

# PERBANDINGAN KINERJA MODEL GARCH DAN COPULA-GARCH UNTUK PENDUGAAN *VALUE AT RISK* PADA BITCOIN DAN ETHEREUM

FEBRI LIA ADI CANDRA



PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025

@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



### *@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.



## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Perbandingan Kinerja Model GARCH dan Copula-GARCH untuk Pendugaan *Value at Risk* pada Bitcoin dan Ethereum” 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 tesis ini.

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

Bogor, Januari 2025

Febri Lia Adi Candra  
G1501202072

- 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.



## RINGKASAN

FEBRI LIA ADI CANDRA. Perbandingan Kinerja Model GARCH dan Copula-GARCH untuk Pendugaan *Value at Risk* pada Bitcoin dan Ethereum. Dibimbing oleh YENNI ANGRAINI dan AGUS MOHAMAD SOLEH

Studi mengenai permodelan GARCH yang digunakan untuk menganalisis ragam yang tidak konstan pada data deret waktu masih berkembang hingga saat ini. Model GARCH lebih cocok digunakan daripada metode deret waktu lainnya untuk melakukan prediksi terhadap data makroekonomi. Akan tetapi, model GARCH juga masih terdapat beberapa keterbatasan. Sebagai contoh, asumsi bahwa galat positif dan negatif memberikan efek yang sama pada volatilitas. Model GARCH asimetris dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Model GARCH asimetris terutama GJR-GARCH dinilai sebagai model yang akurat karena mengasumsikan volatilitas cenderung lebih tinggi ketika harga mengalami penurunan (*negative shock*) daripada ketika harga mengalami kenaikan (*positive shock*).

Penggunaan GARCH untuk menganalisis pasar keuangan ternyata belum cukup akurat karena hanya melihat berdasarkan volatilitas aset yang diteliti, tapi juga perlu dilihat struktur dependensinya. Struktur dependensi adalah suatu ukuran ketergantungan peubah terutama pergerakan di bagian ekor suatu sebaran. Copula-GARCH adalah model multidimensional yang memodelkan struktur dependensi menggunakan fungsi copula. Aplikasi model copula-GARCH telah beberapa kali dilakukan pada data aset finansial. Model copula-GARCH tidak selalu mendapatkan hasil yang lebih baik dari model lainnya terutama pada pasar mata uang kripto. Kelemahan copula-GARCH yang diidentifikasi terutama jika diaplikasikan terhadap Bitcoin dan Ethereum. Bitcoin dan Ethereum memiliki sifat yang berbeda dengan aset finansial lainnya. Fluktuasi harga yang tinggi membuat Bitcoin tidak diminati sebagai alat tukar. Sebagai aset finansial atau investasi, Bitcoin juga memiliki risiko yang sangat besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis risiko untuk mengetahui potensi kerugian apabila akan melakukan investasi ke pasar mata uang kripto.

Salah satu metode yang sering digunakan sebagai analisis risiko yang digabungkan dengan copula-GARCH adalah *Value at Risk* (VaR). *Value at Risk* (VaR) adalah suatu metode pengukuran risiko secara statistik yang memperkirakan kerugian maksimum yang mungkin terjadi atas suatu portofolio pada tingkat kepercayaan tertentu. VaR dapat dihitung dengan tiga metode yang berbeda yaitu dengan pendekatan ragam-peragam, simulasi Monte Carlo, dan pendekatan historis. Penelitian ini menggunakan simulasi Monte Carlo sebagai metode untuk pendugaan VaR.

Penelitian ini bertujuan melakukan perbandingan model GARCH dan GJR-GARCH dengan ordo  $(q,p)$  dan asumsi sebaran normal dan *student-t*. Melakukan pemilihan model copula terbaik diantara copula Normal, *student-t*, Clayton dan Gumbel berdasarkan GARCH yang dipilih dan melakukan evaluasi performa pendugaan VaR yang diperoleh melalui model GARCH dan GJR-GARCH.

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data empiris dari mata uang kripto Bitcoin dan Ethereum dengan *timeframe* 1 hari yang berasal dari laman *gemini*. Interval waktu ditetapkan dari tanggal 9 Mei 2016 hingga 17 November 2024, sehingga jumlah amatan  $t$  sebanyak 3115 observasi. Harga kedua

peubah ditransformasi menjadi *return* untuk memenuhi asumsi stasioneritas dalam pembentukan model dan memudahkan dalam komputasi. Data juga dibagi menjadi tiga set data latih dan data uji untuk pembentukan model GARCH. Pembagian data bertujuan untuk melihat kekonsistenan model. Hal ini diperlukan karena pola pergerakan *return* yang berfluktuasi sangat tinggi.

Analisis pertama dilakukan dengan membentuk model GARCH dan GJR-GARCH dengan ordo dan asumsi sebaran yang telah ditetapkan. Model terbaik dipilih berdasarkan *loglikelihood* terbesar, AIC dan BIC terkecil. Perbandingan ketiga kriteria tersebut menghasilkan kesimpulan GJR-GARCH (2,1) asumsi *student-t* sebagai model terbaik untuk peubah Bitcoin dan GJR-GARCH (1,2) asumsi sebaran *student-t* untuk peubah Ethereum. Hasil yang konsisten didapat pada data ketiga data latih. Evaluasi kedua dilakukan dengan melihat nilai RMSE. RMSE model GJR-GARCH pada Bitcoin lebih rendah dari RMSE pada Ethereum. Hal ini disebabkan pola pergerakan *return* pada peubah Ethereum lebih lebar dari Bitcoin. RMSE pada data uji kedua peubah juga lebih rendah dari data latih. Jumlah observasi dan pendugaan rata-rata yang menggunakan konstanta yang menjadi penyebab perbedaan nilai tersebut. Selanjutnya, dilakukan simulasi parameter pendugaan GARCH terbaik pada kedua peubah. Simulasi dilakukan dengan membangkitkan 383 observasi sebanyak 50 kali. Simulasi dimulai dari observasi ke 2732, kemudian *return* simulasi ditransformasi kembali menjadi peubah harga. Hasil transformasi dibandingkan dengan harga aktual. Hasil simulasi menunjukkan pola tren yang mirip tapi dugaan harga masih lebih rendah dari harga aktual.

Copula terbaik dipilih antara empat copula, yaitu copula normal, *student-t*, Clayton dan Gumbel. Pemilihan copula terbaik berdasarkan kriteria nilai *loglikelihood* terbesar, AIC dan BIC terkecil. Keempat copula dibangun menggunakan peubah acak *standardized residuals* dari masing-masing model GARCH terbaik pada data latih tiga. Nilai ketiga ukuran kebaikan menghasilkan kesimpulan copula terbaik adalah copula *student-t*. Simulasi Monte Carlo bekerja dengan menggunakan parameter copula *student-t* untuk membangkitkan peubah acak dan membentuk *return* simulasi. *Return* tersebut digunakan untuk menghitung VaR berdasarkan model copula-GARCH.

*Value at Risk* berdasarkan model GJR-GARCH dihitung dengan cara *rolling window* dengan metode *moving average* untuk 383 observasi kedepan. *Refitting* dilakukan setiap 50 observasi. Sedangkan VaR berdasarkan copula-GARCH dihitung dengan mengambil kuantil 0.01 dan 0.05 untuk setiap *return* simulasi dan diulang sebanyak 383 kali. *Value at Risk* yang dihitung menggunakan model GJR-GARCH menunjukkan bahwa terdapat enam pada VaR 99% dan 38 pada VaR 95% *return* yang lebih kecil dari VaR untuk peubah Bitcoin dan terdapat dua pada VaR 99% dan 28 pada VaR 95% observasi *return* yang lebih kecil dari VaR pada Ethereum. Sedangkan, VaR yang dihitung berdasarkan pendekatan copula-GARCH menghasilkan kesimpulan terdapat dua pada VaR 99% dan 24 pada VaR 95% observasi yang lebih kecil dari VaR. Hasil uji Kupiec menghasilkan kesimpulan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara frekuensi harapan *return* lebih kecil dari VaR dan frekuensi aktual *return* lebih besar kecil dari VaR untuk semua pendekatan penghitungan VaR, kecuali pada Bitcoin VaR 95%.

Kata kunci: *return*, GJR-GARCH, *student-t*, uji kupiec

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.





## SUMMARY

FEBRI LIA ADI CANDRA. Performance Comparison of GARCH and Copula-GARCH Model for Estimating Value at Risk of Bitcoin and Ethereum. Supervised by YENNI ANGRAINI and AGUS MOHAMAD SOLEH

Studies on GARCH modeling which is used to analyze non-constant variance in time series data are still developing today. The GARCH model is more suitable than other time series methods for making predictions on macroeconomic data. However, the GARCH model still has several limitations. For example, it assumes that positive and negative errors have the same effect on volatility. The asymmetric GARCH model was developed to overcome these limitations. The asymmetric GARCH model, especially GJR-GARCH, is considered an accurate model because it assumes that volatility tends to be higher when prices decrease (negative shock) than when prices increase (positive shock).

It turns out that using GARCH to analyze financial markets is not accurate enough because it only looks at the volatility of the instruments being studied, but also needs to look at the dependency structure. Dependency structure is a measure of movement in the tail of a distribution. Copula-GARCH is a multidimensional model that models dependency structures using the copula function. The application of the copula-GARCH model has been carried out several times on financial asset data. However, the copula-GARCH model does not always get better results than other models, especially in the cryptocurrency market. The weaknesses of copula-GARCH are identified especially when applied to Bitcoin and Ethereum because Bitcoin and Ethereum have different properties from other financial instruments. High price fluctuations make Bitcoin undesirable as a currency. As a financial asset or investment, Bitcoin also carries enormous risks. Therefore, it is necessary to carry out a risk analysis to determine potential losses before investing in the cryptocurrency.

One method that is often used as risk analysis combined with copula-GARCH is Value at Risk (VaR). Value at Risk (VaR) is a statistical risk measurement method that estimates the maximum loss that may occur in a portfolio at a certain level. Value at Risk can be calculated using three different methods, such as variance-covariance approach, Monte Carlo simulation, and the historical approach. This research uses Monte Carlo simulation as a method for estimating VaR.

This research aims to compare the GARCH and GJR-GARCH models with order  $(q, p)$  and standard Normal and student-t distribution assumptions. Select the best copula model between Normal, Student-t, Clayton and Gumbel copulas based on the selected GARCH and evaluate the performance of VaR estimation obtained using the GARCH and GJR-GARCH models.

The data used in this research are empirical data from the Bitcoin and Ethereum cryptocurrencies with a 1 day timeframe downloaded from the *Gemini*. The time interval is set from May 9 2016 to November 17 2024, so the number of observations is 3115 observations. The prices of the two variables are transformed into returns to fulfill the stationarity assumption in model formation and make it easier to compute. The data is also divided into three sets of training data and test data for establishing the GARCH model. Data splitting aims to see the consistency of the model. This is necessary because the return movement pattern fluctuates very highly.

The first analysis was carried out by forming GARCH and GJR-GARCH models with predetermined distribution orders and assumptions. The best model is selected

based on the largest loglikelihood, smallest AIC and BIC. Comparison of these three criteria results in the conclusion that GJR-GARCH (2,1) assumes student-t as the best model for Bitcoin and GJR-GARCH (1,2) assumes student-t distribution for Ethereum. Consistent results were also obtained on the all set of training data. The second evaluation was carried out by looking at the RMSE value. The RMSE of the GJR-GARCH model on Bitcoin is lower than the RMSE on Ethereum. This is because the return movement pattern on the Ethereum variable is wider than Bitcoin. RMSE on the test data for both variables is also lower than the training data. The number of observations and estimates of the average using constants is the cause of the difference between those values. Next, a simulation of the best GARCH estimation parameters for the two variables is carried out. The simulation was carried out by generating 383 observations 50 times. The simulation starts from the 2732nd observation, then the simulated returns are transformed back into price variables. The transformation results are compared with actual prices. The simulation results show a similar trend pattern but the estimated price is still lower than the actual price.

The best copula was selected from four copulas, Normal, Student-t, Clayton and Gumbel copulas. Selection of the best copula based on the criteria of the smallest AIC value. The four copulas were built using random variable standardized residuals from each of the best GARCH models on the three training data. The smallest AIC value is -2615.08 on the student-t copula. Monte Carlo simulation works by using student-t copula parameters to generate random variables and form simulated returns. The return is used to calculate VaR based on the copula-GARCH model.

Value at Risk based on the GJR-GARCH model is calculated using a rolling window with the moving average method for 383 future observations. Refitting is carried out every 50 observations. Meanwhile, VaR based on copula-GARCH is calculated by taking the 0.01 and 0.05 quantiles for each simulated return and repeated 383 times. Value at Risk calculated using the GJR-GARCH model shows that there are six at VaR 99% and 38 at VaR 95% return which are smaller than the VaR for Bitcoin variables and there are two at VaR 99% and 28 at VaR 95% return observations that are smaller than VaR on Ethereum. Meanwhile, VaR calculated based on the copula-GARCH approach resulted in the conclusion that there were two VaR 99% and 24 VaR 95% observations which were smaller than VaR. The results of the Kupiec test conclude that there is no significant difference between the expected frequency of returns smaller than VaR and the actual frequency of returns greater or less than VaR for all VaR calculation approaches, except for Bitcoin VaR 95%.

*Keywords: return, GJR-GARCH, student-t, kupiec test*



### *@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.





© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025  
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.*

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 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.

# **PERBANDINGAN KINERJA MODEL GARCH DAN COPULA-GARCH UNTUK PENDUGAAN *VALUE AT RISK* PADA BITCOIN DAN ETHEREUM**

**FEBRI LIA ADI CANDRA**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Sains pada  
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DAN SAINS DATA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**



**@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.





Judul Tesis : Perbandingan Kinerja Model GARCH dan Copula-GARCH untuk  
Pendugaan *Value at Risk* pada Bitcoin dan Ethereum

Nama : Febri Lia Adi Candra

NIM : G1501202071

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Yenni Angraini, M.Si.



Pembimbing 2:  
Dr. Agus M. Soleh, S.Si., M.T.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Agus M. Soleh, S.Si., M.T.  
NIP 19750315 199903 1 004



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam:  
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.  
NIP 19780723 200701 1 001



Tanggal Ujian: 3 Januari 2025

Tanggal Lulus:



### *@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.



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juni 2021 sampai bulan Desember 2024 ini berjudul “Perbandingan Kinerja Model GARCH dan Copula-GARCH untuk Pendugaan *Value at Risk* pada Bitcoin dan Ethereum”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Yenni Angraini, M.Si. dan Dr. Agus M. Soleh, S.Si., M.T. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Badan Pusat Statistik yang telah memberikan beasiswa dan membantu mendanai penelitian ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada istri tercinta yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya dan terima kasih juga kepada seluruh dosen pengajar Program Studi Statistika dan Sains Data atas ilmu yang telah diberikan, staf Tata Usaha Program Studi Statistika dan Sains Data yang dengan sabar selalu membantu segala proses administrasi, serta teman-teman mahasiswa pascasarjana Program Studi Statistika dan Sains Data terutama teman-teman tugas belajar BPS 2020 dan teman-teman lainnya yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2025

*Febri Lia Adi Candra*



### *@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.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
<b>I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 <i>Returns</i> .....	4
2.2 <i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)</i> ....	4
2.2.1 <i>Volatility Clustering</i> .....	4
2.2.2 Uji Efek ARCH .....	5
2.2.3 GARCH .....	5
2.3 Glostn-Jagannathan-Runkle GARCH (GJR-GARCH) .....	6
2.4 <i>Root Mean Square Error</i> .....	6
2.5 Copula .....	7
2.5.1 Copula Normal (Gaussian) dan <i>Student-t</i> .....	7
2.5.2 Copula Clayton dan Copula Gumbel .....	8
2.5.3. Copula-GARCH .....	8
2.6 <i>Value at Risk</i> .....	9
<b>III METODE</b> .....	<b>10</b>
3.1 Data .....	10
3.2 Tahapan Analisis .....	11
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>13</b>
5.1 Eksplorasi Data .....	13
4.2 <i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)</i> .....	14
4.3 Copula-GARCH .....	20
4.4 <i>Value at Risk (VaR)</i> .....	22
<b>V SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>25</b>
5.1 Simpulan .....	25
5.2 Saran .....	25
DAFTAR PUSTAKA .....	26



## DAFTAR TABEL

1	Statistik deskriptif <i>return</i> Bitcoin dan Ethereum	13
2	Hasil uji LM pada Bitcoin dan Ethereum	14
3	Nilai loglikelihood, AIC dan BIC model GARCH dan GJR-GARCH data latih satu	15
4	Nilai loglikelihood, AIC dan BIC model GARCH dan GJR-GARCH data latih dua	15
5	Nilai loglikelihood, AIC dan BIC model GARCH dan GJR-GARCH data latih tiga	16
6	RMSE model GJR-GARCH (2,1) pada Bitcoin dan GJR-GARCH (1,2) pada Ethereum	17
7	Nilai dugaan parameter model GJR-GARCH (2,1) Bitcoin	18
8	Nilai dugaan parameter model GJR-GARCH (1,2) Ethereum	18
9	Nilai AIC pada copula	21

## DAFTAR GAMBAR

1	Harga (A) Bitcoin dan (B) Ethereum (dollar)	10
2	<i>return</i> (A) Bitcoin dan (B) Ethereum	10
3	Pembagian data latih dan data uji pada kedua peubah	11
4	Sebaran peubah <i>return</i> Bitcoin dan Ethereum	14
5	Plot harga simulasi dan harga aktual (A) Bitcoin dan (B) Ethereum	20
6	Return simulasi dan aktual empat jenis copula Bitcoin dan Ethereum	21
7	Pendugaan VaR 95% berdasarkan model GARCH (A) Bitcoin dan (B) Ethereum dan VaR 95% berdasarkan model Copula-GARCH (C) pada gabungan Bitcoin dan Ethereum	22
8	Pendugaan VaR 99% berdasarkan model GARCH (A) Bitcoin dan (B) Ethereum dan VaR 99% berdasarkan model Copula-GARCH (C) pada gabungan Bitcoin dan Ethereum	23