

PREDIKSI ARAH HARGA EMAS DENGAN RANTAI MARKOV WAKTU DISKRET DUA STATE

Qowiyyul Amin Siregar¹, Revi Meliyani², Hikmah Rahmah³, F Anthon Pangruruk⁴, M Hamal Musito⁵, Siska Nurmala Sari⁶

^{1,2,3,4,5}Universitas Mitra Bangsa, Jakarta Indonesia

⁶ Universitas muhammadiyah Bogor Raya, Bogor Indonesia

*email Korespondensi: qowiyyulaminsiregar@umiba.ac.id

Abstract: Gold plays many important roles, including serving as a store of value, a reserve asset for nations, an economic indicator, and an easily accessible investment instrument. These functions make gold price forecasting a valuable tool for investors, policymakers, and central banks in making decisions regarding the purchase and sale of gold. This study employs a two-state discrete-time Markov chain model to predict the direction of gold price trends, providing information that can support short-term (daily) buy-and-sell decisions. The results indicate that, in the long run, the probabilities of gold prices increasing and decreasing reach their steady-state values, while the average first-passage time between states is approximately two periods. Compared with machine learning models, which are often considered black-box approaches, the Markov chain model is easier to understand and offers a transparent modeling process.

Keywords: Trends Prediction, Markov Chain, Gold Price Prediction

Abstrak: Emas memiliki banyak peranan lima diantaranya sebagai penjaga nilai uang, Cadangan asset negara, indikator ekonomi, alat investasi yang mudah diakses. Peranan emas ini membuat prediksi harga emas menjadi alat yang membantu investor, pemegang kebijakan dan bank central untuk membeli dan menjual emas. Metode rantai Markov waktu diskret dua state digunakan untuk menebak arah trend harga emas sebagai informasi untuk Keputusan beli lalu jual di waktu yang pendek (harian). Hasilnya secara jangka Panjang peluang harga emas naik 53.02% (dan harga emas turun 46.98%) dan rata rata waktu kunjungan pertama antar state Adalah dua. Model ini sangat mudah dimengerti dan juga prosesnya terbuka, jika dibandingkan dengan model pembelajaran mesin yang tertutup.

Kata kunci: prediksi arah, rantai Markov, Prediksi harga emas

PENDAHULUAN

Emas selalu memiliki dua karakteristik penting, yaitu sebagai komoditas logam dan sebagai aset moneter. Sebagai logam, emas memiliki daktilitas (daya renggang) dan kelembutan yang sangat baik. Sementara dalam fungsi moneter, emas dapat digunakan untuk perdagangan komoditas dan investasi keuangan. Meskipun Sistem Moneter Bretton Woods runtuh pada tahun 1971 dan emas tidak lagi digunakan sebagai mata uang independen, sifat moneter,nya tetap bertahan hingga saat ini. Emas menjadi cadangan internasional yang vital dan semakin diperhatikan oleh banyak negara. Sebagai sarana utama untuk investasi dan lindung nilai (*hedging*), emas sangat bermanfaat dalam

alokasi portofolio, terutama di masa krisis keuangan [2]. Karakteristik kuat inilah yang membuat aktivitas investasi maupun jual beli jangka pendek pada komoditas emas mulai menarik perhatian investor saat ini, menyusul terjadinya kenaikan harga emas yang signifikan. Jika ditinjau berdasarkan data historis periode 2005 hingga 2025, fluktuasi harga emas terutama dalam tiga tahun terakhir memang menunjukkan tren kenaikan yang sangat tajam [1].

Dalam perkembangannya, berbagai pendekatan telah digunakan untuk memodelkan pergerakan harga. Analisis fundamental dan teknikal merupakan metode klasik di mana analisis fundamental membantu pemilihan aset berdasarkan prospek ekonomi, sementara analisis teknikal digunakan untuk menentukan momentum beli atau jual [3]. Namun, metode ini seringkali kesulitan menangani sifat pasar yang acak dan dinamis [4]. Di sisi lain, metode kuantitatif seperti model Regresi dan ARIMA telah menjadi standar dalam analisis deret waktu finansial. Meski demikian, metode ini memiliki kekurangan karena memerlukan identifikasi hukum timbal balik atau korelasi antar faktor prediktor yang sangat kompleks [3].

Metode mutakhir seperti Artificial Neural Network (ANN), khususnya *Elman Neural Network*, menawarkan keunggulan dalam menangani sistem nonlinear yang rumit karena kemampuannya dalam "mengingat" harga periode sebelumnya melalui mekanisme umpan balik [5]. Selain itu, analisis fraktal (melalui Indeks Hurst) digunakan untuk memahami keberlanjutan tren pasar dalam jangka panjang [5]. Namun, metode berbasis kecerdasan buatan ini sering kali membutuhkan data yang sangat besar dan proses komputasi yang intensif.

Metode Rantai Markov hadir sebagai solusi yang mampu menutupi beberapa kelemahan metode-metode di atas. Kelebihan utama metode ini terletak pada sifatnya yang memiliki "no after-effect" (Markov property), di mana keadaan di masa depan hanya bergantung pada keadaan saat ini dan mengabaikan sejarah data yang terlalu jauh di masa lalu [3][6]. Berbeda dengan model regresi yang rumit, Rantai Markov memiliki kesederhanaan parameter karena tidak perlu mencari hukum korelasi antar variabel luar yang kompleks, melainkan hanya fokus pada karakteristik evolusi internal dari peristiwa itu sendiri melalui probabilitas transisi [3]. Hal ini menjadikannya komplemen yang sangat berguna bagi analisis teknikal dalam menghadapi ketidakpastian pasar [3][7].

Meskipun memiliki keunggulan dalam penyederhanaan model, metode Rantai Markov juga memiliki kekurangan. Hasil prediksinya bersifat probabilistik, yang berarti hanya memberikan peluang terjadinya suatu kondisi di masa depan, bukan sebuah nilai harga atau kepastian absolut [3]. Selain itu, model ini tetap memiliki kerentanan terhadap faktor eksternal yang ekstrem dan psikologi investor yang dapat merusak pola transisi yang telah terbentuk [3]. Dalam jangka panjang, model ini juga cenderung menuju kondisi steady-state atau keseimbangan, yang terkadang membuatnya kurang sensitif terhadap fluktuasi tajam yang mendadak dalam durasi yang lama [7].

Melalui pendekatan ini, penelitian akan difokuskan pada penghitungan matriks transisi kemudian perhitungan waktu kunjungan pertama serta matrik peluang transisi dalam jangka Panjang atau stabil

LANDASAN TEORI

Rantai Markov (Markov Chain)

Rantai Markov adalah suatu proses stokastik yang memiliki sifat khusus, yaitu masa depan dari proses tersebut hanya bergantung pada kondisi saat ini (*present state*) dan tidak bergantung pada rangkaian kondisi di masa lalu (*history independent*). Sifat ini dikenal sebagai Sifat Markov (Markov Property).

Secara matematis, jika X_n menyatakan peubah acak pada waktu ke- n , maka Rantai Markov memenuhi hubungan bersyarat sebagai berikut:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_0 = x_0) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n) \quad (1)$$

Sifat-Sifat Penting Rantai Markov

Analisis sistem berbasis Rantai Markov didukung oleh beberapa sifat fundamental berikut:

1. Tanpa Memori (*No After-effect Property*): Perubahan status hanya dipengaruhi oleh kondisi pada periode terdekat.
2. Distribusi Stasioner (*Stationary Distribution*): Distribusi probabilitas status $\eta_{(i)}$ memenuhi persamaan keseimbangan

$$\eta_{(i)} = \sum_{j \in I} \eta_{(j)} P_{ij} \quad (2)$$

3. Sifat Ergodik (*Ergodic Property*): Apabila jumlah langkah transisi (n) cukup besar ($n \rightarrow \infty$), peluang transisi menuju status tertentu akan berangsur-angsur stabil menuju nilai konstanta atau limit tertentu yang independen terhadap status awal:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij} = \eta_{(j)} \quad (3)$$

4. Keterhubungan Status (*Interlinked Property*)

Rantai Markov Waktu Diskret (*Discrete-Time Markov Chain - DTMC*)

Apabila parameter waktu n bergerak dalam himpunan diskret (misalnya $n = 0, 1, 2, \dots$), maka model tersebut dinamakan Rantai Markov Waktu Diskret. Dalam konteks pemodelan pergerakan atau tren harga komoditas seperti emas, waktu diskret dapat direpresentasikan dalam satuan harian, mingguan, atau bulanan.

Matriks Probabilitas Transisi (*Transition Probability Matrix*)

Peluang perpindahan dari suatu *state* (status) ke *state* lainnya pada Rantai Markov waktu diskret dinyatakan dalam bentuk matriks probabilitas transisi. Misalkan suatu sistem memiliki sebuah *state*, maka peluang transisi satu langkah dari *state* i ke *state* j ditulis sebagai:

$$P_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (4)$$

dengan syarat bahwa probabilitas transisi tersebut bernilai non-negatif dan jumlah total peluang transisi dari suatu *state* asal ke seluruh *state* yang mungkin adalah 1:

$$\sum_j P_{ij} = 1 \quad \text{untuk setiap nilai } i \quad (5)$$

Seluruh elemen peluang transisi ini kemudian disusun ke dalam sebuah matriks persegi

berukuran $s \times s$, yang disebut sebagai Matriks Transisi P :

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1s} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{s1} & P_{s2} & \dots & P_{ss} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Konsep dan Rumus Waktu Kunjungan Pertama

Waktu kunjungan pertama rata-rata (m_{ij}) dari *state* i ke *state* j dihitung menggunakan persamaan rekursif Rantai Markov:

$$m_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} P_{ik} m_{kj} \quad (7)$$

METODE

Pengumpulan Data

Data historis harga emas dalam rentang waktu 2005 hingga 2025 . Sumber Databersal dari dataset publik Investing dot com. Volume Data: Jumlah total observasi yang dikumpulkan sebelum melalui proses pembersihan sebanyak 5259 data harga emas harian dari tahun 2005 sampai 2025. Dimana data 2005 sampai 2024 sebagai data training.

Penentuan State

Dalam penelitian yang berfokus pada arah pergerakan atau tren harga (seperti naik dan turunnya harga emas harian), sistem umumnya dikelompokkan ke dalam dua *state* saja yaitu:

1. State 1 (Naik): Kondisi ketika persentase pengembalian (*return*) harga emas bernilai positif atau > 0 .
2. State 2 (Turun): Kondisi ketika persentase pengembalian (*return*) harga emas bernilai kurang dari atau sama dengan 0 (≤ 0).

Dengan menggunakan dua *state* ini, matriks transisi perpindahan tren harga emas dapat disederhanakan ke dalam bentuk matriks berukuran 2×2 , di mana elemen-elemen di dalamnya merepresentasikan peluang historis perubahan arah harga dari periode sebelumnya ke periode berikutnya dan state turun jika persentase return kurang dari sama dengan nol

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Matriks Probabilitas Transisi (P)

Berdasarkan perhitungan data historis yang tersaji pada dokumen, diperoleh matriks probabilitas transisi dua *state* sebagai berikut:

$$P = \begin{pmatrix} 0.503018 & 0.496982 \\ 0.560851 & 0.439149 \end{pmatrix}$$

Matriks transisi tersebut dibaca berdasarkan baris status asal menuju kolom status tujuan (Baris $\times$ Kolom dengan urutan baris/kolom: Naik, Turun):

Peluang dari *State* Naik ke *State* Selanjutnya:

Peluang harga emas tetap/berlanjut Naik pada periode berikutnya jika hari sebelumnya berada dalam kondisi Naik adalah sebesar 0.503018 (atau sekitar 50,30%). Peluang harga emas berbalik arah menjadi Turun pada periode berikutnya jika hari sebelumnya berada dalam kondisi Naik adalah sebesar 0.496982 (atau sekitar 49,70%).

Peluang dari *State* Turun ke *State* Selanjutnya:

Peluang harga emas berbalik arah menjadi Naik pada periode berikutnya jika hari sebelumnya berada dalam kondisi Turun adalah sebesar 0.560851 (atau sekitar 56,09%). Peluang harga emas tetap/berlanjut Turun pada periode berikutnya jika hari sebelumnya berada dalam kondisi Turun adalah sebesar 0.439149 (atau sekitar 43,91%).

Berdasarkan angka probabilitas transisi di atas, terlihat bahwa peluang transisi dari kondisi turun ke naik cukup kompetitif (56,09%), yang mengindikasikan bahwa pergerakan tren harga emas memiliki sifat koreksi diri (*mean-reverting*) yang cukup kuat dalam jangka pendek sebelum akhirnya mencapai titik keseimbangan stasioner jangka panjangnya.

Perhitungan Prediksi Dinamik:

Prediksi Dinamik Langkah ke-1 ($S^{(1)}$)

Untuk melihat distribusi probabilitas arah harga emas pada periode/hari berikutnya:

$$S^{(1)} = S \times P$$

$$S^{(1)} = (0.5302 \quad 0.4698) \times \begin{pmatrix} 0.503018 & 0.496982 \\ 0.560851 & 0.439149 \end{pmatrix}$$

Komponen State 1 (Naik):

$$\begin{aligned} & (0.5302 \times 0.503018) + (0.4698 \times 0.560851) \\ & = 0.266700 + 0.263488 = 0.530188 \approx 0.5302 \text{ (atau 53.02\%)} \end{aligned}$$

Komponen State 2 (Turun):

$$(0.5302 \times 0.496982) + (0.4698 \times 0.439149)$$

$$= 0.263499 + 0.206312 = 0.469811 \approx 0.4698 \text{ (atau 46.98\%)}$$

Hasilnya:

$$S^{(1)} = (0.5302 \quad 0.4698)$$

Persamaan Kondisi Stasioner (*Steady-State Equations*)

Berdasarkan prinsip *ergodic property* dalam Rantai Markov, jika jumlah langkah waktu ($n \rightarrow \infty$), probabilitas sistem akan mencapai titik stabil $\eta = (\eta_1, \eta_2)$ yang independen terhadap kondisi awal. Persamaan matriks keseimbangannya adalah:

$$\eta P = \eta$$

Dengan syarat total probabilitas seluruh *state* sama dengan 1:

$$\eta_1 + \eta_2 = 1$$

Perhitungan Vektor Probabilitas Stasioner (π)

Distribusi stasioner $\pi = (\pi_1, \pi_2)$ memenuhi persamaan kesetimbangan matriks $\pi P = \pi$ dan syarat normalisasi $\pi_1 + \pi_2 = 1$.

Dari perkalian matriks $\pi P = \pi$, kita peroleh sistem persamaan linear:

1. $\pi_1 = 0.503018\pi_1 + 0.560851\pi_2$
2. $\pi_2 = 0.496982\pi_1 + 0.439149\pi_2$

Mari kita selesaikan persamaan pertama (1):

$$\begin{aligned} \pi_1 - 0.503018\pi_1 &= 0.560851\pi_2 \\ (1 - 0.503018)\pi_1 &= 0.560851\pi_2 \\ 0.496982\pi_1 &= 0.560851\pi_2 \\ \pi_1 &= \frac{0.560851}{0.496982}\pi_2 \approx 1.128513\pi_2 \end{aligned}$$

Gunakan syarat normalisasi $\pi_1 + \pi_2 = 1$:

$$\begin{aligned} 1.128513\pi_2 + \pi_2 &= 1 \\ 2.128513\pi_2 &= 1 \\ \pi_2 &= \frac{1}{2.128513} \approx 0.469812 \text{ (atau 46.98\%)} \end{aligned}$$

Selanjutnya hitung π_1 :

$$\pi_1 = 1 - \pi_2 = 1 - 0.469812 = 0.530188 \text{ (atau 53.02\%)}$$

- Probabilitas Jangka Panjang State 1 (Naik / π_1): 53.02%(0.5302)
- Probabilitas Jangka Panjang State 2 (Turun / π_2): 46.98%(0.4698)

Waktu Kunjungan Pertama

Dari State Naik ke State Naik ($1 \rightarrow 1$):

Membutuhkan waktu rata-rata sekitar 1,99 hingga 2,00 hari bagi sistem untuk kembali mengalami fase naik setelah hari sebelumnya berada dalam posisi naik.

Dari State Naik ke State Turun ($1 \rightarrow 2$):

Membutuhkan waktu rata-rata sekitar 2,01 hari bagi harga emas untuk berbalik arah menjadi turun terhitung sejak kondisi awal sedang naik.

Dari State Turun ke State Turun ($2 \rightarrow 2$):

Membutuhkan waktu rata-rata tepat 2,00 hari bagi sistem untuk kembali menyentuh fase turun berikutnya terhitung sejak hari ini posisinya sedang turun.

Dari State Turun ke State Naik ($2 \rightarrow 1$):

Membutuhkan waktu rata-rata sekitar 1,78 hari bagi harga emas untuk mengalami pemulihan tren (*rebound*) menjadi naik terhitung sejak hari ini berada dalam posisi turun.

Evaluasi Model

Pada bagian ini, dilakukan evaluasi terhadap performa model Rantai Markov waktu diskret dua state dalam memprediksi arah pergerakan harian harga emas. Berdasarkan hasil pengujian dan probabilitas transisi yang diperoleh, model menunjukkan tingkat akurasi prediksi sebesar 56%.

Secara keseluruhan, model Rantai Markov dua state ini cukup baik digunakan sebagai instrumen analisis awal yang transparan dan mudah diinterpretasikan. Namun, untuk penerapan riil dalam investasi berisiko tinggi, hasil prediksi berakurasi 56% ini sebaiknya tidak digunakan secara tunggal, melainkan dikombinasikan dengan analisis teknikal lanjutan atau indikator makroekonomi guna meredam risiko kesalahan sinyal.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Jika hari sebelumnya emas berada dalam kondisi Naik, peluang untuk tetap naik pada hari berikutnya adalah 50,30% dan berbalik turun sebesar 49,70%. Jika hari sebelumnya berada dalam kondisi Turun, peluang untuk berbalik menjadi Naik sebesar 56,09% dan tetap turun sebesar 43,91%, menunjukkan adanya sifat koreksi diri (*mean-reverting*) yang kuat dalam jangka pendek.

Distribusi Probabilitas Jangka Panjang (Stasioner): Dalam jangka panjang, sistem berada dalam kondisi ekuilibrium dengan probabilitas konstan di mana peluang harga emas berada pada fase Naik adalah 53,02% dan fase Turun adalah 46,98%.

Waktu Kunjungan Pertama (*First Passage Time*): Rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk berpindah atau kembali ke suatu *state* berkisar antara 1,78 hingga 2,01 hari (atau rata-rata sekitar 2 hari)

Saran

Penelitian prediksi arah harga emas menggunakan rantai Markov dua state ini adalah awal penelitian selanjutnya menentukan state yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Investing.com. (2026). *Data Historis Emas Berjangka*. Diambil dari <https://id.investing.com/commodities/gold-historical-data> (diakses pada 12 Agustus 2026).
- [2] D.G. Baur, T.K. Mc Dermott, Is gold a safe heaven? International evidence, J. Bank. Finance 34 (8) (2010) 1886–1898.
- [3] Zhang, D., & Zhang, X. (2009). Study on forecasting the stock market trend based on stochastic analysis method. *International Journal of Business and Management*, 4(6), 163-170.
- [4] D. C. Kiplangat, "Modelling selected stock prices at the Nairobi securities exchange using Markov chains," *International Journal of Science and Research Archive*, vol. 13, no. 02, pp. 1528–1542, 2024.
- [5] B. Wu and T. Duan, "The fractal feature and price trend in the gold future market at the Shanghai Futures Exchange (SFE)," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 474, pp. 99–106, 2017.
- [6] K. J. Doubleday and J. N. Esunge, "Application of Markov Chains to Stock Trends," *Journal of Mathematics and Statistics*, vol. 7, no. 2, pp. 103-106, 2011.
- [7] E. O. Amiens and D. M. Oisamoje, "Forecasting Stock Price Behaviour of Selected Manufacturing Companies in Nigeria: A Markov Chain Approach," *Nigeria Journal of Business Administration*, vol. 18, no. 1, pp. 1-19, Jan.-Jun. 2020.