

**PERAMALAN HARGA MINYAK BUMI MENGGUNAKAN
MODEL *HIDDEN MARKOV* DENGAN TEKNIK *SMOOTHING*
*EXPONENTIAL MOVING AVERAGE***

DIAN ARYA DWI KURNIA WIJAYA



**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Peramalan Harga Minyak Bumi menggunakan Model *Hidden Markov* dengan Teknik *Smoothing Exponential Moving Average*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2024

Dian Arya Dwi Kurnia Wijaya
G5402201012

ABSTRAK

DIAN ARYA DWI KURNIA WIJAYA. Peramalan Harga Minyak Bumi menggunakan Model *Hidden Markov* dengan Teknik *Smoothing Exponential Moving Average*. Dibimbing oleh BERLIAN SETIAWATY.

Minyak bumi merupakan hasil sumber daya alam yang memiliki beragam produk turunan dan menjadikannya suatu komoditas alam yang sangat berharga. Minyak bumi juga digunakan sebagai aset finansial yang diperdagangkan di pasar komoditas. Harga minyak bumi cukup fluktuatif sehingga kemampuan dalam peramalan sangat dibutuhkan. Karya ilmiah ini mengasumsikan harga minyak bumi memiliki faktor yang tidak teramati dan membentuk rantai Markov, sehingga model *hidden Markov* dapat digunakan. Data yang digunakan merupakan data harga penutupan mingguan minyak bumi yang diamati dari 5 Januari 2009 sampai 12 Februari 2024, diperoleh proporsi data *training* terbaik yaitu 93.5% data atau sebanyak 737 data. Model *hidden Markov* yang dibentuk menunjukkan adanya tiga *state* tersembunyi yang secara berurutan memiliki sebaran Weibull(2.56, 22.74, 75.86), Weibull(3.02, 19.19, 55.20), dan Weibull(23.05, 171.74, -119.14). Hasil simulasi diperoleh MAPE data *training* sebesar 17.78% dan MAPE data *testing* sebesar 10.02%. Teknik pemulusan *exponential moving average* dengan $\alpha = 0.095$ pada data simulasi dapat menurunkan nilai MAPE menjadi 13.42% pada MAPE *training* dan 7.05% pada MAPE *testing*.

Kata kunci: HMM kontinu, pemulusan, minyak bumi

ABSTRACT

DIAN ARYA DWI KURNIA WIJAYA. Forecasting Crude Oil Prices using the Hidden Markov Model with Exponential Moving Average Smoothing Technique. Supervised by BERLIAN SETIAWATY.

Crude oil is a natural resource that yields a variety of derivative products, thus making it a highly valuable natural commodity. Crude oil is also utilized as a financial asset traded in commodity markets. Given the considerable volatility of crude oil prices, the ability to forecast accurately is highly essential. This scientific work assumes that the price of crude oil has unobserved factors and forms a Markov chain. Thus, the Hidden Markov Model can be used. The data used is weekly closing price of crude oil, observed from January 5, 2009, to February 12, 2024, the best proportion of training data obtained is 93.5%, totaling 737 data points. the hidden Markov model formed indicates the presence of three hidden states, sequentially exhibiting Weibull(2.56, 22.74, 75.86), Weibull(3.02, 19.19, 55.20), and Weibull(23.05, 171.74, -119.14). Simulation results yield a MAPE of 17.78% for the training data and a MAPE of 10.02% for the testing data. The exponential moving average smoothing technique with $\alpha = 0.095$ applied to the simulation data can reduce the MAPE to 13.42% for the training set and 7.05% for the testing set.

Keywords: continuous HMM, crude oil, smoothing.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PERAMALAN HARGA MINYAK BUMI MENGGUNAKAN MODEL *HIDDEN MARKOV* DENGAN TEKNIK *SMOOTHING* *EXPONENTIAL MOVING AVERAGE*

DIAN ARYA DWI KURNIA WIJAYA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Aktuaria pada
Program Studi Aktuaria

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Ir. Retno Budiarti M.S.
- 2 Ruhiyat S.Si., M.Si., M.Act.Sc.

Judul Skripsi : Peramalan Harga Minyak Bumi menggunakan Model *Hidden Markov* dengan Teknik *Smoothing Exponential Moving Average*

Nama : Dian Arya Dwi Kurnia Wijaya

NIM : G5402201012

Disetujui oleh

Pembimbing:

Dr. Dra. Berlian Setiawaty, M.S.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Matematika:

Dr. Ir. Endar Hasafah Nugrahani, M.S.

NIP. 196312281989032001

Tanggal Ujian: 11 Juni 2024

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2023 sampai bulan Juni 2024 ini ialah model *hidden* Markov, dengan judul “Peramalan Harga Minyak Bumi menggunakan Model *Hidden* Markov dengan Teknik *Smoothing Exponential Moving Average*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Dra. Berlian Setiawaty, M.S. selaku dosen pembimbing atas segala ilmu dan saran yang telah diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Ir. Retno Budiarti M.S. dan Ruhiyat S.Si., M.Si., M.Act.Sc. selaku dosen penguji atas kritik dan saran yang diberikan, dan pihak Tata Usaha Departemen Matematika atas bantuan dalam segala urusan administrasi. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada orang tua tercinta dan kerabat atas doa dan dukungan, serta kasih sayang yang telah diberikan sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada teman-teman Aktuaria dan Matematika yang selalu memberi dukungan dan semangat selama menjalani perkuliahan hingga menyelesaikan karya ilmiah ini.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penulisan karya ilmiah ini karena terbatasnya ilmu yang dimiliki. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

Dian Arya Dwi Kurnia Wijaya

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II LANDASAN TEORI	4
2.1 Teori Peluang	4
2.2 Sebaran Kontinu	5
2.3 Sebaran Campuran	8
2.4 Rantai Markov	8
2.5 <i>K-medoids Clustering</i>	9
2.6 Uji Anderson-Darling	9
2.7 <i>Exponential Moving Average (EMA)</i>	10
2.8 <i>Mean Absolut Percentage Error (MAPE)</i>	10
III <i>HIDDEN MARKOV MODEL</i>	12
3.1 <i>Hidden Markov Model</i>	12
3.2 <i>Hidden Markov Model Diskret</i>	13
3.3 <i>Hidden Markov Model Kontinu</i>	20
IV METODE PENELITIAN	27
4.1 Data dan Perangkat Lunak	27
4.2 Langkah-langkah Penelitian	27
V HASIL DAN PEMBAHASAN	28
5.1 Eksplorasi Data	28
5.2 Pemodelan <i>Hidden Markov</i> Diskret	29
5.3 Pemodelan <i>Hidden Markov</i> Kontinu	32
5.4 Simulasi dan Pemulusan <i>Exponential Moving Average</i>	35
VI SIMPULAN DAN SARAN	40
6.1 Simpulan	40
6.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43
RIWAYAT HIDUP	58



DAFTAR TABEL

2.1	Rumus penghitungan <i>p-value</i> untuk distribusi normal	10
2.2	Kriteria hasil nilai MAPE	11
5.1	Proporsi data <i>training</i> dan data <i>testing</i>	29
5.2	Hasil AIC dan BIC terbaik pada setiap skenario proporsi data <i>training</i>	30
5.3	Ringkasan statistik lima serangkai pada masing-masing gerombol	31
5.4	Ringkasan statistik lima serangkai pada masing-masing <i>state</i>	32
5.5	Nilai <i>p-value</i> pada hasil uji Anderson-Darling	33
5.6	Nilai <i>loglikelihood</i> pada setiap kombinasi distribusi	34
5.7	Ringkasan nilai MAPE pada setiap model	38

DAFTAR GAMBAR

2.1	Fungsi kepekatan dan fungsi sebaran dari peubah acak kontinu yang menyebar seragam	5
2.2	Fungsi kepekatan dari peubah acak kontinu normal	6
2.3	Grafik fungsi kepekatan peluang (kiri) dan fungsi sebaran (kanan) dari peubah acak yang menyebar eksponensial	6
2.4	Grafik fungsi kepekatan peluang distribusi gamma dengan $\beta = 4$ (kiri) dan fungsi kepekatan peluang distribusi gamma dengan $\alpha = 4$ (kanan)	7
3.1	Struktur <i>hidden</i> Markov model	12
5.1	Grafik pergerakan harga penutupan mingguan minyak bumi	28
5.2	Histogram dan <i>boxplot</i> harga penutupan mingguan minyak bumi	28
5.3	Visualisasi penggerombolan data harga mingguan minyak bumi	30
5.4	<i>Boxplot</i> data harga pada setiap <i>hidden state</i>	32
5.5	Hasil pemodelan tiga sebaran terbaik pada setiap <i>hidden state</i>	33
5.6	Visualisasi <i>hidden state</i> HMM kontinu pada data teramati	35
5.7	Perbandingan plot data <i>training</i> dengan data bangkitan HMM	36
5.8	Perbandingan plot data <i>testing</i> dengan data bangkitan HMM	36
5.9	Plot MAPE <i>training</i> untuk setiap nilai α pada pemulusan EMA	37
5.10	Perbandingan plot data <i>training</i> dengan data bangkitan HMM-EMA (0.095)	37
5.11	Perbandingan plot data <i>testing</i> dengan data bangkitan HMM-EMA (0.095)	38
5.12	Visualisasi <i>hidden state</i> pada data simulasi dan data prediksi	38

DAFTAR LAMPIRAN

1	Pembuktian Lema 1	44
2	Penurunan rumus pada Persamaan 3.12, 3.13, 3.14, dan 3.15	45

3	Penurunan rumus pada Persamaan 3.26	48
4	Kombinasi nilai AIC terbaik untuk masing-masing skenario proporsi data <i>training</i>	50
5	Kombinasi pasangan nilai BIC untuk AIC terbaik pada masing-masing skenario proporsi data <i>training</i>	53
6	Data <i>testing</i> pada data aktual dan data hasil bangkitan	56

