka-Volterra* untuk mengkaji hubungan kompetitif dan kooperatif antar perusahaan sekuritas di pasar modal. (Solomon, 2024) menggunakan model *Lotka-Volterra* yang digeneralisasi untuk menjelaskan dinamika pasar saham dengan interaksi acak antar entitas yang menyerupai proses predator-mangsa dalam ekonomi kompleks.

Namun demikian, penerapan model *Lotka-Volterra* pada konteks pasar modal Indonesia, khususnya dalam menjelaskan keterkaitan antara sektor energi dan infrastruktur, masih sangat terbatas. Padahal, dari perspektif EMH, keterkaitan dinamis antar sektor merupakan bagian dari mekanisme pembentukan harga saham yang mencerminkan respons pasar terhadap informasi sektoral dan makroekonomi secara simultan. Dengan demikian, pendekatan *Lotka-Volterra* memberikan jembatan konseptual antara efisiensi pasar dan dinamika interaksi sektoral yang bersifat nonlinier. Penelitian ini memodelkan interaksi harga saham sektor energi dan infrastruktur di pasar modal Indonesia menggunakan model *Lotka-Volterra*. Parameter yang diestimasi mencakup laju pertumbuhan intrinsik dan koefisien interaksi antar sektor yang merepresentasikan hubungan kompetitif maupun kooperatif. Analisis difokuskan pada dinamika jangka pendek, karena model Lotka-Volterra lebih efektif dalam menangkap interaksi lokal dan temporer sebelum pengaruh eksternal seperti kebijakan makroekonomi dan guncangan global mendominasi sistem.

Dengan fokus jangka pendek tersebut, estimasi parameter diharapkan lebih stabil dan mampu merefleksikan kondisi pasar yang aktual. Sensitivitas model *Lotka-Volterra* terhadap perubahan variabel dalam horizon waktu terbatas menjadikannya alat yang sesuai untuk mengkaji fluktuasi dinamis dan hubungan lintas sektor di pasar modal Indonesia. Secara teoretis, penelitian ini memperluas penerapan pendekatan sistem dinamis nonlinier dalam analisis pasar modal. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi investor, analis, dan pembuat kebijakan dalam memahami keterkaitan sektoral secara lebih mendalam serta mendukung pengambilan keputusan investasi yang lebih informasional dan adaptif terhadap dinamika pasar.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksplanatori, yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan dinamis antara dua variabel harga saham melalui model matematis nonlinier. Pendekatan yang digunakan adalah model *Lotka-Volterra*, yaitu sistem persamaan diferensial orde pertama yang merepresentasikan interaksi dinamis antara dua entitas, di mana perubahan satu entitas bergantung pada tingkat pertumbuhan alami dan pengaruh entitas lainnya (Kau, 2024). Dalam konteks pasar modal, model ini diadaptasi untuk menggambarkan dinamika saling memengaruhi antara saham sektor energi dan sektor infrastruktur.

Populasi penelitian mencakup seluruh emiten sektor energi dan infrastruktur yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI). Namun, untuk menjaga fokus dan keterukuran model, penelitian ini menggunakan dua sampel utama, yaitu PT. Bukit Asam Tbk (PTBA) sebagai representasi sektor energi, dan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk (SMGR) sebagai representasi sektor infrastruktur. Pemilihan kedua emiten ini didasarkan pada karakteristik keterkaitan operasional di mana baru bara dari PTBA menjadi sumber energi utama dalam

proses produksi semen SMGR serta kapitalisasi pasar keduanya yang signifikan di masing-masing sektor. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa harga penutupan harian saham PTBA dan SMGR selama periode 1 Januari 2023 hingga 10 Oktober 2025. Data diperoleh dari *Yahoo Finance*, yang menyediakan informasi pasar modal global secara terbuka dan terstandar.

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem persamaan diferensial *Lotka-Volterra* dua entitas. Model ini awalnya dikembangkan secara independen oleh Alfred J. Lotka dan Vito Volterra untuk menggambarkan dinamika populasi antara dua spesies, yaitu predator dan mangsa (Diz-Pita & Espinar, 2021). Dalam konteks aslinya, model ini menjelaskan bagaimana populasi kedua spesies tersebut saling memengaruhi melalui mekanisme pertumbuhan dan interaksi yang bersifat kompetitif atau simbiotik. Secara matematis, model dasar *Lotka-Volterra* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \alpha X - \beta XY \\ \frac{dY}{dt} &= \gamma XY - \delta Y\end{aligned}$$

Keterangan:

- $\frac{dX}{dt}$: laju perubahan harga saham PTBA terhadap waktu
- $\frac{dY}{dt}$: laju perubahan harga saham SMGR terhadap waktu
- X : harga saham PTBA pada waktu t
- Y : harga saham SMGR pada waktu t
- α : tingkat pertumbuhan alami saham PTBA tanpa pengaruh saham SMGR
- β : koefisien efek negatif interaksi SMGR terhadap PTBA (kompetisi)
- γ : koefisien efek positif interaksi PTBA terhadap SMGR (simbiosis)
- δ : tingkat penurunan alami saham SMGR tanpa pengaruh saham PTBA

Model ini merepresentasikan hubungan nonlinear dan timbal balik antara dua sektor, di mana perubahan harga satu saham tidak hanya bergantung pada tren internalnya, tetapi juga dipengaruhi oleh dinamika saham lain. Estimasi parameter $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ dilakukan menggunakan metode *Nonlinear Least Square* (NLS). Metode ini bertujuan meminimalkan selisih antara nilai aktual dan nilai hasil model dengan fungsi objektif sebagai berikut (Zhang & Lu, 2020) :

$$\min_{\theta} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t(\theta))^2$$

Keterangan:

- Y_t : nilai aktual harga saham pada waktu t
- $\hat{Y}_t(\theta)$: nilai hasil model pada waktu t berdasarkan parameter θ dengan $\theta = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$
- n : jumlah data pengamatan
- $\min$: operasi minimisasi untuk memperoleh nilai parameter optimal meminimalkan error

Selanjutnya, setelah parameter model diperoleh, dilakukan tahap peramalan terhadap dinamika harga saham kedua sektor untuk melihat kemampuan model dalam menggambarkan pola fluktuasi di masa mendatang. Proses ini dilakukan dengan mensimulasikan solusi sistem *Lotka-Volterra* menggunakan parameter hasil estimasi dan kondisi awal dari data aktual. Untuk mengevaluasi akurasi model, digunakan ukuran

kesalahan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), yang dirumuskan sebagai berikut (Montgomery, 2015):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100\%$$

Keterangan:

Y_t : nilai aktual harga saham pada waktu t

$\hat{Y}_t$: nilai hasil estimasi model pada waktu t

n : jumlah data pengamatan

Nilai MAPE yang semakin kecil menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam merepresentasikan dinamika aktual harga saham dan dapat digunakan untuk menggambarkan serta memprediksi interaksi jangka pendek antara setor energi dan sektor infrastruktur di pasar modal Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

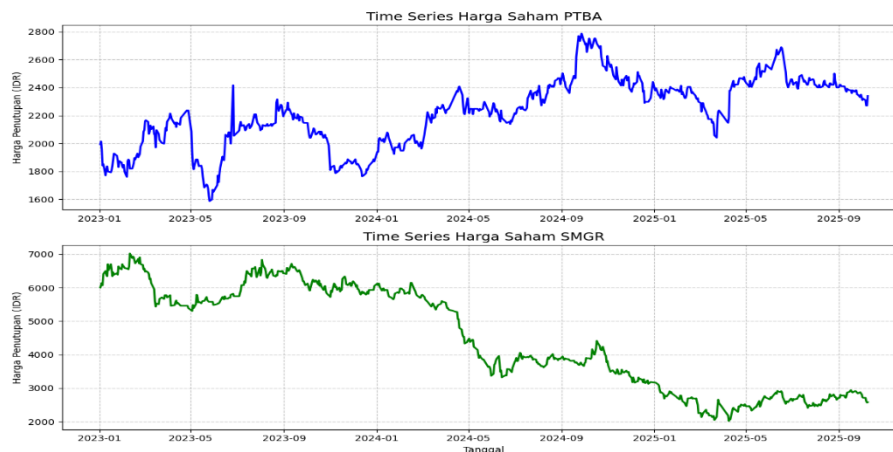
Bagian ini membahas hasil analisis empiris yang dilakukan untuk menggambarkan dinamika interaksi antara saham sektor energi (PTBA) dan sektor infrastruktur (SMGR) di pasar modal Indonesia. Analisis dilakukan melalui tahapan deskriptif, visualisasi data, korelasi, dan pemodelan nonlinier menggunakan model *Lotka-Volterra*. Analisis deskriptif bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data harga penutupan harian saham PT. Bukit Asam Tbk (PTBA) dan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk (SMGR) selama periode 1 Januari 2023 hingga 10 Oktober 2025. Ringkasan statistik ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Statistika Deskriptif PTBA dan SMGR

Statistik	PTBA	SMGR
Rata-rata	2220,81	4504, 11
Median	2239,25	4103,44
Simpangan Baku	244,42	1522,73
Minimum	1587,93	2017,92
Maksimum	2786,15	7021,68

Data menunjukkan bahwa harga saham SMGR memiliki rata-rata dan variabilitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan PTBA. Hal ini mencerminkan karakteristik sektor infrastruktur yang lebih fluktuatif akibat sensitivitas terhadap biaya energi, kebijakan fiskal pemerintah, serta dinamika permintaan proyek konstruksi nasional. Sebaliknya, harga saham PTBA menunjukkan pola yang lebih stabil, menggambarkan karakteristik sektor energi yang cenderung mengikuti tren harga komoditas global, khususnya batu bara. Visualisasi deret waktu (*time series*) digunakan untuk membantu memahami pola, tren, dan volatilitas harga saham secara intuitif. Grafik pada Gambar 1 menampilkan pergerakan harga saham PTBA dan SMGR selama periode observasi, di mana terlihat bahwa kedua saham menunjukkan arah tren yang berlawanan.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diamati bahwa saham PTBA mengalami pergerakan relatif stabil dengan kecenderungan meningkat moderat dari kisaran Rp1.800 hingga Rp2.800. Peningkatan ini diduga dipengaruhi oleh penguatan harga batu bara global, peningkatan permintaan ekspor energi, serta efisiensi operasional perusahaan. Sebaliknya, saham SMGR menunjukkan tren penurunan tajam dari kisaran Rp6.000–7.000 menjadi sekitar Rp2.800, yang kemungkinan besar disebabkan oleh melemahnya permintaan domestik semen, peningkatan biaya energi, serta tekanan kompetisi industri semen nasional.

Gambar 1. Grafik *time series* PTBA dan SMGR

Dari sudut pandang eksternal, penurunan kinerja saham sektor infrastruktur juga dapat dikaitkan dengan perlambatan pertumbuhan ekonomi global, penundaan proyek pemerintah, serta fluktuasi nilai tukar rupiah yang meningkatkan biaya impor bahan baku. Di sisi lain, sektor energi mendapatkan keuntungan relatif karena kenaikan harga komoditas batu bara dunia pasca krisis energi global. Pola kecenderungan naiknya saham PTBA bersamaan dengan turunnya saham SMGR mengindikasikan adanya hubungan negatif dan bersifat nonlinear antara keduanya. Hal ini mencerminkan interaksi kompetitif antar sektor, di mana penguatan pada sektor energi dapat berdampak pada peningkatan biaya produksi semen dan penurunan profitabilitas sektor infrastruktur. Fenomena ini memberikan dasar empiris yang kuat untuk menerapkan pemodelan *Lotka-Volterra*, yang mampu menangkap interaksi timbal balik antar entitas ekonomi dalam konteks kompetisi dan simbiosis dinamis.

Untuk mengidentifikasi hubungan antara pergerakan harga saham PTBA dan SMGR, dilakukan uji korelasi *Pearson* dengan hipotesis sebagai berikut:

Tabel 2. Uji Korelasi *Pearson* PTBA dan SMGR

	Nilai Korelasi	p-value
PTBA vs SMGR	-0,7206	0,000

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai korelasi yang sangat kuat dan signifikan secara statistik antara pergerakan harga saham PTBA dan SMGR, dengan arah negatif. Hubungan negatif tersebut menunjukkan bahwa ketika harga saham PTBA (sektor energi) mengalami kenaikan, harga saham SMGR (sektor infrastruktur) cenderung mengalami penurunan, dan sebaliknya. Secara ekonomi, hal ini dapat dijelaskan oleh efek biaya input, di mana kenaikan harga energi (batubara) meningkatkan biaya produksi semen, yang pada gilirannya menekan profitabilitas sektor infrastruktur. Oleh karena itu, hubungan negatif ini menjadi dasar yang kuat untuk menerapkan model *Lotka-Volterra*, karena model tersebut secara matematis mampu merepresentasikan dinamika kompetisi maupun simbiosis antar sektor yang bersifat nonlinear dan saling bergantung sepanjang waktu.

Selanjutnya, dilakukan tahap prapemrosesan data untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam pemodelan *Lotka-Volterra* bersih dan siap diolah. Penelitian ini menggunakan data periode 1 Agustus 2025 hingga 10 Oktober 2025 untuk menjaga relevansi dan kestabilan model dalam menangkap dinamika jangka pendek antar sektor. Data dibagi menjadi dua bagian, yaitu data latih (1 Agustus 2025 – 1 Oktober 2025) dan data uji (1 Oktober 2025 – 10 Oktober 2025). Proses normalisasi data kemudian dilakukan pada data latih dengan tujuan untuk menyamakan skala antar variabel agar perbedaan satuan atau rentang nilai tidak menyebabkan bias dalam estimasi parameter model.

Pada model *Lotka-Volterra* terdapat sistem diferensial diintegrasikan numerik (Runge-Kutta orde 4) untuk menghasilkan $\hat{X}_t(\theta), Y_t(\theta)$ bagi vektor parameter $\theta = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$. Parameter diestimasi dengan *Nonlinear Least Square* (NLS) dengan hasil estimasi parameter sebagai berikut:

Tabel 3. Estimasi Parameter Model Lotka-Volterra

Parameter	Koef
α	0,0159
β	0,0179
γ	0,1888
δ	0,2000

Nilai parameter pada tabel 3 merepresentasikan hubungan dinamis yang bersifat asimetris dan nonlinear antara saham PTBA dan SMGR. Parameter $\alpha = 0,0159$ menandakan bahwa secara intrinsik, harga saham PTBA memiliki kecenderungan meningkat seiring waktu karena faktorn internal perusahaan seperti kinerja keuangan, efisiensi produksi, dan prospek permintaan energi, sedangkan $\beta = 0,0179$ menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas SMGR dapat menyebabkan tekanan terhadap harga saham PTBA, misalnya melalui kenaikan biaya energi atau pergeseran investasi antar sektor. Sebaliknya, $\gamma = 0,1888$ mengindikasikan bahwa ketersediaan energi dari PTBA berperan penting dalam mendukung ekspansi sektor infrastruktur; semakin stabil harga energi, semakin besar peluang pertumbuhan SMGR, dan $\delta = 0,2000$ menunjukkan bahwa tanpa kontribusi sektor energi, pertumbuhan saham SMGR cenderung menurun akibat meningkatnya biaya produksi dan ketergantungan terhadap pasokan energi.

Hasil estimasi model *Lotka-Volterra* menunjukkan bahwa titik keseimbangan (*equilibrium point*) sistem terjadi pada $X^* = 0,9440$ untuk sektor energi (PTBA) dan $Y^* = 0,8888$ untuk sektor infrastruktur (SMGR). Nilai ini merepresentasikan kondisi relatif di mana kedua sektor mencapai keadaan stabil secara proporsional, yaitu ketika laju perubahan harga masing-masing sektor mendekati nol. Analisis kestabilan dilakukan dengan mengevaluasi matriks *Jacobian* pada titik ekuilibrium, yang menghasilkan nilai sebagai berikut:

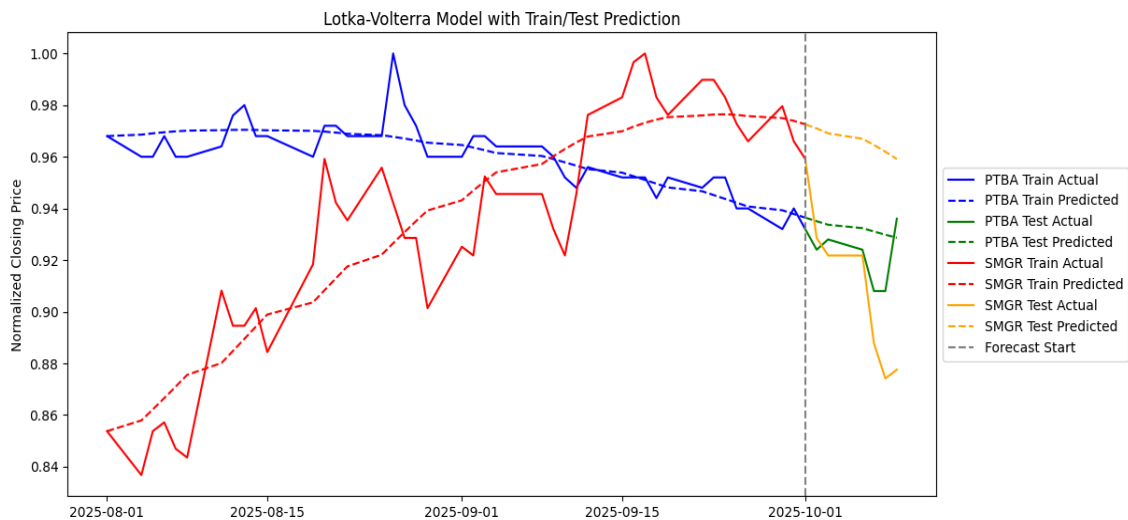
$$J = \begin{bmatrix} 0 & -0,0169 \\ 0,1777 & 0 \end{bmatrix}$$

Dari matriks tersebut diperoleh nilai eigen kompleks konjugat sebesar $\lambda_{1,2} = \pm 0,0548i$. Nilai eigen yang bersifat imajiner murni (tanpa komponen real) menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi osilatori netral, yaitu sistem cenderung berfluktuasi secara periodik di sekitar titik ekuilibrium tanpa mengalami divergensi maupun konvergensi. Dengan kata lain, dinamika interaksi antara sektor energi (PTBA) dan sektor infrastruktur (SMGR) bersifat stabil berosilasi, menggambarkan adanya siklus fluktuatif jangka pendek di mana kenaikan harga pada satu sektor diikuti oleh penurunan relatif pada sektor lainnya, dan sebaliknya.

Secara ekonomi, hasil ini mengindikasikan bahwa kedua sektor memiliki hubungan kompetitif namun saling menyeimbangkan dalam jangka pendek. Fluktuasi harga yang terjadi bukanlah ketidakteraturan acak, melainkan respons sistemik dari mekanisme pasar yang saling mempengaruhi. Kondisi ini menggambarkan bahwa ketika salah satu sektor mengalami penguatan harga, sektor lainnya cenderung melemah untuk sementara waktu, sebelum keduanya kembali mendekati titik keseimbangan. Pola seperti ini penting untuk dipahami oleh investor karena menunjukkan adanya siklus rotasi sektor (*sectoral rotation*)

yang dapat dimanfaatkan dalam strategi diversifikasi portofolio jangka pendek di pasar modal Indonesia.

Setelah diperoleh hasil analisis kestabilan yang menunjukkan bahwa sistem berada dalam kondisi osilatori netral, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dan peramalan untuk melihat bagaimana dinamika kedua sektor berkembang sepanjang periode pengamatan. Dengan memasukkan parameter hasil estimasi serta nilai awal PTBA dan SMGR pada data latih, diperoleh solusi numerik model *Lotka-Volterra* yang merepresentasikan prediksi pergerakan harga saham kedua emiten.



Gambar 2. Plot Time Series Prediksi Latih dan Uji

Hasil simulasi memperlihatkan pola fluktuasi yang konsisten dengan perilaku sistem osilatori yang telah teridentifikasi sebelumnya yakni pergerakan harga yang saling berlawanan namun tetap berputar di sekitar titik keseimbangan dinamis. Visualisasi hasil prediksi disajikan pada Gambar 2, yang memperlihatkan kesesuaian antara nilai aktual dan nilai prediksi pada periode pelatihan maupun pengujian. Berikut ini adalah hasil performa model dalam mengukur tingkat akurasi pada data latih dan data uji:

Tabel 4. Performa Peramalan PTBA dan SMGR

	Data	MAPE
Data Latih	PTBA	0,54%
	SMGR	1,74%
Data Uji	PTBA	1,27%
	SMGR	6,28%

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan nilai MAPE, model menunjukkan performa yang sangat baik pada periode pelatihan dengan tingkat kesalahan yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa model *Lotka-Volterra* dengan parameter hasil estimasi mampu merepresentasikan dinamika historis kedua emiten dengan cukup akurat. Namun, pada periode pengujian akurasi model menurun. Penurunan akurasi ini menunjukkan bahwa meskipun model dapat menangkap hubungan kompetitif-simbiotik antara sektor energi dan infrastruktur selama periode historis, sensitivitasnya terhadap perubahan kondisi pasar cukup tinggi.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara sektor energi (PTBA) dan infrastruktur (SMGR) bersifat negatif dan dinamis dengan korelasi kuat ($r = -0,7206$), mencerminkan pola interaksi kompetitif sebagaimana diasumsikan dalam model *Lotka-Volterra*. Estimasi parameter menghasilkan $\alpha = 0,0159$, $\beta = 0,0179$, $\gamma = 0,1888$ dan $\delta = 0,2000$, yang menunjukkan adanya pengaruh timbal balik antara kedua sektor. Analisis kestabilan di sekitar titik keseimbangan dengan nilai eigen kompleks mengindikasikan sifat osilatori, yakni fluktuasi periodik di sekitar keseimbangan tanpa mencapai kondisi stabil. Model menunjukkan akurasi tinggi pada data latih dan tetap mampu menangkap pola umum interaksi pada data uji meskipun akurasinya menurun. Temuan ini mengonfirmasi bahwa hubungan lintas sektor di pasar modal Indonesia bersifat nonlinear dan siklis.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, analisis dibatasi pada dua saham yang merepresentasikan sektor energi dan infrastruktur, sehingga hasilnya belum sepenuhnya mencerminkan dinamika keseluruhan sektor atau pasar modal Indonesia secara agregat. Kedua, parameter model diasumsikan konstan sepanjang periode pengamatan, sehingga belum mampu menangkap perubahan struktural pasar yang dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kebijakan pemerintah, fluktuasi harga komoditas global, dan kondisi makroekonomi. Ketiga, fokus analisis pada dinamika jangka pendek menyebabkan kemampuan model dalam memprediksi perilaku jangka panjang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pendekatan *hybrid* seperti kombinasi *Lotka-Volterra* dengan metode *machine learning* atau adaptasi parameter dinamis agar model lebih responsif terhadap perubahan pasar dan mampu meningkatkan kemampuan prediksi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, A. (2025). *Pemodelan dinamika persaingan tipe mobil sejenis dari dua industri otomotif menggunakan model dinamik Lotka–Volterra* (Tugas akhir, Program Studi Ilmu Komputer). Universitas Pertamina.
- Bappenas. (2023). *Independent assessment of Indonesia's energy infrastructure sector*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Blanchard, O., & Johnson, D. R. (2017). *Macroeconomics*. Pearson.
- Dwipayana, I. G. N. A. P. (2017). Pengujian Efisiensi Pasar di Bursa Efek Indonesia. *E-Jurnal Manajemen Unud*, 6(4), 2105-2132.
- Diz-Pita, E., & Espinar, M. O. (2021). Predator–prey models: A review of some recent advances. *Mathematics*, 9(14), Article 1682. <https://doi.org/10.3390/math9141682>
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. <https://doi.org/10.2307/2325486>
- Jamal, S. W., Suparno, Rashid, U. K., & Fauziah, F. (2024). Competition dynamics of market share for assets in the banking industry using the Lotka–Volterra model approach. *Etikonomi: Jurnal Ekonomi dan Keuangan*, 23(1), 45–60.
- Jamil, P. C., & Hayati, R. (2021). Pasar modal dan penanaman modal asing di Indonesia. *Journal of Economic, Business and Accounting*, 5(1), 77–89.
- Kastoris, D. (2025). Neural network-informed Lotka–Volterra dynamics for cryptocurrency market analysis. *Applied Sciences*, 15(2), Article 845. <https://doi.org/10.3390/app15020845>
- Kau, K. (2024). Predicting market share: Application of alternative Lotka–Volterra competition model. *SIAM Undergraduate Research Online*, 17, 55–70.
- Kurniawan, I. O. (2023). Tinjauan yuridis terhadap penerapan prinsip keterbukaan di dalam pasar modal sebagai bentuk perlindungan hukum terhadap investor ditinjau dari UU No. 8 Tahun 1995 tentang Pasar Modal. *Jurnal Commerce Law*, 3(2), 145–158.

- Otoritas Jasa Keuangan. (1995). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1995 tentang Pasar Modal*. <https://www.ojk.go.id>
- Rachmawati, Z. F. (2024). Analysis of the cooperative Lotka–Volterra model in the case of two automotive industries in Indonesia. *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Application*, 18(1), 1–12.
- Rahmat Heru Setianto, & Tandelilin, E. (2011). The behavior of Indonesian stock market: Structural breaks and nonlinearity. *Gadjah Mada International Journal of Business*, 13(3), 209–226.
- Sari, G. J. (2024). Investigating BI rate volatility and inflationary pressure as main determinants of SMGR stock price movements. *Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Pendidikan*, 4(6), 501–512.
- Solomon, S. (2024). Generalized Lotka–Volterra (GLV) models of stock markets. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.XXXX>
- Sterpu, M. (2023). A generalization of the grey Lotka–Volterra model and application to GDP, export, import and investment for the European Union. *Mathematics*, 11(18), Article 3897. <https://doi.org/10.3390/math11183897>
- Wang, C., & Zhang, Y. (2025). Analysis of competitive and cooperative relationships among securities companies based on the three-species Lotka–Volterra model. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, 12(1), 11001–11010.
- Wang, S.-Y. (2021). Competition analysis on industry populations based on a three-dimensional Lotka–Volterra model. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article 6643258. <https://doi.org/10.1155/2021/6643258>
- Yulyanah, & Manurung, A. H. (2024). Analysing the direction of stock exchange cycle. *Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics*, 7(2), 155–170.
- Zhang, Y., & Lu, Z. (2020). A nonlinear least squares approach for parameter estimation of Lotka–Volterra systems. *Applied Mathematical Modelling*, 83, 202–217. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.02.004>