SSN: 2614-6754 (print)
ISSN: 2614-3097(online)

Halaman 29309-29319
Volume 8 Nomor 2 Tahun 2024

Perbandingan Peramalan Peluang Pergerakan Harga Saham BNI dan BRI Menggunakan *Hidden Markov Model*

Kirana Azhura[1], Media Rosha[2]

[12]Program Studi Matematika, Universitas Negeri Padang
e-mail: kiranaazhuraa08@gmail.com

Abstrak

Pasar saham Indonesia saat ini didominasi oleh milenial dan generasi Z. Masalah utama yang dihadapi dalam berinvestasi adalah pasar yang sulit diprediksi. Untuk itu, perlu dilakukan suatu prediksi peluang pergerakan harga saham. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi peluang pergerakan harga saham menggunakan *Hidden Markov Model* (HMM). Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang diawali dengan studi kepustakaan dan diikuti pengambilan data harga penutupan saham BNI dan BRI yang diakses pada laman *Yahoo Finance*. Dalam melakukan peramalan dengan HMM, terlebih dahulu ditentukan perpindahan *state* masing-masing saham untuk kemudian menentukan elemen-elemen HMM. Setelah itu, data dianalisis dengan menggunakan tiga permasalahan utama dalam HMM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peluang pergerakan harga saham BNI akan mengalami sedikit kenaikan pada bulan Agustus dan Oktober, serta sedikit penurunan pada bulan September dan untuk BRI akan mengalami sedikit kenaikan tiap bulannya. Dari hasil prediksi parameter HMM dapat dilihat bahwa saham BRI memiliki peluang kenaikan lebih tinggi daripada BNI.

Kata kunci: *Peramalan, Peluang, Pergerakan Saham, Hidden Markov Model*

Abstract

Indonesia's stock market is currently dominated by millennials and generation Z. The main problem faced in investing is that the market is difficult to predict. For this reason, it is necessary to predict the chances of stock price movements. This research aims to predict the chances of stock price movements using the Hidden Markov Model (HMM). This research is an applied research that begins with a literature study and is followed by taking data on the closing prices of BNI and BRI shares accessed on the Yahoo Finance page. In forecasting with the HMM, first determine the state transfer of each stock to then determine the elements of the HMM. After that, the data is analyzed using the tree main problems in HMM. The results showed that the chances of BNI stock price movement will experience a slight increase in August and October, and a slight decrease in September and for BRI will experience a slight increase each month. From

the prediction results of the HMM parameters, it can be seen that BRI shares have a higher chance of icreasing than BNI

Keywords : *Forecasting, Probability, Stock Movement, Hidden Markov Model*

PENDAHULUAN

Pasar saham sangat berperan penting dalam membantu roda perekonomian negara. Adanya pasar saham memberi kesempatan bagi masyarakat untuk meningkatkan kekayaan melalui investasi saham. Investasi merupakan suatu kegiatan dengan harapan memperoleh keuntungan dengan cara menempatkan dana pada satu atau lebih dari satu aset selama periode tertentu [1].

Berdasarkan data Kustodian Sentral Efek Indonesia (KSEI) per April 2024 terdapat sekitar 12,7 juta investor individual di pasar modal Indonesia. Sebanyak 55,79% di antaranya berusia 30 tahun ke bawah dan 23,89% berusia antara 31-40 tahun [2]. Hal ini menunjukkan bahwa saat ini investasi sangat diminati oleh kelompok milenial dan generasi Z.

Investasi saham selain menguntungkan juga melibatkan risiko yang harus diperhitungkan. Salah satu masalah utama dalam berinvestasi saham adalah ketidakpastian pasar yang sulit diprediksi. Hal ini dikarenakan saham memiliki harga yang fluktuatif [3]. Adanya fluktuasi harga saham yang terjadi dalam setiap saat disebabkan oleh berbagai isu [4]. Kesulitan dalam mengidentifikasi faktor-faktor penentu arah pergerakan harga saham sangat mempengaruhi pasar modal. Selain itu, data historis harga saham seringkali menunjukkan pola yang tidak teratur sehingga sulit diestimasi pola pergerakannya di masa depan.

Masalah yang disebabkan karena harga saham yang berfluktuasi akan mengakibatkan kerugian finansial bagi investor karena tidak mampunya investor mengestimasi kecendrungan pasar. Hal ini akan menimbulkan ketakutan sehingga berkurangnya minat investor sehingga berdampak pada perkembangan dan pertumbuhan pasar modal. Untuk itu diperlukannya analisis terhadap pergerakan harga saham terlebih dahulu sebelum memutusan untuk berinvestasi pada suatu saham.

Saham perbankan merupakan salah satu rekomendasi investasi bagi para milenial dan generasi Z. Hal ini dikarenakan sektor perbankan menjadi pemimpin kapitalisasi saham di pasar modal [5]. Dari keempat bank BUMN di Indonesia, pada penelitian ini akan dipilih saham BNI dan BRI. Saham BNI dan BRI dipilih karena diantara keempat saham BUMN, pada indeks LQ45 per April 2024, saham BNI dan BRI berada diurutan lebih tinggi daripada saham BTN dan Bank Mandiri [6]. Untuk menentukan saham mana yang paling baik dipilih dari kedua saham tersebut maka diperlukan suatu prediksi.

Investor sering menggunakan analisis fundamental dan teknikal untuk memprediksi pergerakan harga saham [7]. Analisis fundamental melihat berbagai faktor yang mempengaruhi harga saham, dan analisis teknikal melihat data yang

dihasilkan oleh aktivitas pasar sebelumnya. Dalam penelitian ini, analisis teknikal akan digunakan untuk memprediksi peluang pergerakan harga saham.

Peluang pergerakan harga saham mengacu pada probabilitas harga saham bergerak naik, tetap, atau turun dalam satu periode tertentu di masa datang. Peluang ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti fluktuasi harga di masa lalu. Pergerakan harga saham terkait dengan kemungkinan kejadian yang tidak dapat diprediksi di masa depan [8]. Mereka juga memiliki sifat rantai Markov, yang berarti kemungkinan bahwa proses akan berkembang di masa depan hanya dipengaruhi oleh keadaan saat ini dan bukan oleh keadaan sebelumnya [9]. *Hidden Markov Model* (HMM) adalah pasangan kejadian dan penyebab kejadian yang tidak dapat diamati (*hidden*) dan membantu rantai Markov.

Hidden Markov Model (HMM) adalah perluasan dari rantai Markov di mana keadaannya hanya dapat diamati melalui pengamatan himpunan lain daripada secara langsung. Dalam HMM, rangkaian keadaan yang mendasari dan tidak teramati mengikuti rantai Markov dengan ruang keadaan berhingga, dan distribusi probabilitas pengamatan pada suatu waktu hanya dientukan oleh keadaan rantai Markov saat ini [10]. *Hidden Markov Model* (HMM) dapat dipahami sebagai mesin keadaan terbatas dimana transisi antar keadaan bersifat peluang, serta keadaan tersembunyi pada HMM memenuhi properti Markov [11].

Hidden Markov Model adalah mesin keadaan terbatas probabilistik yang terdiri dari lima mesin tupel (N, M, A, B, π) [12]. Kelima tuple ini merupakan elemen-elemen dari HMM dengan rincian sebagai berikut [13]:

a. N, merupakan banyaknya elemen keaaan tersembunyi.
b. M, merupakan jumlah observasi tiap *state*.
c. $A = [a_{ij}]$, merupakan peluang transisi, dimana a_{ij} adalah elemen dari A yang merupakan peluang bersyarat dari keadaan pada saat $t+1$, jika diketahui keadaan X pada saat t, atau

$$a_{ij} = P(X_{t+1} = j | X_t = i)$$

dimana $1 \leq i, j \leq N$.
keterangan:
a_{ij} : peluang transisi dari keadaan tersembunyi i ke keadaan tersembunyi j
P : peluang
X_{t+1} : keadaan tersembunyi pada saat $t+1$
X_t : keadaan tersembunyi saat t
N : banyaknya elemen keadaan tersembunyi

d. $B = [b_{jk}]$ atau $b_j(O_t)$, merupakan distribusi peluang observasi pada saat t pada keadaan j, dimana:

$$b_{jk} = b_j(O_t) = P(O_t = v_k | X_t = j)$$

dimana $1 \leq j \leq N, 1 \leq t \leq T$ dan $1 \leq k \leq M$.
Keterangan:
$b_j(O_t)$: peluang observasi O_t diberikan bahwa keadaan tersembunyi pada waktu t adalah j

O_t : ruang observasi pada saat t
v_k : peluang keadaan pada saat k
X_t : keadaan tersembunyi pada waktu t
N : banyaknya elemen keadaan tersembunyi
M : jumlah observasi

e. $\pi(i)$, merupakan distribusi *state* awal, dimana:

$$\pi(i) = P(X_1 = i), 1 \leq i \leq N$$

Keterangan:
$\pi(i)$: peluang bahwa keadaan awal adalah i
X_1 : keaadan tersembunyi pada saat $t = 1$ (awal)
N : banyaknya elemen keadaan tersembunyi

Jadi, HMM dapat ditulis dalam notasi λ=(A,B,π), di mana A representasi oleh matriks peluang transisi, B representasi oleh matriks peluang observasi, dan π representasi oleh distribusi state awal [14]. Menentukan rangkaian keadaan tersembunyi, masalah peluang observasi, dan menaksir parameter HMM adalah tiga masalah yang harus diselesaikan dalam HMM [13].

Masalah pertama dalam HMM dapat diselesaikan dengan Algoritma *Forward* dan Algoritma *Backward* [13]. Algoritma *forward*, yang disimbolkan dengan $\alpha_1(i)$, merupakan probabilitas dari urutan observasi $O_1, O_2, \dots, O_t$ dan berada di keadaan i pada waktu t. Sedangkan algoritma backward, yang disimbolkan dengan $\beta_t(i)$, adalah probabilitas dari urutan observasi $O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T$ yang dimulai dari waktu $t+1$ hingga akhir, dengan asumsi berada di keadaan i pada waktu t. Adapun perbedaan dari kedua algoritma ini adalah pada runutan observasi dari nilai peluangnya [15]. Secara umum, tahapan algoritma *forward* sama dengan algoritma *backward* yang terdiri dari inisialisasi, rekursi, dan konklusi [11]. Namun, inisialisasi mundur algoritma bergantung pada semua observasi saat ini.

Algoritma Viterbi adalah metode program dinamis yang digunakan untuk menemukan urutan keadaan tersembunyi yang ideal untuk HMM dan menghasilkan urutan observasi yang diberikan [11]. Algoritma ini dapat membantu menyelesaikan masalah kedua dalam HMM. Barisan keadaan yang mempunyai peluang paling tinggi untuk menghasilkan barisan observasi yang telah diketahui disebut sebagai urutan keadaan tersembunyi yang optimal. Hingga suatu rangkaian keadaan X yang akan memaksimumkan $P(O|X, \lambda)$. Algoritma *viterbi* mendefinisikan [16]:

$$\delta_t(i) = \max_{x_1, x_2, \dots, x_{t-1}} P(O_1, O_2, \dots, O_t, X_1, X_2, \dots, X_{t-1}, X_t = i|\lambda)$$

$$\psi_t(i) = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}}\{\delta_{t-1}(j)a_{ij}\}$$

dimana $\delta_t(i)$ merupakan peluang barisan state yang paling optimal untuk barisan observasi secara parsial, sementara $\psi_t(i)$ menyimpan state sebelumnya yang akan membentuk barisan state yang paling optimal. Algoritma Viterbi biasanya terdiri dari empat langkah: inisialisasi, rekursi, terminasi, dan *backtracking* [16].

Algoritma *Baum-Welch* [17] dapat menyelesaikan masalah ketiga dalam HMM. Algoritma ini terdiri dari empat variabel: variabel maju, variabel balik, variabel $\xi_t\ (i,j)$, dan variabel $\gamma_t\ (i)$. $\xi_t\ (i,j)$ dan $\gamma_t\ (i)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\xi_t(i,j) = P(X_t = i, X_{t+1} = j|O,\lambda)$$
$$\gamma_t(i) = P(X_t = i|O,\lambda)$$

Setelah didapatkan hasil dari empat varibel tersebut, kemudian didapatkan prediksi parameter HMM sebagai berikut [16]:

$$\hat{\pi}(i) = \gamma_t(i)$$
$$\hat{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i,j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)}$$
$$\hat{b}_j(k) = \frac{\sum_{t=1,O_t=v_k}^{T} \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^{T} \gamma_t(j)}$$

Keterangan:
$\hat{\pi}(i)$: prediksi distribusi *state* awal
$\hat{a}_{ij}$: prediksi matriks transisi *state* i ke *state* j
$\hat{b}_j(k)$: prediksi matriks

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang memiliki tujuan utama untuk memecahkan masalah peramalan peluang pergerakan harga saham yang dimulai denga analisa teori kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data dan penerapan metode HMM. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu data saham penutupan dengan periode satu bulan pada BNI dan BRI dari tanggal 1 Juli 2014 sampai dengan 1 Juli 2024, yang diperoleh dengan cara mengakses laman *Yahoo Finance*.

Sebelum dilakukan tahap analisis data menggunakan metode HMM, akan ditentukan terlebih dahulu interval di masing-masing kategori pada saham BNI dan BRI. Setiap saham yang dibagi akan menjadi empat *state*. *State* dalam kategori turun akan terdiri dari dua *state* yang mengalami banyak penurunan dan sedikit penurunan. *State* dalam kategori naik akan terdiri dari dua *State* yang mengalami banyak kenaikan dan sedikit kenaikan.

Setelah data dibagi menjadi empat *state*, dilakukan analisis data sebagai berikut:

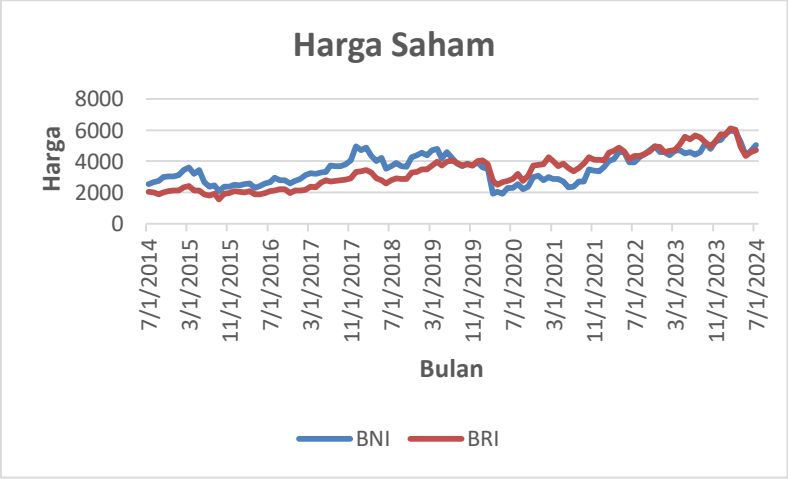
a. Menentukan elemen-elemen HMM.
b. Dengan menggunakan tiga permasalahan HMM, menganalisis elemen HMM yang telah dikumpulkan. Permasalahan-permasalahan ini meliputi penilaian peluang observasi dengan menggunakan Algoritma *Forward* atau *Backward*, penentuan peringkat keadaan tersembunyi dengan menggunakan Algoritma Viterbi, dan penggunaan Algoritma *Baum-Welch* untuk memprediksi parameter HMM.
c. Membuat interpretasi dari hasil yang telah didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengolahan dari teknik analisis data maka akan dijabarkan hasil penelitian yang diperoleh dari "Perbandingan Peramalan Peluang Pergerakan Harga Saham BNI dan BRI Menggunakan *Hidden Markov Model*".

1. Deskripsi Data

Data yang digunakan adalah data harga penutupan dari saham BNI dan BRI sepuluh tahun terakhir dengan periode satu bulan, yaitu dari Juli 2014 sampai dengan Juli 2024. Adapun grafik dari data tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Data Harga Saham BNI dan BRI Periode Bulanan dari 1 Juli 2014 Sampai Dengan 1 Juli 2024

Dari gambar grafik tersebut, terlihat bahwa data harga penutupan pada saham BNI dan BRI mengalami penurunan dan kenaikan di setiap bulannya. Berdasarkan data tersebut, didapat selisih data masing-masing saham untuk kemudian dibagi ke dalam empat *state*, yaitu *state* 1 (*state* yang berada pada keaadaan banyak penurunan), *state* 2 (*state* yang berada pada keadaan sedikit penurunan), *state* 3 (*state* yang berada pada keadaan sedikit kenaikan), dan *state* 4 (*state* yang berada pada keadaan banyak kenaikan). Berdasarkan data yang diolah untuk saham BNI didapatkan interval-interval untuk *state* 1 adalah $[-1602{,}5; -289{,}36]$, *state* 2 $[-289{,}35; 0]$, *state* 3 $[0{,}001; 218{,}75]$, dan *state* 4 $[218{,}76; 900]$. Sedangkan interval-interval untuk saham BRI, yaitu untuk *state* 1 sebesar $[-1110; 213{,}43]$, *state* 2 $[-213{,}42; 0]$, *state* 3 $[0{,}001; 180{,}34]$, dan untuk *state* 4 $[180{,}35; 663{,}625]$.

2. Hasil Analisis Data

2.1. Elemen-elemen *Hidden Markov Model*

Setelah membagi data ke dalam empat *state*, kemudian ditentukan elemen-elemen dari HMM sebagai berikut:

a. Jumlah *state* tersembunyi yang dinyatakan dengan N. Pada penelitian ini, $N = 4$ atau dapat ditulis $S_1 = P$(banyak penurunan), $S_2 = P$(sedikit penurunan), $S_3 = P$(sedikit kenaikan), dan $S_4 = P$(banyak kenaikan).
b. Jumlah observasi tiap *state* yang dinyatakan dengan M. Dalam penelitian ini $M = 2$, yaitu harga saham turun sebagai v_1 dan harga saham naik sebagai v_2.
c. Peluang transisi yang dinyatakan dengan matriks $A = [a_{ij}]$.
   1) Untuk saham BNI

$$A_{BNI} = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0{,}15 & 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}25 \\ 0{,}15 & 0{,}18 & 0{,}44 & 0{,}26 \\ 0{,}18 & 0{,}22 & 0{,}33 & 0{,}27 \\ 0{,}17 & 0{,}24 & 0{,}38 & 0{,}17 \end{bmatrix}$$

   2) Untuk saham BRI

$$A_{BRI} = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 0{,}29 & 0{,}14 & 0{,}14 & 0{,}43 \\ 0{,}22 & 0{,}18 & 0{,}30 & 0{,}30 \\ 0{,}10 & 0{,}26 & 0{,}45 & 0{,}19 \\ 0{,}16 & 0{,}26 & 0{,}39 & 0{,}19 \end{bmatrix}$$

d. Peluang bersyarat observasi yang dinyatakan dengan matriks $B = [b_{ik}]$.
   1) Untuk saham BNI

$$B_{BNI} = [b_{ik}] = \begin{matrix} \\ 0{,}40 \\ 0{,}32 \\ 0{,}40 \\ 0{,}43 \end{matrix} \begin{matrix} Turun & Naik \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} 0{,}60 \\ 0{,}68 \\ 0{,}60 \\ 0{,}57 \end{bmatrix}$$

   2) Untuk saham BRI

$$B_{BRI} = [b_{ik}] = \begin{matrix} \\ 0{,}43 \\ 0{,}41 \\ 0{,}36 \\ 0{,}42 \end{matrix} \begin{matrix} Turun & Naik \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} 0{,}57 \\ 0{,}59 \\ 0{,}64 \\ 0{,}58 \end{bmatrix}$$

e. Distribusi *state* awal yang dinyatakan dengan π. Untuk kasus harga saham diasumsikan:

$$\pi(1) = P(\text{banyak penurunan})$$
$$\pi(2) = P(\text{sedikit penurunan})$$
$$\pi(3) = P(\text{sedikit kenaikan})$$
$$\pi(4) = P(\text{banyak kenaikan})$$

   Matriks awal untuk masing-masing harga saham adalah sebagai berikut:
   1) Untuk saham BNI

$$\pi_{BNI} = \begin{bmatrix} 0{,}165 \\ 0{,}223 \\ 0{,}372 \\ 0{,}240 \end{bmatrix}$$

   2) Untuk saham BRI

$$\pi_{BRI} = \begin{bmatrix} 0{,}17 \\ 0{,}22 \\ 0{,}35 \\ 0{,}26 \end{bmatrix}$$

2.2. *Evaluation Problem* Dengan Algoritma *Forward* dan Algoritma *Backward*

Permasalahan pertama pada HMM, akan dihitung peluang model $\lambda = (A, B, \pi)$ yang dinyatakan dengan $P(O|\lambda)$ atau peluang dari barisan observasi. Dalam penelitian ini, observasi yang diinginkan yaitu untuk 3 bulan yang akan datang. Maka dengan $T = 3$ akan terdapat delapan kemungkinan barisan observasi, yaitu $O =$ (naik, naik, naik), $O =$ (naik, naik, turun), $O =$ (naik, turun, naik), $O =$ (naik, turun, turun), $O =$ (turun, naik, naik), $O =$ (turun, naik, turun), $O =$ (turun, turun, naik), $=$ (turun, turun, turun). Masalah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan algoritma *forward* dan algoritma *backward*.

Algoritma *forward* merupakan proses iterasi yang didasarkan pada perhitungan peluang bersyarat melalui sifat-sifat peluang. Secara umum algoritma *forward* terdiri atas tiga bagian, yaitu inisialisasi, induksi, dan terminasi. Sedangkan langkah algoritma *backward* hampir sama dengan algoritma *forward*, namun bedanya pada algoritma *backward* inisialisasi didasarkan pada seluruh observasi yang ada. Hasil algoritma *forward* dan algoritma *backward* untuk masing-masing saham sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Algoritma *Forward* dan *Backward* Untuk Masing-masing Saham

Urutan Observasi	BNI	BRI
(naik, naik, naik)	0,23	0,22
(naik, naik, turun)	0,15	0,14
(naik, turun, naik)	0,14	0,14
(naik, turun, turun)	0,09	0,10
(turun, naik, naik)	0,14	0,14
(turun, naik, turun)	0,09	0,10
(turun, turun, naik)	0,09	0,10
(turun, turun, turun)	0,06	0,06

Dari hasil pada Tabel 1, barisan observasi yang memiliki nilai peluang observasi terbesar untuk masing-masing saham adalah $O = (naik, naik, naik)$, dimana untuk BNI sebesar 0,23 dan untuk BRI sebesar 0,22.

2.3. *Decoding Problem* Dengan Algoritma *Viterbi*

Permasalahan ini adalah bagaimana menentukan barisan *hidden state* yang optimal, dimana dalam penelitian ini yaitu naik atau turunnya harga saham BNI dan BRI, sesuai dengan barisan observasi yang telah diasumsikan. Untuk meyelesaikan masalah ini digunakan algoritma *Viterbi* yang terdiri atas empat tahap untuk masing-masing saham, yaitu inisialisasi, rekursi, terminasi, dan *backtracking*. Barisan observasi yang diasumsikan yaitu $O = (naik, naik, naik)$ yang didapat dari algoritma *forward* dan algoritma *backward* pada tahap sebelumnya. Setelah dilakukan pengolahan data, didapatkan barisan *hidden state* yang paling optimal untuk saham BNI adalah $X^*_{BNI} = [S_3, S_2, S_3]$ dan untuk saham BRI adalah $X^*_{BRI} = [S_3, S_3, S_3]$.

Berdasarkan barisan tersembunyi yang paling optimal di atas maka prediksi untuk tiga bulan ke depan, sebagai berikut:

a. Saham BNI

Tabel 2. Prediksi Harga Saham BNI Untuk Tiga Bulan ke Depan

Bulan	BNI		
	State	Interval	Harga
Agustus 2024	S_3	$[0{,}001; 219{,}49]$	$[Rp5025{,}001; Rp5244{,}49]$
September 2024	S_2	$[-289{,}35; 0]$	$[Rp4735{,}651; Rp5244{,}49]$
Oktober 2024	S_3	$[0{,}001; 219{,}49]$	$[Rp4735{,}652; Rp5463{,}98]$

b. Saham BRI

Tabel 3. Prediksi Harga Saham BRI Untuk Tiga Bulan ke Depan

Bulan	BRI		
	State	Interval	Harga
Agustus 2024	S_3	$[0{,}001; 180{,}75]$	$[Rp4700{,}001; Rp4880{,}75]$
September 2024	S_3	$[0{,}001; 180{,}75]$	$[Rp4700{,}002; Rp5061{,}5]$
Oktober 2024	S_3	$[0{,}001; 180{,}75]$	$[Rp4700{,}003; Rp5242{,}25]$

2.4. *Learning Problem* Dengan Algoritma *Baum-Welch*

Permasalahan ini berkaitan dengan bagaimana menentukan estimasi 3 parameter HMM $A, B,$ dan π sehingga terbentuk model baru dimana $P(O|\hat{\lambda}) \geq P(O|\lambda)$. Untuk menyelesaikan permasalahan terakhir pada HMM ini, biasanya digunakan algoritma *Baum-Welch*. Hasil penaksir parameter-parameter model HMM yang optimal dari masing-masing saham adalah sebagai berikut:

a. Saham BNI

1) Nilai taksiran peluang keadaan awal saat $t = 1$, yaitu:

$$\hat{\pi} = \begin{bmatrix} \gamma_1(1) \\ \gamma_1(2) \\ \gamma_1(3) \\ \gamma_1(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}163 \\ 0{,}255 \\ 0{,}364 \\ 0{,}218 \end{bmatrix}$$

2) Taksiran matriks transisi, yaitu:

$$\hat{a}_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}147 & 0{,}281 & 0{,}342 & 0{,}230 \\ 0{,}142 & 0{,}203 & 0{,}424 & 0{,}232 \\ 0{,}175 & 0{,}251 & 0{,}328 & 0{,}246 \\ 0{,}174 & 0{,}280 & 0{,}383 & 0{,}163 \end{bmatrix}$$

3) Taksiran matriks emisi, yaitu:

$$\hat{b}_{ik} = \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} Turun & Naik \end{matrix} \begin{bmatrix} 0{,}501 & 0{,}499 \\ 0{,}501 & 0{,}499 \\ 0{,}499 & 0{,}501 \\ 0{,}500 & 0{,}500 \end{bmatrix}$$

b. Saham BRI

1) Nilai taksiran peluang keadaan awal saat $t = 1$, yaitu:

$$\hat{\pi} = \begin{bmatrix} \gamma_1(1) \\ \gamma_1(2) \\ \gamma_1(3) \\ \gamma_1(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}160 \\ 0{,}217 \\ 0{,}375 \\ 0{,}248 \end{bmatrix}$$

2) Taksiran matriks transisi, yaitu:

$$\hat{a}_{ij} = \begin{bmatrix} 0{,}274 & 0{,}144 & 0{,}157 & 0{,}425 \\ 0{,}209 & 0{,}183 & 0{,}320 & 0{,}288 \\ 0{,}088 & 0{,}253 & 0{,}478 & 0{,}181 \\ 0{,}150 & 0{,}251 & 0{,}413 & 0{,}186 \end{bmatrix}$$

3) Taksiran matriks emisi, yaitu:

$$\hat{b}_{ik} = \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{matrix} Turun & Naik \end{matrix} \begin{bmatrix} 0{,}503 & 0{,}497 \\ 0{,}498 & 0{,}502 \\ 0{,}498 & 0{,}502 \\ 0{,}503 & 0{,}497 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan hasil algoritma *Baum-Welch* tersebut, diperoleh nilai $\hat{\lambda} = (\hat{\pi}, \hat{A}, \hat{B})$ untuk masing-masing saham. Nilai prediksi parameter HMM ini dapat digunakan untuk waktu yang akan datang tanpa menentukan ulang parameter inputnya.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan tentang implementasi *Hidden Markov Model* pada peramalan peluang pergerakan harga saham, maka diperoleh dua kesimpulan yaitu: Hasil peramalan peluang pergerakan harga saham BNI dan BRI pada periode tiga bulan yang akan datang dengan menggunakan HMM menyatakan bahwa harga saham BNI akan mengalami sedikit kenaikan pada bulan pertama dan ketiga, sedangkan pada bulan kedua akan mengalami sedikit penurunan. Saham BRI akan mengalami sedikit kenaikan tiap bulannya. Karena harga saham BNI pada bulan Juli mengalami banyak kenaikan dan saham BRI mengalami sedikit kenaikan dari hasil algoritma *Baum-Welch* didapatkan bahwa yang memiliki peluang pergerakan naik lebih tinggi adalah saham BRI.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Adnyana, M. (2020). *Manajemen Investasi dan Portofolio* (Melati, Ed.). Lembaga Penerbitan Universitas Nasional.
[2] Ksei Indoneisa Central Securities Depository. (2024). *Statistik Pasar Modal indonesia*.
[3] Oktavia, I., & Nugraha, K. G. S. (2018). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Harga Saham. *Seminar Nasional Manajemen Bisnis III*, 414–422.
[4] Sudirman. (2015). *Pasar Modal dan Manajemen Portofolio* (R. Darwis, Ed.). Sultan Amai Press.

[5] Putri, A. S. (2022). Analisis Indikasi Asimetri Informasi yang Terjadi Pada Pasar Saham Sektor Perbankan di Pasar Modal Indonesia. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB*, *10*(2).
[6] Bursa Efek Indonesia. (2024). Pengumuman Evaluasi Indeks. https://www.idx.co.id/id/data-pasar/data-saham/indeks-saham
[7] Azis, M., Mintarti, S., & Nadir, M. (2015). *Manajemen Investasi (Fundamental, Teknikal, Perilaku Investor dan Return Saham)* (1st ed., Vol. 1). Deepublish.
[8] Lestari, S. S. S., & Jasuni, A. Y. (2023). Analisis Rantai Markov Lima Status pada Return Harga Saham BBCA. *Jurnal Bisnisman: Riset Bisnis Dan Manajemen*, *5*(1), 108–116.
[9] Ross, S. M. (1996). *Stochastic Processes* (second). John Wiley & Sons, Inc.
[10] MacDonald, I. L., & Zucchini, W. (1997). *Hidden Markov and Other Models for Discrete-valued Time Series*. Chapman & Hall.
[11] Coelho, J. P., Pinho, T. M., & Boaventura-Cunha, J. (2019). *Hidden Markov Models Theory and Implementation using MATLAB*. CRC Press Taylor & Francis Group.
[12] Sarangi, P. K., Nayak, B. K., & Dehuri, S. (2021). Stock Market Price Behavior Prediction Using Markov Models: A Bioinformatics Approach. *Data Analytics in Bioinformatics*, 485–506.
[13] Dymarski, P. (2011). *Hidden Markov Models, Theory and Applications*. InTech.
[14] Bhar, R., & Hamori, S. (2004). *Hidden Markov Models: Applications to Financial Economics*. Kluwer Academic Publisher.
[15] Prasetyo, M. E. B. (2011). Teori Dasar Hidden Markov Model. *Probabilitas Dan Statistik*.
[16] Rabiner, L. R. (1989). A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. *IEEE*, *77*(2).
[17] Fraser, A. M. (2008). *Hidden Markov Models and Dynamical System*. Society for Industrial and Applied Mathematics (siam).