

# **PEMODELAN HARGA INDEKS DOLAR AS BERJANGKA MENGUNAKAN *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



## ABSTRAK

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 MENGUNAKAN *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 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 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:

## 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 Desember 2023 sampai bulan April 2024 ini ialah ekonomi, keuangan, dan aktuaria, dengan judul "Pemodelan Harga Indeks Dolar AS Berjangka Menggunakan *Hidden Markov Model*".

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Berlian Setiawaty, M.S. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan serta saran selama penyusunan karya ilmiah ini.
2. Ayah (Martal Hadi Santoso), ummi (Soleha), kakak (Lena Fitriyani Martal), dan seluruh keluarga tercinta atas doa dan kasih sayang, serta dukungan yang selalu diberikan kepada penulis.
3. Bapak Charles Setiawan selaku *Head* Departemen *Pricing*, Bapak Tommy Intias selaku manajer di PT Asuransi Allianz Life Indonesia, dan seluruh staf PT Asuransi Allianz Life Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama melaksanakan magang, serta ide dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan karya ilmiah ini.
4. Ibu Dr. Ir. Retno Budiarti, M.S. selaku pembimbing akademik yang telah membimbing, memberikan saran, dan izin kepada penulis selama menjalani proses perkuliahan.
5. Bapak Ir. Ngakan Komang Kutha Ardana, M.Sc. selaku dosen penguji pada tugas akhir penulis.
6. Dosen, staf, serta seluruh *civitas academica* Departemen Matematika FMIPA IPB yang turut membantu dalam kelancaran tugas akhir ini.
7. Teman-teman Matematika dan Aktuaria 57, IKPMR Bogor, Asrama Riau Bogor, SAM ASSA IPB, Jogja, Abc Club, Sdgs *people*, Cavalry SMAN Plus Provinsi Riau, serta pihak-pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas dukungannya.

Mohon maaf atas segala kekurangan ataupun kesalahan penulis dalam penyusunan karya ilmiah ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

*David Vijanarco Martal*



## DAFTAR ISI

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 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 |



## DAFTAR TABEL

|    |                                                                             |    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Nilai AIC untuk setiap percobaan kombinasi beragam $N$ dan $M$              | 13 |
| 2  | Ringkasan data tiap <i>cluster</i> dari HMM diskret                         | 14 |
| 3  | Ringkasan barisan <i>state</i> tersembunyi dari HMM diskret                 | 15 |
| 4  | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 1 ( $f_1^{(j)}$ )      | 16 |
| 5  | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 2 ( $f_2^{(j)}$ )      | 16 |
| 6  | Estimasi tiga sebaran terbaik pada data <i>state</i> 3 ( $f_3^{(j)}$ )      | 17 |
| 7  | Hasil uji K-S pada tiga sebaran tiap <i>state</i>                           | 17 |
| 8  | Estimasi sebaran terbaik pada puncak 1 dan 2                                | 18 |
| 9  | Hasil uji K-S pada estimasi sebaran data puncak 1 dan 2                     | 19 |
| 10 | Hasil uji K-S pada estimasi sebaran data <i>state</i> 1                     | 19 |
| 11 | Nilai <i>log-likelihood</i> setiap kombinasi sebaran pada model             | 20 |
| 12 | Nilai AIC untuk beberapa jenis sebaran dan jumlah <i>state</i> yang berbeda | 21 |
| 13 | Ringkasan barisan <i>state</i> tersembunyi dari HMM kontinu                 | 23 |
| 14 | Hasil uji K-S pada data tiap <i>state</i> HMM kontinu                       | 24 |
| 15 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu pada data latih           | 25 |
| 16 | Nilai MAPE hasil simulasi menggunakan HMM kontinu dengan diskretisasi       | 28 |
| 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  | Histogram harga penutupan harian indeks dolar AS berjangka                                               | 12 |
| 4  | Visualisasi <i>state</i> HMM kontinu pada data                                                           | 14 |
| 5  | Histogram 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 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.