



PEMODELAN HARGA INDEKS DOLAR AS BERJANGKA MENGGUNAKAN HIDDEN MARKOV MODEL

DAVID VIJANARCO MARTAL



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



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Harga Indeks Dolar AS Berjangka Menggunakan *Hidden Markov Model*” 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

David Vijanarco Martal
G5402201051

- 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.



DAVID VIJANARCO MARTAL. Pemodelan Harga Indeks Dolar AS Berjangka Menggunakan *Hidden* Markov Model. Dibimbing oleh BERLIAN SETIAWATY.

Penelitian ini menggunakan Hidden Markov Model (HMM) kontinu untuk memodelkan data harga indeks dolar AS berjangka. Dua pendekatan diterapkan: HMM kontinu tanpa diskretisasi dan HMM kontinu dengan diskretisasi. Hasil menunjukkan bahwa kedua model menghasilkan prediksi yang sangat akurat dengan MAPE kurang dari 10%. Hasil visualisasi prediksi harga juga menunjukkan hasil yang baik dalam memprediksi pergerakan harga. *Hidden* Markov model kontinu tanpa diskretisasi cenderung memberikan hasil yang sedikit lebih baik daripada HMM kontinu dengan diskretisasi. HMM kontinu tanpa diskretisasi menggunakan jumlah *hidden state* yang lebih banyak dalam parameter yang digunakan. HMM kontinu dengan diskretisasi dapat dengan mudah dikombinasikan dengan berbagai sebaran yang dapat menggambarkan datanya.

Kata kunci: Indeks Dolar AS Berjangka, *Hidden* Markov Model (HMM), HMM Kontinu, Pemodelan, Prediksi Harga.

ABSTRACT

DAVID VIJANARCO MARTAL. US Dollar Index Futures Price Modeling Using Continuous Hidden Markov. Supervised by BERLIAN SETIAWATY.

This study employs the continuous Hidden Markov Model (HMM) to model the futures price data of the US Dollar Index. Two approaches are applied: continuous HMM without discretization and continuous HMM with discretization. The results indicate that both models produce highly accurate predictions with MAPE (Mean Absolute Percentage Error) less than 10%. The price prediction visualization results also show good results in predicting price movements. The continuous HMM without discretization tends to yield slightly better results than the continuous HMM with discretization. Continuous HMM without discretization uses more hidden states in used parameters. Continuous HMM with discretization can be easily combined with various distributions that can describe the data.

Keywords: US Dollar Index Futures, Hidden Markov Model, Continuous HMM, Modeling, Price Prediction.



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.



PEMODELAN HARGA INDEKS DOLAR AS BERJANGKA MENGGUNAKAN HIDDEN MARKOV MODEL

DAVID VIJANARCO MARTAL

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 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 Ir. Ngakan Komang Kutha Ardana, M.Sc.



Judul Skripsi : Pemodelan Harga Indeks Dolar AS Berjangka Menggunakan
Hidden Markov Model
Nama : David Vijanarco Martal
NIM : G5402201051

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Dra. Berlian Setiawaty, M.S.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Matematika:
Dr. Ir. Endar H. Nugrahani, M.S.
NIP. 196312281989032001

Tanggal Ujian: 5 Juni 2024

Tanggal Lulus:



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a.

b.

c.

d.

e.

f.

g.

h.

i.

j.

k.

l.

m.

n.

o.

p.

q.

r.

s.

t.

u.

v.

w.

x.

y.

z.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.

dd.

ee.

ff.

gg.

hh.

ii.

jj.

kk.

ll.

mm.

nn.

oo.

pp.

qq.

rr.

ss.

tt.

uu.

vv.

ww.

xx.

yy.

zz.

aa.

bb.

cc.



| | |
|--|----|
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xi |
| I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| II LANDASAN TEORI | 3 |
| 2.1 Indeks Dolar AS Berjangka | 3 |
| 2.2 Peubah Acak | 3 |
| 2.3 Proses Stokastik | 4 |
| 2.4 <i>Hidden Markov Model</i> | 5 |
| 2.5 <i>K-Means Clustering</i> | 6 |
| 2.6 Metode Maksimum <i>Likelihood</i> | 7 |
| 2.7 Uji Kolmogorov-Smirnov | 7 |
| 2.8 <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i> | 8 |
| III METODE PENELITIAN | 9 |
| 3.1 Analisis Data | 9 |
| 3.2 Perangkat | 9 |
| 3.3 Prosedur Kerja | 9 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 11 |
| 4.1 Deskripsi Data | 11 |
| 4.2 Pemodelan HMM Kontinu dengan Diskretisasi | 12 |
| 4.3 Pemodelan HMM Kontinu Tanpa Diskretisasi | 21 |
| 4.4 Akurasi Model | 24 |
| V SIMPULAN DAN SARAN | 31 |
| 5.1 Simpulan | 31 |
| 5.2 Saran | 31 |
| DAFTAR PUSTAKA | 32 |
| LAMPIRAN | 34 |
| RIWAYAT HIDUP | 40 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



| | | |
|----|---|----|
| 1 | Nilai AIC untuk setiap percobaan kombinasi beragam N dan M | 13 |
| 2 | Ringkasan data tiap <i>cluster</i> dari HMM diskret | 14 |
| | Ringkasan barisan <i>state</i> tersembunyi dari HMM diskret | 15 |
| | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 1 ($f_1^{(j)}$) | 16 |
| | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 2 ($f_2^{(j)}$) | 16 |
| | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 3 ($f_3^{(j)}$) | 17 |
| | Hasil uji K-S pada tiga sebaran tiap <i>state</i> | 17 |
| | Estimasi sebaran terbaik pada puncak 1 dan 2 | 18 |
| | Hasil uji K-S pada estimasi sebaran data puncak 1 dan 2 | 19 |
| | Hasil uji K-S pada estimasi sebaran data <i>state</i> 1 | 19 |
| 10 | Nilai <i>log-likelihood</i> setiap kombinasi sebaran pada model | 20 |
| 11 | Nilai AIC untuk beberapa jenis sebaran dan jumlah <i>state</i> yang berbeda | 21 |
| 12 | Ringkasan barisan <i>state</i> tersembunyi dari HMM kontinu | 23 |
| 13 | Hasil uji K-S pada data tiap <i>state</i> HMM kontinu | 24 |
| 14 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu pada data latih | 25 |
| 15 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu dengan diskretisasi | 28 |
| 16 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu tanpa diskretisasi | 29 |
| 17 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu tanpa diskretisasi | 29 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Harga penutupan harian indeks dolar AS berjangka | 11 |
| 2 | <i>Boxplot</i> harga penutupan harian indeks dolar AS berjangka | 11 |
| 3 | <i>Histogram</i> harga penutupan harian indeks dolar AS berjangka | 12 |
| 4 | Visualisasi <i>state</i> HMM kontinu pada data | 14 |
| 5 | <i>Histogram</i> data <i>state</i> 1 HMM kontinu dengan diskretisasi | 18 |
| 6 | Visualisasi <i>state</i> HMM kontinu dengan kombinasi 16 <i>state</i> dan distribusi lognormal pada data | 23 |
| 7 | Hasil simulasi data latih dengan MAPE 4.09402% | 25 |
| 8 | Hasil simulasi data latih pada rentang waktu 1 sampai dengan 358 | 26 |
| 9 | Hasil simulasi data latih pada rentang waktu 359 sampai dengan 716 | 26 |
| 10 | Hasil simulasi data latih pada rentang waktu 717 sampai dengan 1074 | 26 |
| 11 | Hasil simulasi data latih pada rentang waktu 1075 sampai dengan 1434 | 27 |
| 12 | Hasil simulasi data latih dengan MAPE 1.88241% | 27 |
| 13 | Hasil prediksi pada data uji dengan MAPE 7.69974% | 29 |
| 14 | Hasil prediksi pada data uji dengan MAPE 1.40749% | 30 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Algoritma <i>forward</i> | 35 |
| 2 | Algoritma <i>backward</i> | 36 |
| 3 | Algoritma Viterbi | 37 |
| 4 | Algoritma Baum-Welch dan <i>expectation maximization</i> | 38 |
| 5 | Nilai AIC untuk beberapa jenis sebaran dan jumlah <i>state</i> | 39 |

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 titik merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.