

Pemodelan Saham Sektor Energi Menggunakan *Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive (NHMS-AR)* dengan Probabilitas Transisi *Non-Homogeneous*

Adam Fahmi Fandisyah¹ , Nur Iriawan¹ , Kartika Fithriasari¹

¹ Departemen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Abstract: The movement of energy sector stock *returns* is dynamic and influenced by external factors that cause changes in market conditions over time. These characteristics indicate the existence of regime shifts that cannot be optimally modeled using conventional linear time series. Therefore, this study aims to model energy sector stock *returns* in Indonesia using the Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive (NHMS-AR) approach with a focus on the transition probability between regimes influenced by exogenous variables. The data used are monthly logarithmic *returns* of PT Perusahaan Gas Negara Tbk (PGAS), PT Adaro Energy Indonesia Tbk (ADRO), and PT Medco Energi Internasional Tbk (MEDC) for the period September 2008 to December 2024. The exogenous variables used include the Climate Risk Index, Geopolitical Risk (GPR), and Global Economic Policy Uncertainty (GEPU). The NHMS-AR model is implemented with the assumption that exogenous variables influence the probability of regime shifts, while the autoregressive structure in each regime is homogeneous. The results show that the dynamics of energy sector stock *returns* can be represented by two hidden regimes: a stable regime and a volatile regime. Transition probability estimates indicate that CRI and GEPU increase the probability of switching between regimes, whereas GPR exhibits an asymmetric effect, depending on the direction of the transition. Furthermore, the volatile regime has a higher degree of persistence than the stable regime. The main contribution of this study lies in the application of NHMS-AR with non-homogeneous transition probabilities to Indonesian energy sector stocks, as well as in presenting empirical evidence on the role of external factors in shaping regime switching dynamics in emerging markets.

Keywords: Energy sector, Exogenous variables, NHMS-AR, Stock *returns*, Transition probability

Abstrak: Pergerakan *return* saham sektor energi bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh faktor eksternal yang menyebabkan perubahan kondisi pasar dari waktu ke waktu. Karakteristik tersebut mengindikasikan adanya peralihan rezim yang tidak dapat dimodelkan secara optimal menggunakan deret waktu linier konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memodelkan *return* saham sektor energi di Indonesia menggunakan pendekatan Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive (NHMS-AR) dengan fokus pada probabilitas transisi antar rezim yang dipengaruhi oleh variabel eksogen. Data yang digunakan berupa *return* logaritmik bulanan saham PT Perusahaan Gas Negara Tbk (PGAS), PT Adaro Energy Indonesia Tbk (ADRO), dan PT Medco Energi Internasional Tbk (MEDC) selama periode September 2008 hingga Desember 2024. Variabel eksogen yang digunakan meliputi *Climate Risk Index*, *Geopolitical Risk* (GPR), dan *Global Economic Policy Uncertainty* (GEPU). Model NHMS-AR diterapkan dengan asumsi bahwa variabel eksogen memengaruhi probabilitas perpindahan rezim, sementara struktur autoregresif pada masing-masing rezim bersifat homogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinamika *return* saham sektor energi dapat direpresentasikan melalui dua rezim tersembunyi, yaitu rezim stabil dan rezim volatil. Estimasi probabilitas transisi mengindikasikan bahwa CRI dan GEPU meningkatkan peluang perpindahan antar rezim,

Corresponding author:

Adam Fahmi Fandisyah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia, Email: adamfahmifandisyah@gmail.com

Copyright © The Author(s). 2025 Open Access This is an open access article under the (CC BY-SA 4.0) license.

Received : 19-12-2025, Revised : 28-12-2025, Accepted : 30-12-2025. DOI: <https://doi.org/10.25217/numerical.v9.i2.7159>

sedangkan GPR menunjukkan pengaruh asimetris tergantung arah transisi. Selain itu, rezim volatil memiliki tingkat persistensi yang lebih tinggi dibandingkan rezim stabil. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan NHMS-AR dengan probabilitas transisi non-homogeneous pada saham sektor energi Indonesia, serta penyajian bukti empiris peran faktor eksternal dalam membentuk dinamika perpindahan rezim di pasar berkembang.

Kata Kunci: NHMS-AR, Probabilitas transisi, *Return* saham, Sektor energi, Variabel eksogen.

Pendahuluan

Investasi merupakan kegiatan penempatan dana atau sumber daya dengan harapan memperoleh keuntungan di masa mendatang, khususnya melalui instrumen keuangan seperti saham yang merepresentasikan kepemilikan terhadap suatu perusahaan (Gitman et al., 2011; Hafer & Hein, 2007). Saham menjadi salah satu instrumen investasi yang banyak diminati karena menawarkan potensi *return* yang relatif tinggi, tingkat likuiditas yang baik, serta peluang memperoleh pendapatan pasif berupa dividen (Febiyola et al., 2024). Di sisi lain, saham juga memiliki tingkat risiko yang tinggi karena nilai dan pergerakannya sangat dipengaruhi oleh kondisi internal perusahaan maupun dinamika eksternal pasar. Hubungan antara risiko dan *return* yang bersifat linier menuntut pemahaman yang lebih mendalam terhadap perilaku harga saham agar keputusan investasi dapat dilakukan secara lebih terukur (Kungwani, 2014).

Harga saham terbentuk melalui mekanisme pasar yang dinamis dan sangat dipengaruhi oleh siklus bisnis. Perubahan kondisi ekonomi, kebijakan pemerintah, serta ketidakpastian global dapat memicu volatilitas yang tinggi dan menyebabkan pergeseran struktur pergerakan harga saham. Faktor-faktor tersebut mencakup faktor internal, seperti kinerja dan laporan keuangan perusahaan, serta faktor eksternal, seperti tingkat suku bunga, inflasi, nilai tukar, dan kebijakan publik (Oktavia & Nugraha, 2018). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah dapat memberikan dampak signifikan terhadap dinamika pasar saham, baik melalui perubahan likuiditas maupun *return* saham (Agustina et al., 2018; Handayani & Prastyo, 2020).

Untuk menganalisis dinamika tersebut, pemodelan saham berbasis analisis deret waktu banyak digunakan karena mampu memanfaatkan informasi historis dalam menggambarkan pola dan karakteristik pergerakan harga saham (Wei, 2019). Namun, data ekonomi dan keuangan sering kali menunjukkan sifat tidak stasioner serta mengalami perubahan struktur secara tiba-tiba akibat pergeseran kondisi atau rezim yang tidak dapat diamati secara langsung. Kondisi ini menunjukkan keterbatasan model linier konvensional dalam merepresentasikan dinamika pasar yang kompleks.

Model *Markov Switching Autoregressive* (MS-AR), yang diperkenalkan oleh Hamilton (1989), dikembangkan untuk mengakomodasi perubahan struktur tersebut dengan menggabungkan model *autoregressive* dan proses *Markov* laten. Model ini telah banyak diterapkan dalam analisis ekonomi dan keuangan, termasuk dalam kajian siklus bisnis (Ahmad & Kamaiah, 2010) volatilitas aset kripto (Ashariansyah et al., 2020), serta pergerakan harga saham di berbagai sektor (Prihartani et al., 2020). Meskipun demikian, model MS-AR konvensional mengasumsikan probabilitas transisi antar rezim bersifat homogen atau konstan sepanjang waktu, sehingga kurang fleksibel dalam menggambarkan dinamika pasar yang dipengaruhi oleh faktor eksternal yang berubah-ubah.

Sebagai pengembangan dari pendekatan tersebut, model *Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive* (NHMS-AR) memungkinkan probabilitas transisi antar rezim bergantung pada kovariat tertentu (Ailliot et al., 2015). Pendekatan ini memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam memodelkan perubahan rezim karena mekanisme

transisi dapat menyesuaikan diri terhadap kondisi eksternal yang dinamis. Penerapan NHMS-AR telah menunjukkan kinerja yang baik dalam menangkap dinamika sistem nonlinier pada berbagai bidang, seperti meteorologi (Ailliot et al., 2015) dan hidrologi (Spezia et al., 2023), dengan estimasi parameter yang umumnya dilakukan menggunakan algoritma *Expectation–Maximization* (EM).

Model NHMS-AR mengasumsikan bahwa setiap deret waktu dapat berpindah di antara beberapa keadaan laten (*hidden states*) yang merepresentasikan rezim berbeda, di mana peralihan antar rezim dikendalikan oleh suatu proses *Markov*. Struktur ini memungkinkan model menangkap perilaku dinamis yang mencerminkan kompleksitas sistem dunia nyata yang tidak selalu dapat diamati secara langsung (Li & Zhang, 2023). Selain itu, NHMS-AR mampu mengakomodasi pengaruh heterogen dari variabel yang berbeda satu sama lain, sehingga sangat relevan untuk data deret waktu yang dipengaruhi oleh interaksi yang tidak seragam dan faktor eksternal yang berubah-ubah (Li & Zhang, 2023).

Keunggulan lain dari NHMS-AR terletak pada aspek peramalan. Dengan menggabungkan kontribusi masing-masing rezim melalui bobot optimal yang ditentukan berdasarkan probabilitas transisi, model ini mampu menghasilkan prakiraan yang lebih presisi dibandingkan metode deret waktu tradisional yang mengasumsikan struktur tetap sepanjang waktu (Cavicchioli, 2025). Dalam praktiknya, NHMS-AR telah diaplikasikan secara luas, termasuk dalam peramalan permintaan pariwisata, di mana model ini terbukti efektif dalam menangkap pola siklus serta perbedaan elastisitas antar rezim (Botha & Saayman, 2022).

Dari sisi teoritis, pengembangan model NHMS-AR juga didukung oleh kajian mengenai kondisi stasionaritas dan ergodisitas, yang penting untuk menjamin keandalan inferensi statistik dan kestabilan perilaku model dalam jangka panjang (Aknouche & Francq, 2022). Meskipun demikian, penerapan NHMS-AR juga menghadirkan tantangan, terutama terkait dengan pemilihan jumlah rezim yang optimal serta meningkatnya kompleksitas komputasi dalam proses estimasi dan interpretasi parameter model (Chavez-Martinez et al., 2023). Oleh karena itu, kajian empiris yang secara khusus menitikberatkan pada mekanisme probabilitas transisi menjadi penting untuk memastikan implementasi NHMS-AR yang efektif dan interpretatif.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan keunggulan model NHMS-AR dalam menangkap dinamika nonlinier dan perubahan rezim pada data deret waktu, sebagian besar kajian empiris masih berfokus pada pemodelan probabilitas transisi antar rezim yang bergantung pada kovariat eksternal. Pendekatan tersebut menekankan kapan dan seberapa besar peluang sistem berpindah antar rezim, namun relatif terbatas dalam mengkaji bagaimana faktor eksternal secara langsung memengaruhi karakteristik pembentukan *return* di dalam masing-masing rezim. Selain itu, penerapan NHMS-AR pada saham sektor energi di Indonesia dengan mempertimbangkan risiko geopolitik, ketidakpastian kebijakan ekonomi global, dan risiko iklim sebagai kovariat masih sangat terbatas. Padahal, sektor energi memiliki sensitivitas tinggi terhadap tekanan eksternal tersebut, sehingga diperlukan pendekatan yang mampu menangkap heterogenitas perilaku *return* dalam setiap rezim secara lebih komprehensif.

Dalam penelitian ini, pendekatan NHMS-AR diterapkan pada saham sektor energi yang tercatat di Bursa Efek Indonesia, yaitu PT Perusahaan Gas Negara Tbk (PGAS), PT Adaro Energy Indonesia Tbk (ADRO), dan PT Medco Energi Internasional Tbk (MEDC). Fokus utama diarahkan pada pemodelan probabilitas transisi antar rezim dalam kerangka NHMS-AR dengan mempertimbangkan pengaruh variabel eksogen berupa risiko geopolitik (*Geopolitical Risk/GPR*), ketidakpastian kebijakan ekonomi global (*Global*

Economic Policy Uncertainty/GEPU), dan risiko iklim (*Climate Risk Index*/CRI) sebagai kovariat dalam fungsi transisi. Dengan memasukkan kovariat tersebut, model diharapkan mampu merepresentasikan dinamika perubahan rezim *return* saham sektor energi secara lebih adaptif terhadap kondisi eksternal yang memengaruhi pasar.

Metode

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa *return* saham bulanan dari perusahaan sektor energi yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia, yaitu PT Perusahaan Gas Negara Tbk (PGAS), PT Adaro Energy Indonesia Tbk (ADRO), dan PT Medco Energi Internasional Tbk (MEDC). Pemilihan ketiga saham tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa masing-masing perusahaan merepresentasikan subsektor energi yang berbeda serta memiliki karakteristik volatilitas yang relatif tinggi. Data harga saham diperoleh dari situs resmi penyedia informasi keuangan <https://finance.yahoo.com> dalam bentuk harga penutupan yang disesuaikan (*adjusted close*). Selanjutnya, data harga tersebut diolah menjadi *return* logaritmik bulanan. Periode pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah September 2008 hingga Desember 2024, sehingga data yang dianalisis mencerminkan dinamika pasar energi dalam jangka panjang.

Selain data *return* saham, penelitian ini juga memasukkan variabel eksogen yang diduga memengaruhi dinamika pergerakan saham sektor energi. Variabel tersebut meliputi Geopolitical Risk (GPR), Global Economic Policy Uncertainty (GEPU), dan Climate Risk Index. Ketiga indeks tersebut diperoleh dari sumber resmi policyuncertainty.com dan digunakan untuk merepresentasikan faktor eksternal berupa risiko geopolitik, ketidakpastian kebijakan ekonomi global, serta risiko iklim yang berpotensi memengaruhi volatilitas pasar energi dan pasar saham.

Tahapan awal analisis meliputi pengumpulan dan pra-pemrosesan data, yang mencakup perhitungan *return* logaritmik bulanan dari data harga saham. *Return* logaritmik (Wei, 2019) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Y_{it} = \ln \left(\frac{P_{it}}{P_{i,t-1}} \right) \quad (1)$$

dengan Y_{it} menyatakan *return* saham ke- i pada periode ke- t , P_{it} merupakan harga penutupan saham ke- i pada periode ke- t , dan $P_{i,t-1}$ adalah harga penutupan saham ke- i pada periode ke- $t - 1$. Penggunaan *return* logaritmik dipilih karena memiliki sifat aditif antar periode waktu serta lebih mendekati asumsi normalitas dibandingkan *return* sederhana, sehingga lebih sesuai untuk analisis statistik dan pemodelan deret waktu.

Model Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive (NHMS-AR) dengan probabilitas transisi merupakan pengembangan dari model Markov Switching Autoregressive (MS-AR). Perbedaan utama antara kedua model tersebut terletak pada cara memodelkan probabilitas transisi antar rezim. Pada model MS-AR, probabilitas transisi bersifat konstan sepanjang waktu dan tidak dipengaruhi oleh variabel eksternal. Sebaliknya, pada model NHMS-AR Transition, probabilitas transisi antar rezim bergantung pada kovariat eksternal Z_t , sehingga bersifat dinamis dan dapat berubah dari waktu ke waktu mengikuti kondisi lingkungan.

Untuk menghubungkan kovariat dengan probabilitas transisi, digunakan fungsi link logit yang mentransformasikan kombinasi linear kovariat menjadi nilai probabilitas dalam rentang (0,1). Bentuk umum fungsi logit untuk probabilitas transisi (Ailliot et al., 2015) didefinisikan sebagai:

$$\text{logit} \left(q_{ij}(t) \right) = \log \left(\frac{q_{ij}(t)}{1 - q_{ij}(t)} \right) = \alpha_{ij} + \beta_{ij} Z_t \quad (2)$$

dengan α_{ij} merupakan intercept logit yang menunjukkan kecenderungan dasar perpindahan dari rezim i ke rezim j tanpa pengaruh kovariat, sedangkan β_{ij} adalah parameter sensitivitas kovariat yang menentukan bagaimana perubahan variabel eksternal memengaruhi peluang perpindahan rezim. Jika $\beta_{ij} > 0$, peningkatan nilai kovariat akan meningkatkan probabilitas transisi, sedangkan jika $\beta_{ij} < 0$, peningkatan kovariat akan menurunkan peluang perpindahan menuju rezim tersebut. Adapun Z_t menyatakan kovariat eksternal pada waktu t .

Untuk kasus dua rezim ($M = 2$), hasil transformasi logit dikonversi kembali menjadi probabilitas menggunakan fungsi logistik (Ailliot et al., 2015) sebagai berikut:

$$q_{ij}(t) = \frac{\exp(\alpha_{ij} + \beta_{ij} Z_t)}{1 + \exp(\alpha_{ij} + \beta_{ij} Z_t)} \quad (3)$$

dengan probabilitas berada pada rezim selain j diperoleh sebagai $1 - p_{ij}(t)$. Untuk jumlah rezim lebih dari dua ($M > 2$), fungsi logit bersifat multinomial, sehingga probabilitas transisi dari rezim i ke rezim j dirumuskan (Ailliot et al., 2015) sebagai:

$$q_{ij}(t) = \frac{\exp(\alpha_{ij} + \beta_{ij} Z_t)}{\sum_{k=1}^M \exp(\alpha_{ik} + \beta_{ik} Z_t)} \quad (4)$$

dengan seluruh probabilitas transisi dalam baris ke- i memenuhi sifat $\sum_{j=1}^M q_{ij}(t) = 1$.

Kebergantungan probabilitas transisi terhadap kovariat Z_t menyebabkan peluang berpindah atau bertahan dalam suatu rezim berubah secara dinamis. Ketika nilai suatu kovariat meningkat dan koefisien β_{ij} bernilai positif, probabilitas perpindahan dari rezim i ke rezim j akan meningkat. Sebaliknya, jika β_{ij} bernilai negatif, peningkatan kovariat akan menurunkan peluang perpindahan menuju rezim tersebut. Probabilitas transisi non-homogen yang telah dimodelkan selanjutnya disusun ke dalam matriks transisi non-homogen. Berbeda dengan model MS-AR yang menggunakan satu matriks transisi konstan, pada model NHMS-AR matriks transisi bersifat bergantung waktu karena setiap elemennya dipengaruhi oleh kovariat eksternal Z_t . Untuk kasus dua rezim ($M = 2$), matriks transisi pada waktu t dapat dituliskan (Hamilton, 1989; Ailliot et al., 2015) sebagai:

$$Q(t) = \begin{pmatrix} q_{11}(t) & q_{12}(t) \\ q_{21}(t) & q_{22}(t) \end{pmatrix} \quad (5)$$

dengan $q_{i1}(t) + q_{i2}(t) = 1$ untuk setiap i . Secara umum, untuk jumlah rezim $M > 2$, matriks transisi non-homogen (Hamilton, 1989; Ailliot et al., 2015) memiliki bentuk:

$$Q(t) = \begin{pmatrix} q_{11}(t) & \cdots & q_{1M}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{M1}(t) & \cdots & q_{MM}(t) \end{pmatrix} \quad (6)$$

dengan setiap baris matriks memenuhi sifat stokastik.

Setelah probabilitas transisi non-homogen dirumuskan dan disusun ke dalam matriks transisi Q_t , langkah berikutnya adalah mendefinisikan model. Pada model NHMS-AR dengan probabilitas transisi non-homogen, komponen autoregresif diasumsikan bersifat homogen, yaitu tidak dipengaruhi oleh kovariat eksternal. Dengan demikian, variabel eksogen hanya memengaruhi mekanisme perpindahan rezim, tetapi tidak memengaruhi struktur pembentukan nilai observasi dalam setiap rezim. Model observasi NHMS-AR dapat dituliskan (Hamilton, 1989; Wei, 2019) sebagai:

$$Y_t = \mu_{S_t} + \sum_{p=1}^P \phi_{p,S_t} Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (7)$$

dengan S_t menyatakan rezim tersembunyi pada waktu t yang ditentukan oleh probabilitas transisi non-homogen, μ_{S_t} adalah intercept pada rezim ke- S_t , ϕ_{p,S_t}

merupakan koefisien autoregresif orde ke- p pada rezim tersebut, dan ε_t adalah komponen galat yang diasumsikan berdistribusi Gaussian dengan varians yang berbeda antar rezim. Dengan struktur ini, nilai observasi Y_t tetap mengikuti pola autoregresif, tetapi parameter yang digunakan pada setiap waktu bergantung pada rezim yang sedang aktif. Pemilihan rezim tersebut dipengaruhi oleh mekanisme probabilitas transisi non-homogen yang bergantung pada kovariat eksternal, sehingga model mampu merepresentasikan dinamika sistem yang kompleks dan berubah seiring waktu.

Estimasi parameter model NHMS-AR dilakukan menggunakan algoritma Expectation–Maximization (EM), yang umum digunakan dalam pemodelan Markov switching dengan variabel laten. Pada tahap Expectation (E-step), probabilitas rezim tersembunyi dihitung berdasarkan parameter sementara dan data observasi. Selanjutnya, pada tahap Maximization (M-step), parameter model diperbarui dengan memaksimalkan fungsi likelihood bersyarat terhadap probabilitas rezim tersebut. Proses ini dilakukan secara iteratif hingga mencapai konvergensi. Pendekatan ini memungkinkan estimasi parameter yang stabil meskipun keberadaan rezim bersifat laten (Ailliot et al., 2015).

Pemilihan jumlah rezim dalam penelitian ini dibatasi pada dua rezim dengan pertimbangan efisiensi model dan kemudahan interpretasi. Dua rezim umumnya merepresentasikan kondisi pasar dengan volatilitas rendah dan volatilitas tinggi, yang banyak digunakan dalam studi keuangan berbasis Markov switching. Selain itu, penggunaan dua rezim dinilai memadai untuk menangkap perubahan struktural utama pada *return* saham sektor energi tanpa meningkatkan kompleksitas model secara berlebihan.

Hasil dan Pembahasan

Analisis awal dilakukan melalui statistik deskriptif, yang mencakup ukuran pemusatan data dan ukuran penyebaran data dari masing-masing *return* saham. Selain itu, dilakukan juga visualisasi data dalam bentuk plot deret waktu (*time series plot*) untuk masing-masing saham guna mengamati dinamika dan fluktuasi *return* secara temporal. Tahap ini digunakan untuk memperoleh pemahaman awal terhadap pola volatilitas, serta untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya perubahan struktur atau dinamika pasar yang berpotensi merepresentasikan peralihan rezim, yang menjadi fokus utama dalam pemodelan menggunakan metode *Non-Homogeneous Markov Switching AutoRegressive* (NHMS-AR).

Tabel 1. Statistik Deskriptif *Return* Saham Sektor Energi

Variabel	N	Mean	Stdv	Median	Min	Maks	Range
<i>Return</i> PGAS	196	0	0,12	0	-0,5	0,4	0,9
<i>Return</i> ADRO	196	0,01	0,14	0,01	-0,72	0,62	1,34
<i>Return</i> MEDC	196	0	0,17	-0,01	-0,71	0,59	1,3

Berdasarkan tabel 1, analisis statistik deskriptif terhadap data *return* logaritmik bulanan dari saham sektor energi menunjukkan bahwa secara umum ketiga saham memiliki rata-rata *return* yang relatif rendah. Saham PGAS dan MEDC memiliki rata-rata *return* sebesar 0, sedangkan saham ADRO memiliki rata-rata *return* sebesar 0,01. Hal ini mengindikasikan bahwa selama periode pengamatan, pergerakan *return* saham cenderung stabil di sekitar nilai nol, dengan kecenderungan sedikit positif pada saham ADRO.

Dari sisi penyebaran, saham MEDC memiliki tingkat volatilitas tertinggi dengan standar deviasi sebesar 0,17, diikuti oleh ADRO sebesar 0,14, dan PGAS sebesar 0,12. Ini menunjukkan bahwa *return* saham MEDC lebih fluktuatif dibanding dua saham lainnya.

Return minimum yang cukup ekstrem juga terlihat pada saham ADRO dan MEDC, masing-masing sebesar -0,72 dan -0,71, sementara maksimum *return* masing-masing sebesar 0,62 dan 0,59. PGAS memiliki nilai minimum -0,5 dan maksimum 0,4, dengan range yang lebih sempit dibandingkan dua saham lainnya.

Secara keseluruhan, ketiga saham menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan dari waktu ke waktu, yang menjadi indikasi awal kemungkinan adanya perubahan rezim dalam dinamika *return*. Fluktuasi ini menjadi dasar penting untuk menerapkan model NHMS-AR dalam mengidentifikasi struktur rezim yang tersembunyi pada data saham sektor energi.

Meskipun fokus utama analisis dalam subbab ini adalah pada karakteristik *return* saham, keberadaan variabel eksogen perlu disebutkan karena model yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu NHMS-AR, memungkinkan probabilitas transisi antar rezim bergantung pada dinamika variabel-variabel eksternal tersebut. Oleh karena itu, pemahaman awal terhadap pola dan distribusi masing-masing variabel eksogen menjadi penting untuk mendukung interpretasi model pada tahap selanjutnya.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Variabel Eksogen

Var	N	Mean	Stdv	Median	Min	Maks	Range
CRI	196	0,13	0,08	0,12	0,01	0,47	0,46
GPR	196	99,41	30,1	91,52	58,42	318,96	260,53
GEPU	196	179,96	65,16	168,58	91,76	418,62	326,85

Berdasarkan [tabel 2](#), analisis statistik deskriptif terhadap ketiga variabel eksogen yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Climate Risk Index*, *Geopolitical Risk Index* (GPR), dan *Global Economic Policy Uncertainty Index* (GEPU), menunjukkan adanya variasi karakteristik antar indeks. CRI memiliki rata-rata sebesar 0,13 dengan standar deviasi 0,08, serta nilai minimum 0,01 dan maksimum 0,47. Nilai median sebesar 0,12 menunjukkan bahwa distribusi CRI cenderung seimbang, dan secara umum indeks ini menunjukkan fluktuasi yang relatif rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa risiko iklim selama periode pengamatan berada dalam kondisi yang cukup stabil, meskipun sesekali terjadi peningkatan tajam.

Berbeda halnya dengan GPR dan GEPU yang menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi dan fluktuatif. GPR memiliki rata-rata sebesar 99,41 dan standar deviasi 30,1, dengan nilai minimum 58,42 dan maksimum 318,96. Rentang yang sangat lebar ini (260,53) mencerminkan ketidakpastian geopolitik global yang cukup dinamis, dengan beberapa periode menunjukkan lonjakan signifikan yang kemungkinan disebabkan oleh peristiwa politik internasional seperti konflik atau ketegangan antar negara.

Sementara itu, GEPU memiliki rata-rata sebesar 179,96 dan standar deviasi tertinggi di antara ketiga indeks, yaitu 65,16. Nilai minimumnya adalah 91,76 dan maksimum 418,62, dengan rentang 326,85. Ini menunjukkan bahwa ketidakpastian kebijakan ekonomi global mengalami fluktuasi yang besar selama periode pengamatan, dan dapat menjadi faktor penting yang memengaruhi pasar saham sektor energi.

Secara keseluruhan, baik GPR maupun GEPU menunjukkan tingkat volatilitas yang tinggi, yang menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kedua indeks tersebut dalam memodelkan dinamika transisi rezim pada saham sektor energi. Meskipun CRI lebih stabil, kontribusinya tetap relevan terutama dalam konteks jangka panjang dan ketika terjadi kejadian iklim ekstrem.

Sebelum membahas model NHMS-AR, sebagai pembanding, model *Homogeneous Markov Switching AutoRegressive* (HMS-AR) juga diestimasi dengan asumsi probabilitas transisi konstan sepanjang waktu. Pada model HMS-AR, mekanisme perpindahan rezim sepenuhnya ditentukan oleh satu matriks probabilitas transisi tetap tanpa melibatkan

variabel eksogen. Hasil estimasi HMS-AR digunakan sebagai baseline untuk mengevaluasi peningkatan kinerja model NHMS-AR *Transition* dalam merepresentasikan dinamika rezim *return* saham sektor energi. Berikut ini matriks probabilitas transisi dan juga model HMS-AR yang terbentuk.

$$Q = \begin{bmatrix} 0,5574 & 0,4426 \\ 0,4868 & 0,5132 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ Y_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 0,0169 \\ 0,0171 \\ 0,0360 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,2066 & -0,1142 & -0,0666 \\ 0,0400 & 0,1460 & -0,0412 \\ -0,0875 & 0,1660 & -0,0990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \\ Y_{3,t-1} \end{bmatrix} + \varepsilon_{1t}, & S_t = 1 \\ \begin{bmatrix} -0,0114 \\ 0,0084 \\ -0,0296 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,2339 & 0,2415 & 0,0485 \\ 0,2019 & -0,3498 & 0,0096 \\ -0,6384 & 0,0199 & -0,2142 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \\ Y_{3,t-1} \end{bmatrix} + \varepsilon_{2t}, & S_t = 2 \end{cases}$$

Berdasarkan hasil estimasi model HMS-AR, diperoleh matriks probabilitas transisi yang menunjukkan bahwa kedua rezim memiliki tingkat persistensi yang relatif rendah dan hampir seimbang. Probabilitas bertahan pada Rezim 1 sebesar 0,5574 dan pada Rezim 2 sebesar 0,5132 mengindikasikan bahwa sistem cenderung sering berpindah antar rezim, sehingga tidak terdapat rezim yang benar-benar dominan atau stabil dalam jangka panjang. Kondisi ini mencerminkan dinamika *return* saham sektor energi yang fluktuatif ketika probabilitas transisi diasumsikan konstan sepanjang waktu. Selain itu, struktur model HMS-AR menunjukkan bahwa dinamika *return* sepenuhnya ditentukan oleh komponen autoregresif dan intersep pada masing-masing rezim, tanpa mempertimbangkan pengaruh faktor eksternal. Dengan demikian, meskipun HMS-AR mampu menangkap keberadaan rezim laten, keterbatasan asumsi probabilitas transisi homogen menyebabkan model ini kurang fleksibel dalam merepresentasikan perubahan rezim yang dipengaruhi oleh dinamika risiko dan ketidakpastian eksternal yang bersifat *time-varying*.

Dalam model NHMS-AR, mekanisme perpindahan *return* saham dari satu rezim ke rezim lainnya tidak lagi diasumsikan konstan seperti pada model HMS-AR, tetapi dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal yang relevan dengan dinamika pasar. Pendekatan ini memungkinkan probabilitas transisi antar-rezim berubah secara adaptif mengikuti kondisi ekonomi atau indikator risiko yang bersifat *time-varying*. Dengan demikian, perubahan kondisi pasar seperti meningkatnya tekanan, ketidakpastian global, atau sentimen positif tertentu dapat langsung tercermin dalam peluang perpindahan antar-rezim.

NHMS-AR *Transition* dimodelkan melalui fungsi logit yang menghubungkan variabel eksogen dengan probabilitas perpindahan rezim. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai hubungan antara perubahan lingkungan ekonomi dan dinamika perilaku *return*. Sebagai contoh, peningkatan risiko global atau gejolak harga komoditas dapat meningkatkan peluang perpindahan dari rezim stabil menuju rezim volatil, sementara perbaikan indikator ekonomi dapat menurunkan peluang tersebut.

Untuk menganalisis pengaruh variabel eksogen terhadap probabilitas perpindahan antar-rezim, digunakan fungsi link logit pada model transisi non-homogen. Fungsi logit ini menghubungkan peluang sistem berpindah dari satu rezim ke rezim lainnya dengan kombinasi linear dari kovariat eksternal Z_t yang dalam penelitian ini meliputi *Climate Risk Index*, *Geopolitical Risk* (GPR), dan *Global Economic Policy Uncertainty* (GEPU). Melalui fungsi logit, perubahan pada variabel eksogen tersebut akan secara langsung memengaruhi besarnya probabilitas transisi antar-rezim. Bentuk fungsi logit ditunjukkan sebagai berikut.

$$\text{logit}[P(S_t = 2|S_{t-1} = 1, Z_t)] = -1,1729 + 3,8149Z_{1t} - 0,3184Z_{2t} + 2,2931Z_{3t}$$

$$\text{logit}[P(S_t = 1|S_{t-1} = 2, Z_t)] = 0,5970 + 1,9842Z_{1t} + 0,2132Z_{2t} + 0,1081Z_{3t}$$

Berdasarkan fungsi logit diatas, koefisien CRI (Z_{1t}) bernilai positif pada kedua persamaan, masing-masing sebesar 3,8149 dan 1,9842. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan CRI meningkatkan peluang terjadinya perpindahan antar-rezim, baik dari Rezim 1 ke Rezim 2 maupun sebaliknya, sehingga risiko iklim memiliki peran kuat dalam mendorong perubahan kondisi pasar. Koefisien GPR (Z_{2t}) bernilai negatif untuk transisi dari Rezim 1 ke Rezim 2 (-0,3184), namun positif untuk arah sebaliknya (0,2132). Dengan demikian, ketegangan geopolitik cenderung menurunkan peluang pasar berpindah menuju kondisi volatil, tetapi sedikit meningkatkan peluang kembali menuju kondisi yang lebih stabil. Sementara itu, koefisien GEPU (Z_{3t}) bernilai positif pada kedua persamaan (2,2931 dan 0,1081), yang berarti bahwa ketidakpastian kebijakan ekonomi global juga meningkatkan kecenderungan sistem untuk berpindah antar-rezim. Perbedaan nilai intersep pada kedua fungsi logit menunjukkan tingkat persistensi rezim yang tidak simetris. Dalam hal ini, Rezim 2 tampak lebih persisten karena peluang bertahan pada kondisi volatil lebih tinggi dibandingkan peluang sistem memasuki Rezim 2 dari Rezim 1.

Selanjutnya, untuk melihat dinamika perpindahan antar-rezim, digunakan matriks probabilitas transisi rata-rata Q . Matriks ini menggambarkan peluang proses berada pada rezim tertentu pada waktu t berdasarkan rezim pada waktu $t-1$ yang ditunjukkan sebagai berikut.

$$Q = \begin{bmatrix} 0,8463 & 0,1537 \\ 0,0928 & 0,9072 \end{bmatrix}$$

Matriks diatas menunjukkan bahwa $P(S_t = 1|S_{t-1} = 1) = 0,8463$ mengindikasikan bahwa ketika sistem berada pada Rezim 1, terdapat 84,63% peluang sistem tetap berada pada rezim yang sama pada periode berikutnya. Sebaliknya, peluang berpindah dari Rezim 1 ke Rezim 2 hanya sebesar 15,37%. Sementara itu, $P(S_t = 2|S_{t-1} = 2) = 0,9072$ menunjukkan bahwa Rezim 2 bersifat lebih persisten dengan peluang bertahan sebesar 90,72%. Peluang berpindah dari Rezim 2 ke Rezim 1 relatif kecil, yaitu hanya 9,28%. Hasil ini menegaskan bahwa Rezim 2 merupakan rezim dominan dan lebih stabil dalam konteks volatilitas tinggi, sedangkan Rezim 1 cenderung bersifat stabil dalam periode volatilitas rendah namun kurang persisten dibandingkan Rezim 2.

Berdasarkan hasil estimasi model $NHMS-AR(1)$ dua rezim, diperoleh parameter intersep (μ_{S_t}), matriks koefisien autoregresif ($\Phi_{S_t,1}$), serta matriks kovarian error (Σ_{S_t}) untuk masing-masing rezim sebagaimana ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \begin{bmatrix} -0,0280 \\ -0,0118 \\ -0,0558 \end{bmatrix}, \Phi_{1,1} = \begin{bmatrix} 0,2129 & 0,2142 & -0,0610 \\ 0,0329 & -0,0794 & -0,0586 \\ 0,5009 & 0,0991 & -0,2288 \end{bmatrix}, \\ \mu_2 &= \begin{bmatrix} 0,0440 \\ 0,0555 \\ 0,0916 \end{bmatrix}, \Phi_{2,1} = \begin{bmatrix} -0,1784 & -0,0275 & -0,0065 \\ 0,1911 & -0,0945 & 0,1110 \\ -0,0207 & 0,1704 & 0,1879 \end{bmatrix}, \\ \Sigma_1 &= \begin{bmatrix} 0,0126 & 0,0014 & 0,0028 \\ 0,0014 & 0,0155 & 0,0058 \\ 0,0028 & 0,0058 & 0,0146 \end{bmatrix}, \Sigma_2 = \begin{bmatrix} 0,0109 & 0,0065 & 0,0014 \\ 0,0065 & 0,0173 & 0,0013 \\ 0,0014 & 0,0013 & 0,0231 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai parameter hasil estimasi ke dalam bentuk umum model $NHMS-AR(1)$ multivariat, diperoleh persamaan model untuk masing-masing rezim sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ Y_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} -0,0280 \\ -0,0118 \\ -0,0558 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,2129 & 0,2142 & -0,0610 \\ 0,0329 & -0,0794 & -0,0586 \\ 0,5009 & 0,0991 & -0,2288 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \\ Y_{3,t-1} \end{bmatrix} + \varepsilon_{1t}, & S_t = 1 \\ \begin{bmatrix} 0,0440 \\ 0,0555 \\ 0,0916 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,1784 & -0,0275 & -0,0065 \\ 0,1911 & -0,0945 & 0,1110 \\ -0,0207 & 0,1704 & 0,1879 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \\ Y_{3,t-1} \end{bmatrix} + \varepsilon_{2t}, & S_t = 2 \end{cases}$$

Berdasarkan hasil estimasi model NHMS-AR(1) dua rezim, parameter intersep, koefisien autoregresif, dan kovarian error untuk masing-masing rezim telah diperoleh. Untuk memudahkan interpretasi perbedaan dinamika *return* antar rezim, ringkasan nilai parameter utama meliputi intersep dan koefisien autoregresif antar saham sektor energi disajikan dalam [tabel 3](#).

Tabel 3. Estimasi Parameter Model NHMS-AR

Variabel	Rezim 1	Rezim 2
Intersep PGAS	-0,0280	0,0440
Intersep ADRO	-0,0118	0,0555
Intersep MEDC	-0,0558	0,0916
Koefisien Autoregresif PGAS _{t-1} → PGAS _t	0,2129	-0,1784
Koefisien Autoregresif ADRO _{t-1} → PGAS _t	0,2142	-0,0275
Koefisien Autoregresif MEDC _{t-1} → PGAS _t	-0,0610	-0,0065
Koefisien Autoregresif PGAS _{t-1} → ADRO _t	0,0329	0,1911
Koefisien Autoregresif ADRO _{t-1} → ADRO _t	-0,0794	-0,0945
Koefisien Autoregresif MEDC _{t-1} → ADRO _t	-0,0586	0,1110
Koefisien Autoregresif PGAS _{t-1} → MEDC _t	0,5009	-0,0207
Koefisien Autoregresif ADRO _{t-1} → MEDC _t	0,0991	0,1704
Koefisien Autoregresif MEDC _{t-1} → MEDC _t	-0,2288	0,1879

Sebagai contoh, untuk *return* saham PGAS, model pada masing-masing rezim dapat dituliskan secara eksplisit sebagai berikut:

$$\text{Rezim 1 : } Y_{1,t} = -0,0280 + 0,2129Y_{1,t-1} + 0,2142Y_{2,t-1} - 0,0610Y_{3,t-1} + \varepsilon_{1t}$$

$$\text{Rezim 2 : } Y_{1,t} = 0,0440 - 0,1784Y_{1,t-1} - 0,0275Y_{2,t-1} - 0,0065Y_{3,t-1} + \varepsilon_{2t}$$

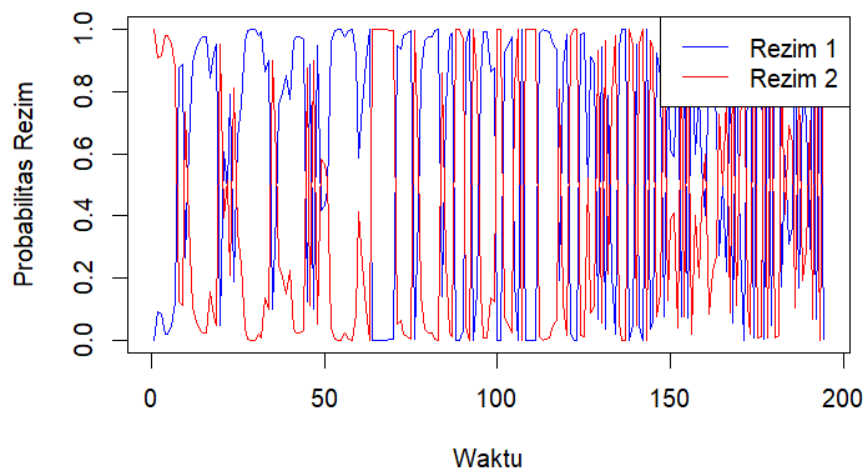
dengan $\varepsilon_{1t} \sim N(0; 0,0126)$, $\varepsilon_{2t} \sim N(0; 0,0109)$.

Pada Rezim 1, koefisien lag $Y_{1,t-1}$ (*return* PGAS sebelumnya) bernilai positif (0,2129). Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan *return* PGAS cenderung searah dengan kondisi sebelumnya ketika *return* periode sebelumnya meningkat, maka *return* saat ini juga berpotensi meningkat. Pola ini menandakan kondisi pasar yang stabil dan berorientasi pada momentum positif. Selain itu, koefisien $Y_{2,t-1}$ (variabel ADRO) juga memiliki pengaruh positif (0,2142), yang menunjukkan adanya keterkaitan positif antar-saham sektor energi, di mana kenaikan *return* ADRO pada periode sebelumnya dapat diikuti kenaikan *return* PGAS. Sementara koefisien $Y_{3,t-1}$ (variabel MEDC) negatif (-0,0610), mengindikasikan bahwa pergerakan MEDC cenderung berlawanan arah terhadap PGAS pada fase ini.

Pada Rezim 2, koefisien self-lag $Y_{1,t-1}$ berubah menjadi negatif (-0,1784), yang mengindikasikan adanya efek koreksi balik (*reversal*). Artinya, jika pada periode sebelumnya *return* PGAS meningkat, maka pada periode berikutnya cenderung menurun. Hal ini mencerminkan kondisi pasar yang lebih volatil atau mengalami penyesuaian harga. Koefisien untuk ADRO dan MEDC pada Rezim 2 juga bernilai negatif (-0,0275 dan -0,0065), menunjukkan bahwa pada fase ini keterkaitan antar-saham menjadi lemah dan tidak searah. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa Rezim 1 menggambarkan fase pasar yang relatif stabil dan bergerak searah antar-saham, sedangkan Rezim 2

menunjukkan kondisi pasar bergejolak dengan potensi pembalikan arah (reversal) pada *return* PGAS.

Selanjutnya, untuk memahami pola perpindahan rezim secara temporal, dilakukan pengamatan terhadap dinamika perubahan rezim sepanjang periode pengamatan. Gambar berikut menyajikan *smoothed regime probabilities* yang menunjukkan probabilitas setiap waktu t berada pada masing-masing rezim berdasarkan hasil estimasi model *NHMS-AR(1)*. Probabilitas ini memberikan gambaran yang lebih halus dan informatif mengenai dominasi serta durasi setiap rezim, karena dihitung dengan mempertimbangkan seluruh informasi dari awal hingga akhir periode pengamatan.



Gambar 1. *Plot Smoothed Regime Probabilities NHMS-AR Transition*

Berdasarkan [gambar 1](#), terlihat bahwa probabilitas untuk Rezim 1 (garis biru) dan Rezim 2 (garis merah) mengalami fluktuasi sepanjang periode pengamatan. Pola pergerakan yang saling berlawanan menunjukkan bahwa pada setiap waktu, sistem cenderung berada hanya pada salah satu rezim dominan. Rezim 1 tampak lebih sering mendominasi dengan probabilitas yang tinggi, menunjukkan bahwa sebagian besar periode pengamatan berada pada fase *Low Volatility Regime* atau kondisi pasar yang relatif stabil. Sementara itu, Rezim 2 muncul dalam durasi yang lebih panjang ketika aktif, menandakan sifat persisten dari fase *High Volatility Regime*, yaitu periode dengan ketidakpastian dan fluktuasi *return* yang lebih tajam. Hasil ini sejalan dengan temuan dari fungsi logit sebelumnya, di mana peluang bertahan dalam Rezim 2 lebih besar dibandingkan berpindah ke Rezim 1, sehingga Rezim 2 dapat diidentifikasi sebagai fase volatil yang cenderung bertahan lebih lama dibandingkan fase stabil Rezim 1.

Untuk mengevaluasi kinerja prediktif model yang digunakan, dilakukan perbandingan antara model HMS-AR dan *NHMS-AR Transition*. Ukuran kinerja yang digunakan adalah *Root Mean Square Error* (RMSE), yang mengukur rata-rata kesalahan prediksi model terhadap data aktual. Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan kemampuan peramalan yang lebih baik.

Tabel 4. Perbandingan RMSE Antar Model

Model	RMSE
HMS-AR	0,1359443
NHMS-AR <i>Transition</i>	0,1330242

Berdasarkan [tabel 4](#), model *NHMS-AR Transition* menghasilkan nilai RMSE yang lebih rendah dibandingkan model HMS-AR. Hasil ini menunjukkan bahwa memasukkan variabel eksogen ke dalam mekanisme probabilitas transisi antar rezim mampu meningkatkan akurasi peramalan *return* saham sektor energi. Meskipun perbedaan nilai

RMSE relatif kecil, peningkatan ini bersifat konsisten dan mencerminkan kemampuan model NHMS-AR *Transition* dalam menangkap dinamika pasar yang dipengaruhi oleh faktor eksternal yang bersifat time-varying. Temuan ini memperkuat argumen bahwa asumsi probabilitas transisi konstan pada model HMS-AR kurang memadai dalam merepresentasikan dinamika pasar energi yang kompleks dan sensitif terhadap risiko global.

Hasil pemodelan menggunakan NHMS-AR *Transition* menunjukkan bahwa dinamika *return* saham sektor energi di Indonesia tidak bersifat homogen sepanjang waktu, melainkan mengalami peralihan rezim yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. Temuan utama penelitian ini adalah teridentifikasinya dua rezim yang memiliki karakteristik berbeda, baik dari sisi perilaku autoregresif, tingkat volatilitas, maupun persistensi rezim. Rezim pertama dicirikan oleh volatilitas yang relatif lebih rendah dan hubungan autoregresif yang cenderung stabil, sedangkan rezim kedua menunjukkan volatilitas yang lebih tinggi serta kecenderungan pembalikan arah (reversal) pada *return*, khususnya pada saham PGAS.

Perbedaan karakteristik antar rezim tersebut dapat dijelaskan melalui struktur parameter model. Pada Rezim 1, koefisien autoregresif yang positif, terutama pada self-lag *return* PGAS, menunjukkan adanya efek momentum, di mana pergerakan *return* cenderung mengikuti arah periode sebelumnya. Selain itu, adanya pengaruh positif dari *return* ADRO terhadap *return* PGAS mengindikasikan keterkaitan yang searah antar saham sektor energi pada kondisi pasar yang relatif stabil. Sebaliknya, pada Rezim 2, koefisien self-lag yang bernilai negatif menunjukkan adanya mekanisme koreksi balik, yang umumnya muncul pada kondisi pasar yang bergejolak. Lemahnya keterkaitan antar saham pada rezim ini mencerminkan meningkatnya ketidakpastian, di mana pergerakan masing-masing saham menjadi lebih individual dan sulit diprediksi.

Hasil estimasi probabilitas transisi menunjukkan bahwa Rezim 2 memiliki tingkat persistensi yang lebih tinggi dibandingkan Rezim 1. Hal ini tercermin dari probabilitas bertahan pada Rezim 2 yang lebih besar, serta dari hasil smoothed regime probabilities yang memperlihatkan bahwa ketika Rezim 2 aktif, durasinya cenderung lebih panjang. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh sifat pasar energi yang sangat sensitif terhadap guncangan eksternal. Ketika pasar memasuki fase volatil akibat tekanan global, seperti krisis geopolitik atau ketidakpastian kebijakan ekonomi, kondisi tersebut tidak segera mereda dan cenderung bertahan dalam beberapa periode.

Pengaruh variabel eksogen terhadap mekanisme perpindahan rezim menjadi salah satu temuan penting dalam penelitian ini. Koefisien positif *Climate Risk Index* pada kedua fungsi logit menunjukkan bahwa meningkatnya risiko iklim berperan signifikan dalam mendorong terjadinya peralihan rezim, baik dari kondisi stabil menuju volatil maupun sebaliknya. Hal ini mengindikasikan bahwa risiko iklim tidak hanya memicu ketidakstabilan pasar, tetapi juga mempercepat dinamika perubahan kondisi pasar energi. Sementara itu, pengaruh *Geopolitical Risk* (GPR) yang bersifat asimetris—negatif pada transisi dari Rezim 1 ke Rezim 2 dan positif pada arah sebaliknya—menunjukkan bahwa ketegangan geopolitik dapat menahan pasar untuk segera memasuki fase volatil, namun sekaligus memperpanjang durasi fase volatil ketika sudah terjadi. Adapun *Global Economic Policy Uncertainty* (GEPU) yang berpengaruh positif pada kedua arah transisi menegaskan peran ketidakpastian kebijakan ekonomi global sebagai faktor pendorong utama ketidakstabilan pasar saham sektor energi.

Temuan-temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menekankan pentingnya faktor eksternal dalam memengaruhi dinamika pasar saham dan energi. Studi Hu & Borjigin (2024) menunjukkan bahwa risiko geopolitik, ketidakpastian

kebijakan ekonomi, dan risiko iklim memiliki kontribusi signifikan terhadap volatilitas pasar energi, terutama pada periode krisis dan pemulihan ekonomi. Selain itu, karakteristik rezim yang berbeda dalam penelitian ini juga konsisten dengan temuan Ahmad & Kamaiah (2010), yang menunjukkan bahwa rezim dengan volatilitas tinggi cenderung lebih persisten dibandingkan rezim stabil. Namun demikian, penelitian ini memperluas temuan sebelumnya dengan menunjukkan bahwa probabilitas transisi antar rezim tidak bersifat konstan, melainkan berubah secara adaptif mengikuti dinamika variabel eksogen.

Dari sudut pandang kebijakan energi, temuan ini mengindikasikan bahwa pasar saham sektor energi sangat responsif terhadap dinamika risiko eksternal, khususnya risiko iklim dan ketidakpastian kebijakan global. Persistensi rezim volatil yang tinggi menunjukkan bahwa guncangan eksternal tidak bersifat sementara, tetapi dapat membentuk kondisi pasar dalam jangka menengah hingga panjang. Hal ini menegaskan pentingnya konsistensi kebijakan energi dan iklim, karena ketidakpastian kebijakan berpotensi memperpanjang fase volatilitas pasar dan meningkatkan biaya risiko bagi pelaku industri energi. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung perlunya perumusan kebijakan energi yang lebih stabil dan terkoordinasi untuk meredam transmisi risiko global ke pasar keuangan domestik.

Dari perspektif manajemen risiko portofolio, identifikasi rezim yang berbeda dan probabilitas transisi yang bersifat *time-varying* memberikan informasi penting bagi investor dalam menyusun strategi investasi yang adaptif. Pada rezim volatil yang dominan dan persisten, pendekatan portofolio yang menekankan diversifikasi lintas aset, penyesuaian bobot investasi, serta strategi lindung nilai (*hedging*) menjadi lebih relevan dibandingkan strategi berbasis asumsi pasar stabil. Sebaliknya, pada periode ketika probabilitas berada pada rezim stabil meningkat, investor dapat lebih memanfaatkan strategi berbasis momentum. Dengan demikian, model NHMS-AR Transition tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis akademik, tetapi juga memiliki nilai praktis sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) bagi pengelolaan risiko portofolio di sektor energi.

Dari sisi metodologis, kelebihan utama penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan NHMS-AR Transition yang memungkinkan probabilitas transisi antar rezim bergantung pada kovariat eksternal. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan model MS-AR homogen dan menghasilkan representasi dinamika pasar yang lebih realistis. Selain itu, penerapan model pada data multivariat saham sektor energi memungkinkan analisis keterkaitan antar saham secara simultan dalam kerangka rezim yang berbeda. Meskipun demikian, penelitian ini juga memiliki keterbatasan, antara lain keterbatasan jumlah rezim yang dianalisis serta asumsi struktur autoregresif homogen pada setiap rezim. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model dengan jumlah rezim yang lebih banyak atau memasukkan kovariat juga pada komponen emisi untuk menangkap dinamika yang lebih kompleks.

Secara teoretis, hasil penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan pemodelan deret waktu nonlinier dengan menunjukkan relevansi NHMS-AR *Transition* dalam konteks pasar saham sektor energi. Dari sisi praktis, temuan ini memiliki implikasi penting bagi investor dan pengambil keputusan, karena menunjukkan bahwa dinamika risiko eksternal dapat secara langsung memengaruhi peluang pasar berpindah dari kondisi stabil ke kondisi volatil. Dengan memahami mekanisme perpindahan rezim tersebut, pelaku pasar dapat menyusun strategi investasi dan manajemen risiko yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi global.

Kesimpulan

Penelitian ini menerapkan model *Non-Homogeneous Markov Switching Autoregressive* (NHMS-AR) dengan fokus pada probabilitas transisi yang dipengaruhi kovariat eksternal untuk memodelkan *return* saham sektor energi Indonesia (PGAS, ADRO, dan MEDC) dengan kovariat CRI, GPR, dan GEPU. Hasil pemodelan NHMS-AR (1) dua rezim menunjukkan adanya dua kondisi tersembunyi dengan karakteristik berbeda, yaitu rezim yang relatif lebih stabil dan rezim yang lebih volatil. Fungsi logit transisi mengindikasikan bahwa CRI dan GEPU cenderung meningkatkan peluang perpindahan antar rezim, sedangkan GPR menunjukkan pengaruh yang asimetris bergantung arah transisi. Matriks probabilitas transisi rata-rata menegaskan bahwa kedua rezim bersifat persisten, dengan rezim volatil memiliki peluang bertahan lebih tinggi, sehingga ketika kondisi pasar memasuki fase volatil, durasinya cenderung lebih panjang. Secara keseluruhan, NHMS-AR *Transition* memberikan representasi yang lebih adaptif terhadap dinamika eksternal dibandingkan model HMS-AR dalam menggambarkan perubahan rezim *return* saham sektor energi.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam kegiatan penelitian.

Kontribusi Penulis

AFF berperan dalam perancangan penelitian, analisis data, serta penyusunan naskah. NI dan KF memberikan bimbingan, masukan kritis, serta melakukan validasi akhir terhadap naskah.

Daftar Pustaka

- Agustina, L., Gunawan, Y., & Chandra, W. (2018). The Impact of Tax Amnesty Announcement towards Share Performance and Market Reaction in Indonesia. *Accounting and Finance Research*, 7(2), 39. <https://doi.org/10.5430/afr.v7n2p39>
- Ahmad, W., & Kamaiah, B. (2010). Modeling Business Cycles in India: A Markov Switching Approach. *The Asian Economic Review*, 52(2), 1–14.
- Ailliot, P., Bessac, J., Monbet, V., & Pène, F. (2015). Non-homogeneous hidden Markov-switching models for wind time series. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 160, 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2014.12.005>
- Aknouche, A., & Francq, C. (2022). Stationarity and ergodicity of Markov switching positive conditional mean models. *Journal of Time Series Analysis*, 43(3), 436–459. <https://doi.org/10.1111/jtsa.12621>
- Ashariansyah, A. R., Iriawan, N., & Mukarromah, A. (2020). Pemodelan Harga Cryptocurrency Menggunakan Markov Switching Autoregressive. *Inferensi*, 3(2), 81. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v3i2.7726>
- Botha, I., & Saayman, A. (2022). Forecasting tourism demand cycles: A Markov switching approach. *International Journal of Tourism Research*, 24(6), 759–774. <https://doi.org/10.1002/jtr.2543>
- Cavicchioli, M. (2025). Forecasting Markov switching vector autoregressions: Evidence from simulation and application. *Journal of Forecasting*, 44(1), 136–152. <https://doi.org/10.1002/for.3180>
- Chavez-Martinez, G., Agarwal, A., Khalili, A., & Ahmed, S. E. (2023). Penalized Estimation of Sparse Markov Regime-Switching Vector Auto-Regressive Models. *Technometrics*, 65(4), 553–563. <https://doi.org/10.1080/00401706.2023.2201336>

- Febiyola, T., Utari, R. S., Panggabean, B. T., & Agustina, R. (2024). Analisis Surat Berharga Sebagai Alat Investasi. *Deposisi : Jurnal Publikasi Ilmu Hukum*, 2(3), 75-86. <https://doi.org/10.59581/deposisi.v2i3.3688>
- Gitman, L. J., Joehnk, M. D., Smart, S., Juchau, R. H., Ross, D. G., & Wright, S. (2011). *Fundamentals of investing*. Pearson Australia.
- Hafer, R. W., & Hein, S. E. (2007). *The Stock Market*. Greenwood Press.
- Hamilton, J. D. (1989). A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle. *Econometrica*, 57(2), 357. <https://doi.org/10.2307/1912559>
- Handayani, L. P. S., & Prastyo, D. D. (2020). Analisis Likuiditas Saham Sektor Perbankan di BEI Menggunakan Analisis Intervensi dan Autoregressive Conditional Duration. *Inferensi*, 3(1), 47. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v3i1.6881>
- Hu, Z., & Borjigin, S. (2024). The amplifying role of geopolitical Risks, economic policy Uncertainty, and climate risks on Energy-Stock market volatility spillover across economic cycles. *The North American Journal of Economics and Finance*, 71, 102114. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102114>
- Kungwani, M. P. (2014). Risk Management-An Analytical Study. 16, 83–89.
- Li, W., & Zhang, C. (2023). A Markov-switching hidden heterogeneous network autoregressive model for multivariate time series data with multimodality. *IJSE Transactions*, 55(11), 1118–1132. <https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2148780>
- Oktavia, I., & Nugraha, K. G. S. (2018). *Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Harga Saham*. UNEJ E-Proceeding.
- Prihartani, W., Rasyid, D. A., & Iriawan, N. (2020). Stock Daily Price Regime Model Detection using Markov Switching Model. *MATEMATIKA*, 36(2), 127–140. <https://doi.org/10.11113/matematika.v36.n2.1189>
- Segarra, J., Julià, C., & Valls, C. (2021). Pre-Service Teachers' Belief About the Efficacy of Their Mathematics Teaching: A Case Study. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 9(4), 199-210. <https://doi.org/10.30935/scimath/11236>
- Spezia, L., Gibbs, S., Glendell, M., Helliwell, R., Paroli, R., & Pohle, I. (2023). Bayesian analysis of high-frequency water temperature time series through Markov switching autoregressive models. *Environmental Modelling & Software*, 167, 105751. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105751>
- Tiara, F., Rai Sri, U., Beby Triana, P., & Rina, A. (2024). Analisis Surat Berharga Sebagai Alat Investasi. *Deposisi: Jurnal Publikasi Ilmu Hukum*, 2(3), 75-86. <https://doi.org/10.59581/deposisi.v2i3.3688>
- Wei, W. W. S. (2019). *Multivariate time series analysis and applications*. John Wiley and Sons Ltd.