

**ESTIMASI VALUE AT RISK (VAR) PORTOFOLIO DENGAN METODE
GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL
HETEROSCEDASTICITY (GARCH)-VINE COPULA**

(Studi Kasus : Saham – Saham yang Tergabung dalam *Jakarta Islamic Index*
Periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020)

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Matematika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Diajukan Oleh:

SHERLIN KUSUMA DEWI

(16610024)

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2020



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2813/Un.02/DST/PP.00.9/12/2020

Tugas Akhir dengan judul : ESTIMASI VALUE AT RISK (VAR) PORTOFOLIO DENGAN METODE GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY (GARCH)-VINE COPULA (Studi Kasus: Saham-Saham yang Terdaftar dalam Jakarta Islamic Index Periode 1 Januari 2016-30 Juni 2020)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SHERLIN KUSUMA DEWI
Nomor Induk Mahasiswa : 16610024
Telah diujikan pada : Kamis, 10 Desember 2020
Nilai ujian Tugas Akhir : A

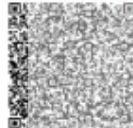
dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Mohammad Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si
SIGNED

Valid ID: 91ca28bca3



Penguji I
Dr. Epha Diana Supandi, S.Si, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 51dc5252774d



Penguji II
Malahayati, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 55d48b4301b8





SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Sherlin Kusuma Dewi

NIM : 16610024

Judul Skripsi : **ESTIMASI VALUE AT RISK (VAR) PORTOFOLIO DENGAN METODE GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY (GARCH)-VINE COPULA (Studi Kasus : Saham-saham yang tergabung dalam Jakarta Islamic Index periode 1 Januari 2016– 30 Juni 2020)**

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing

M Farhan Oudratullah, S.Si., M.Si
NIP. 19790922 200801 1 011

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sherlin Kusuma Dewi

NIM : 16610024

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 27 November 2020

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Sherlin Kusuma Dewi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis sederhana ini saya persembahkan kepada :

- Kedua orang tua saya Bapak Suprpto dan Ibu Jaswati tercinta yang tidak lelah untuk selalu mendoakan anaknya setiap saat, terimakasih pula atas perhatian dan motivasi penuh yang selalu diberikan untuk saya
- Kakak saya Janang Anggri Yuwantoko dan adik saya Alvara Citra Widyatna, terimakasih telah menjadi saudara dan teman yang selalu mendukung saya
- Serta untuk Almamater tercinta UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar”

(Q.S Al-Baqarah : 153)

“Allah tidak akan membebani hamba kecuali menurut kemampuannya”

(Q.S Al-Baqarah : 286)

“Jadilah pribadi yang lebih baik dari pribadi yang sebelumnya, bukan dari orang lain”

(penulis)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***ESTIMASI VALUE AT RISK (VAR) PORTOFOLIO DENGAN METODE GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY (GARCH) – VINE COPULA (Studi Kasus : Saham – saham yang tergabung dalam Jakarta Islamic Index periode 1 Januari 2016 – 30 Juni 2020)*** untuk memenuhi syarat memperoleh gelar kesarjanaan di Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang seperti saat ini. Penulis menyadari bahwa dalam menyusun skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Muchammad Abrori, S.Si., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku dosen penasihat akademik mahasiswa program studi matematika angkatan 2016.

4. Bapak M Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi, yang selalu bersedia meluangkan waktu, memberikan motivasi serta arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak M Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si., selaku ketua sidang, Ibu Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku dosen penguji I dan Ibu Malahayati, S.Si., M.Sc., selaku dosen penguji II.
6. Bapak/Ibu Dosen dan Staf Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta atas ilmu, bimbingan, serta pelayanan yang diberikan selama perkuliahan dan penyusunan skripsi.
7. Bapak Suprpto dan Ibu Jaswati tercinta, terimakasih atas segala doa, motivasi, dan perhatian tak pernah putus diberikan sampai sekarang, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kakak tersayang Janang Anggri Yuwantoko dan adik tersayang Alvara Citra Widyatnya yang selalu memberi semangat dan doa kepada penulis.
9. Ahmad Ghany Alfalih yang selalu menemani, memberikan semangat, dan membantu dalam banyak hal.
10. Sahabat-sahabatku:
Muthia Amalia, Widya Annisa, Nurul Kusumawardani, Rhani Rahmasari, Ambhita Setyaningtyas, Andrian Anjasmara, Salsabila Auliana, Fitrin Harisna, Riska Rahmawati, Martiningsih Sakinah, Yulia Fatin, Dina Septianingsih yang setia menemani, memberi semangat, dan membantu penulis dalam hal apapun.

11. Teman seperjuangan KKN : Sri Hartarti, Yulia Fatin, Nurul Zafika, Ulfa, Daffa, Udin, Bahaul, Fikri, Irsyad yang banyak memberikan ilmu baru dan selalu memberi semangat.
12. Teman – teman Matematika angkatan 2016 UIN Sunan Kalijaga yang menemani selama ini.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas kebaikan-kebaikan mereka semua. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 26 November 2020

Penulis

Sherlin Kusuma Dewi

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
ABSTRAK	xx
ABSTRACT	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Tinjauan Pustaka	6
1.7 Sistematika Penulisan	9
BAB II	11
LANDASAN TEORI	11
2.1 Investasi	11
2.2 Pasar Modal Syariah	12
2.3 Saham	13
2.4 Jakarta Islamic Index (JII)	14
2.5 Portofolio	16

2.6	Return	16
2.6.1	Return Portofolio	17
2.6.2	Return Ekspektasi (<i>Expected Return</i>)	18
2.6.3	Return Ekspektasi Portofolio	19
2.7	Risiko	19
2.8	Treynor Ratio	21
2.9	Variabel Random	22
2.10	Distribusi Probabilitas	23
2.10.1	Distribusi Probabilitas Diskrit	24
2.10.2	Distribusi Probabilitas Kontinu	24
2.11	Distribusi <i>Uniform</i>	25
2.12	Distribusi Gabungan	26
2.12.1	Distribusi Peluang Gabungan Diskrit	26
2.12.2	Distribusi Peluang Gabungan Kontinu	27
2.13	Distribusi Marginal	27
2.14	Distribusi Bersyarat	28
2.15	Distribusi Normal	28
2.16	Uji Kolmogorov Smirnov	29
2.17	Estimasi <i>Maximum Likelihood</i>	30
2.18	Matriks	32
2.18.1	Vektor Gradien dan Matriks Hessian	32
2.19	Metode Newton Raphson	33
2.20	Data Time Series	34
2.21	Stasioneritas	36
2.21.1	Stasioner dalam <i>Mean</i>	37
2.21.2	Stasioner dalam Variansi	37
2.21.3	Stasioner dalam <i>Mean</i> dan Variansi	38
2.22	Uji Stasioneritas	39
2.23	<i>White Noise</i>	40
2.24	Uji <i>Ljung Box</i> dan <i>Lagrange Multiplier (LM)</i>	41
2.25	Konsep Dasar Runtun Waktu	42
2.25.1	Fungsi Autokorelasi (ACF)	42
2.25.2	<i>Partial Autocorrelation Function (PACF)</i>	44

2.26	Model Umum Analisis Data Runtun waktu.....	45
2.26.1	<i>Autoregressive (AR)</i>	45
2.26.2	<i>Moving Average (MA)</i>	45
2.26.3	<i>Autoregressive Moving Average (ARMA)</i>	46
2.26.4	<i>Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)</i>	47
2.27	ARCH/GARCH	47
2.28	Uji Asumsi Model GARCH	49
2.29	Korelasi Linear	50
2.30	Copula	53
2.31	Sifat-Sifat Copula	54
2.32	Teorema Sklar	56
2.33	Copula Archimedean	57
2.34	Vine Copula	59
2.35	Value at Risk (VaR)	60
2.36	Pemilihan Model Terbaik	62
2.37	Backtesting VaR	63
BAB III		65
METODOLOGI PENELITIAN		65
3.1	Jenis dan Sumber Data	65
3.2	Metode Pengumpulan Data	65
3.3	Variabel penelitian	65
3.4	Metode Penelitian	66
3.5	Metode Analisis Data	66
3.6	Flowchart	69
BAB IV		70
ESTIMASI VALUE AT RISK (VAR) PORTOFOLIO MENGGUNAKAN METODE GARCH-VINE COPULA		70
4.1	Model GARCH	70
4.2	Dependensi	71
4.3	Copula	72
4.4	Copula Archimedean	72
4.5	Vine Copula	73

4.6	Struktur Vine	77
4.7	Estimasi Parameter	81
4.7.1	Estimasi Parameter Model Marginal	82
4.7.2	Estimasi Parameter Copula	91
4.8	Estimasi <i>Value at Risk</i> (VaR) Berbasis Vine Copula	99
BAB V		103
STUDI KASUS		103
5.1	Saham <i>Jakarta Islamic Index</i> (JII)	103
5.2	Pemilihan Saham Terbaik dengan Treynor Ratio	104
5.3	Karakteristik Data	105
5.4	Uji Kolmogorov Smirnov	108
5.5	Pemodelan ARIMA	108
5.6	Pengujian efek ARCH/GARCH	116
5.7	Uji Asumsi Model GARCH	119
5.8	Pemodelan Vine Copula	120
5.8.1	Kendall Tau	120
5.8.2	Struktur Kebergantungan Model Copula	122
5.9	Estimasi Vine Copula	124
5.10	Perhitungan <i>Value at Risk</i> (VaR) dengan GARCH-Vine Copula	126
5.10.1	Simulasi Data Return	126
5.10.2	Perhitungan <i>Value at Risk</i> (VaR)	127
5.11	Uji Kupiec (<i>Backtesting</i>)	129
BAB VI		130
PENUTUP		130
6.1	Kesimpulan	130
6.2	Saran	132
DAFTAR PUSTAKA		133
LAMPIRAN		136
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		234

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka	8
Tabel 2.1 Transformasi Varians	37
Tabel 5.1 Saham Konsisten Periode 1 Januari 2016 – 30 Juni 2020.....	103
Tabel 5.2 <i>Return</i> dan Risiko Saham Data Keseluruhan	104
Tabel 5.3 Nilai dan Peringkat Kinerja Saham dengan Model Treynor Ratio Zakat Rate	105
Tabel 5.4 Deskripsi Statistik Keempat Saham	107
Tabel 5.5 Hasil Uji Kolmogorov – Smirnov	108
Tabel 5.6 Uji <i>Augmented Dickey Fuller</i>	109
Tabel 5.7 Uji Model ARIMA (p,d,q) Untuk <i>Return</i> ICBP.....	111
Tabel 5.8 Tabel Model ARIMA ICBP signifikan	114
Tabel 5.9 Tabel Model ARIMA INCO signifikan	115
Tabel 5.10 Tabel Model ARIMA INDF signifikan.....	115
Tabel 5.11 Tabel Model ARIMA UNVR signifikan.....	116
Tabel 5.12 Tabel Uji ARCH – LM <i>Return</i>	117
Tabel 5.13 Bentuk Model GARCH <i>Return</i> Keempat Saham.....	118
Tabel 5.14 Uji <i>Ljung Box</i> dan Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	119
Tabel 5.15 Uji Dependensi Antar Saham	121
Tabel 5.16 Estimasi Parameter C-Vine Copula.....	124
Tabel 5.17 Estimasi Parameter D-Vine Copula	125

Tabel 5.18 Estimasi VaR menggunakan Vine Copula	128
Tabel 5.19 Ringkasan Estimasi Nilai Kerugian Maksimum	129
Tabel 5.20 <i>Backtesting</i> Terhadap Estimasi VaR	129



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Distribusi <i>Uniform</i>	25
Gambar 2.2 Kurva Normalitas	29
Gambar 2.3 Pola Horizontal	34
Gambar 2.4 Pola Musiman	35
Gambar 2.5 Pola Trend.....	35
Gambar 2.6 Pola Siklis	36
Gambar 2.7 Grafik Stasioner dalam <i>Mean</i> dan <i>Variansi</i>	38
Gambar 2.8 Copula Clayton.....	58
Gambar 2.9 Copula Gumbel.....	58
Gambar 2.10 Copula Frank	59
Gambar 3.1 Flowchart	69
Gambar 4.1 D-Vine Copula 4 Dimensi	77
Gambar 4.2 C-Vine Copula 4 Dimensi	79
Gambar 5.1 Plot Data <i>Return</i> Empat Saham	106
Gambar 5.2 Plot ACF dan PACF (a) <i>Return</i> ICBP (b) <i>Return</i> INCO (c) <i>Return</i> INDF (d) <i>Return</i> UNVR.....	110
Gambar 5.3 <i>Scatter Plot</i> Residual ICBP, INCO, INDF, dan UNVR	122
Gambar 5.4 <i>Scatter Plot</i> Residual ICBP, INCO, INDF, dan UNVR dengan Transformasi <i>Uniform</i> [0,1]	123

DAFTAR SIMBOL

r_t	: net <i>return</i> pada periode t
R_t	: <i>log return</i> pada periode t
P_t	: harga saham pada periode t
P_{t-1}	: harga saham pada periode $t-1$
R_p	: <i>Return</i> portofolio
R_i	: <i>return</i> aset ke- i
w_i	: besar proporsi aset
$Var(X)$: variansi dari X
$E(R_i)$: <i>Expected return</i> dari aset ke- i
a	: batas bawah interval
b	: batas atas interval
p	: orde <i>Autokorelasi</i>
q	: orde <i>Moving Average</i>
n	: banyaknya data
μ	: parameter yang merupakan rata-rata distribusi
σ	: parameter yang merupakan simpangan baku distribusi
Y_t	: variabel Y saat ke- t
dY_t	: differensi orde pertama dari variabel Y saat ke- t
γ_k	: fungsi autokorelasi
ρ_k	: fungsi autokovarians
ϕ_{kk}	: fungsi autokorelasi parsial
ε_t	: residual pada waktu t
σ_t^2	: variansi dari residual pada waktu t
α_0	: konstanta
α_i	: <i>slope</i>

β_j	: parameter model GARCH
τ	: koefisien korelasi Kendall Tau
C'	: sub Copula
S_1, S_2	: <i>Domain</i> dari C'
$c(u_1, u_2)$: persamaan copula bivariat
u	: bilangan <i>random</i> berdistribusi <i>uniform</i>
γ	: parameter dari Copula
$\varphi(u)$: fungsi generator Copula
K	: banyaknya parameter
$F(x)$: fungsi distribusi marginal
$F^{-1}(u_i)$: invers dari fungsi distribusi marginal
$f(x_1, \dots, x_n)$: fungsi densitas bersama
c_{ij}	: pasangan Copula bivariat
T_j	: pohon pada struktur Vine
i	: cabang / sisi pada pohon
j	: jumlah pohon
α	: tingkat signifikansi
W_0	: nilai investasi awal
$\sigma(R_p)$: standar deviasi <i>return</i>
z_α	: standar normal deviasi

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Return</i> Saham Positif dan <i>Treynor Ratio</i> Terbesar.....	136
Lampiran 2 Deskriptif, Uji Kolmogorov Smirnov, dan Uji Stasioner	164
Lampiran 3 Pemodelan ARIMA <i>return</i> ICBP	166
Lampiran 4 Pemodelan ARIMA <i>return</i> INCO	168
Lampiran 5 Pemodelan ARIMA <i>return</i> INDF.....	170
Lampiran 6 Pemodelan ARIMA <i>return</i> UNVR.....	172
Lampiran 7 Uji Efek ARCH dari Masing-masing Model dengan AIC Terkecil	175
Lampiran 8 Uji <i>White Noise</i>	177
Lampiran 9 Model GARCH.....	180
Lampiran 10 Uji Kendall Tau	184
Lampiran 11 Transformasi Residual GARCH ke Uniform[0,1].....	186
Lampiran 12 Estimasi Parameter Pasangan Copula Bivariat.....	228
Lampiran 13 Estimasi Parameter C-Vine Copula	230
Lampiran 14 Estimasi Parameter D-Vine Copula.....	231
Lampiran 15 Estimasi <i>Value at Risk</i> (VaR) dengan GARCH - Vine Copula.....	232
Lampiran 16 <i>Backtesting</i> VaR	232

**ESTIMASI VALUE AT RISK (VaR) PORTOFOLIO DENGAN METODE
GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL
HETEROSCEDASTICITY (GARCH)-VINE COPULA**

**(Studi Kasus : Saham – saham yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index*
periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020)**

ABSTRAK

Investasi pada sektor finansial adalah investasi yang banyak diminati oleh investor, salah satunya adalah investasi saham. Dalam berinvestasi tentunya terdapat risiko, dimana investor tidak mengetahui apakah investasi yang dilakukan mendapatkan keuntungan atau kerugian. Untuk mengurangi tingkat risiko yang akan diterima, maka dilakukan investasi dalam bentuk portofolio. Salah satu alat ukur yang digunakan untuk menghitung risiko portofolio adalah *Value at Risk* (VaR). Metode perhitungan VaR mengasumsikan *return* berdistribusi normal. Namun pada kenyataannya, data finansial jarang ditemukan adanya distribusi normal dan kebergantungan antar saham sering bersifat tidak linear. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan metode GARCH-Vine Copula untuk mengestimasi VaR. Vine Copula merupakan fungsi distribusi multivariat yang menggabungkan distribusi marginal *return* univariat dalam portofolio, sekaligus menggambarkan struktur kebergantungan non linearnya. Pada penelitian ini digunakan Copula dari keluarga Archimedean. Pada data finansial biasanya cenderung memiliki volatilitas yang tinggi atau dikatakan data mengandung unsur heteroskedastisitas. Untuk mengatasi adanya unsur heteroskedastisitas maka digunakan model GARCH. Apabila hasil dari pemodelan GARCH tidak berdistribusi normal, maka akan dilanjutkan pemodelan dengan Vine Copula. Pada penelitian ini dilakukan estimasi VaR portofolio dengan metode GARCH – Vine Copula pada 4 saham yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* periode 1 Januari 2016– 30 Juni 2020 yaitu saham ICBP, INCO, INDF, dan UNVR. Hasil dari perhitungan pada penelitian ini diperoleh model Gumbel C-Vine Copula adalah model terbaik untuk memodelkan data. Diperoleh estimasi VaR sebesar 1,76%, 2,39%, 4,1% dari dana investasi pada tingkat kepercayaan 90%, 95%, 99%.

Kata kunci : GARCH, *Value at Risk* (VaR), Vine Copula,

**VALUE AT RISK (VAR) ESTIMATION OF PORTOFOLIO WITH
GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL
HETEROSCEDASTICITY (GARCH)-VINE COPULA METHOD**

**(Case Study : Stocks that are included in Jakarta Islamic Index period
January 1, 2016 - June 30, 2020)**

ABSTRACT

Investing in the financial sector is an investment that is in great demand by investors, one of which is stock investment. In investing, of course, there is a risk, where the investor doesn't know whether the investment made gains or losses. To reduce the level of risk that will be accepted, an investment is made in the form of a portfolio. One of the measuring tools used to calculate portfolio risk is *Value at Risk* (VaR). The VaR calculation method assumes a *return* normally distributed. But in reality, financial data is rarely found in the normal distribution and dependence between stocks is often not linear. Therefore, in this study the GARCH-Vine Copula method was used to estimate VaR. Vine Copula is a multivariate distribution function that combines the univariate marginal *return* distribution in the portfolio, as well as describing the structure of its non-linear dependence. This study used Copula from the Archimedean family. Financial data usually tends to have high volatility or it is said that data contains elements of heteroscedasticity. To overcome the heteroscedasticity element, the GARCH model is used. If the results of GARCH modeling are not normally distributed, then modeling with Vine Copula will be continued. In this study, estimation of portfolio VaR using the GARCH - Vine Copula method was carried out on 4 stocks incorporated in the *Jakarta Islamic Index* for the period January 1, 2016 - June 30, 2020, namely ICBP, INCO, INDF, and UNVR stocks. Results of the calculations in the study is derived models Gumbel C-Vine Copula is the best model to model data. Obtained VaR estimates of 1.76%, 2.39%, 4.1% of investment funds at the confidence level 90%, 95%, 99%.

Keywords: GARCH, *Value at Risk* (VaR), Vine Copula,

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Investasi merupakan kegiatan mengalokasikan atau menanamkan sumber daya saat ini, dengan harapan mendapatkan manfaat di waktu yang akan datang. Secara umum, investasi terbagi menjadi dua, yaitu investasi nyata (*real investment*) dan investasi finansial (*financial investment*). Investasi nyata berupa asset berwujud, seperti tanah, mesin-mesin, atau pabrik. Sedangkan investasi finansial berupa kontrak tertulis, seperti saham biasa (*common stock*) dan obligasi (*bond*). Tarigan dan Haryono (2015) menyatakan bahwa salah satu investasi sektor finansial yang banyak diminati oleh investor adalah investasi dalam bentuk saham.

Saham merupakan kertas yang tercantum dengan jelas nilai nominal, nama perusahaan dan diikuti dengan hak dan kewajiban yang dijelaskan kepada setiap pemegangnya. (Fahmi & Hadi, 2011). Di Indonesia kegiatan pasar modal resmi dimulai pada tahun 1997. Seiring berjalannya waktu, pasar modal semakin digemari oleh investor. Menurut berita yang dirilis oleh Kompas.com (Rabu, 26 Juni 2019), Bursa Efek Indonesia (BEI) melaporkan pertumbuhan positif atas jumlah investor di pasar modal Indonesia. Per Mei 2019 jumlah investor pasar modal Indonesia sebesar 1,9 juta. Sementara investor sahamnya mencapai 952.000. Hal ini menunjukkan peningkatan dari tahun-tahun sebelumnya, terbukti pada tahun 2018 total investor hanya 1,6 juta dengan jumlah investor saham 854.000. Sedangkan

pada tahun 2017 total investor hanya 1,1 juta dengan jumlah investor saham 630.000.

Di Indonesia, PT. Bursa Efek Indonesia (BEI) memiliki 6 macam indeks saham, salah satunya adalah *Jakarta Islamic Index (JII)*. Saham *Jakarta Islamic Index (JII)* merupakan indeks saham yang dibuat berdasarkan syariah Islam. *Jakarta Islamic Index (JII)* didirikan pada tanggal 03 Juli 2000 oleh PT Bursa Efek Indonesia yang bekerja sama dengan PT Danareksa Investment Management (DIM). Saham-saham yang termasuk dalam indeks syariah adalah yang kegiatan usahanya tidak bertentangan dengan hukum-hukum Islam.

Para investor yang melakukan investasi, umumnya tidak mengetahui bagaimana hasil yang diperoleh dari investasi tersebut. Terdapat dua faktor yang mempengaruhi harga saham yaitu tingkat pengembalian (*return*) dan risiko (*risk*) (Mahendra dkk.,2015). Investor pada umumnya mengharapkan tingkat pengembalian (*return*) yang besar, namun *return* yang besar akan diikuti dengan risiko yang besar pula. Ada juga investor yang mengharapkan *return* yang kecil asalkan risiko untuk berinvestasi juga kecil. Oleh karena itu, untuk mengurangi tingkat risiko yang akan diterima sebaiknya investor melakukan investasi dalam bentuk portofolio. Portofolio sendiri merupakan gabungan dua atau lebih sekuritas yang dipilih untuk investasi pada waktu tertentu dan ketentuan tertentu. Pengelolaan risiko atas suatu portofolio sangatlah penting bagi investor agar dapat memperoleh keuntungan maksimal dengan risiko yang seminimal mungkin. Alat ukur yang mampu mengkomunikasikan risiko adalah *Value at Risk (VaR)*.

Value at Risk (VaR) dapat didefinisikan sebagai estimasi kerugian maksimum yang akan diperoleh selama periode waktu tertentu pada tingkat kepercayaan tertentu. Metode perhitungan VaR mengasumsikan return berdistribusi normal. Namun pada kenyataannya, data finansial jarang ditemukan adanya distribusi normal dan kebergantungan antar saham satu dengan yang lain sering bersifat tidak linear. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan kebergantungan tidak linear ini adalah menggunakan metode Copula.

Copula adalah salah satu metode yang digunakan untuk mempelajari ketergantungan tidak linear antar kejadian dalam kasus multivariat. Konsep pada Copula yaitu menggabungkan fungsi distribusi marginal menjadi distribusi bersama. Namun pada kasus multivariat, metode ini memiliki beberapa kelemahan. Copula hanya dapat memodelkan struktur kebergantungan yang sederhana. Apabila struktur kebergantungan lebih kompleks atau berdimensi tinggi maka dapat digunakan metode Vine Copula. Vine Copula merupakan fungsi distribusi multivariat yang menggabungkan distribusi marginal *return* univariat dalam portofolio, sekaligus menggambarkan struktur kebergantungan non linearnya (Pintari dan Subekti, 2018).

Pada data finansial biasanya cenderung memiliki volatilitas yang tinggi. Kasus ini menandakan bahwa data finansial mengandung unsur heterokedastisitas. Untuk menghilangkan adanya unsur heteroskedastisitas adalah dengan menggunakan *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH). Model GARCH merupakan perkembangan dari model *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH). Model ARCH cenderung menggunakan orde yang

besar dalam membentuk model, sedangkan model GARCH dapat membentuk model yang lebih sederhana.

Pada skripsi ini, peneliti bertujuan untuk menerapkan perhitungan *Value at Risk* (VaR) pada portofolio menggunakan metode GARCH-Vine Copula. Pertama akan digunakan metode GARCH untuk memodelkan data yang bersifat heterokedastisitas dan melanjutkannya dengan metode Vine Copula. Copula yang digunakan yaitu berasal dari keluarga Copula Archimedean. Output dari skripsi ini adalah diperoleh estimasi nilai *Value at Risk* (VaR) pada portofolio sehingga investor dapat mengetahui risiko yang akan diterimanya serta dapat mengetahui berapa besar alokasi dana yang harus dicadangkan oleh investor.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang akan dikaji adalah :

1. Bagaimana langkah – langkah estimasi *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula ?
2. Bagaimana bentuk model terbaik *Value at Risk* portofolio dengan GARCH-Vine Copula keluarga Archimedean pada saham *Jakarta Islamic Index* (JII) periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020 ?
3. Berapa risiko yang harus ditanggung oleh investor dari hasil estimasi *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula pada saham *Jakarta Islamic Index* (JII) periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020 ?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan-batasan masalah yang akan diteliti, hal ini digunakan untuk mempermudah peneliti dalam melakukan suatu penelitian, yaitu :

1. Copula yang digunakan merupakan Copula dari keluarga Archimedean, yaitu Frank, Gumbel, dan Clayton.
2. Menggunakan objek penelitian indeks harga penutupan saham *Jakarta Islamic Index* (JII) dengan 4 variabel.
3. Proporsi masing-masing saham untuk pembentukan portofolio adalah sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui langkah-langkah estimasi *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula
2. Mengetahui bentuk model terbaik *Value at Risk* Portofolio dengan GARCH-Vine Copula keluarga Archimedean pada saham *Jakarta Islamic Index* (JII) periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020
3. Mengetahui besar risiko yang harus ditanggung oleh investor dari hasil estimasi *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula pada saham *Jakarta Islamic Index* (JII) periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar S1 pada Program Studi Matematika. Penelitian ini juga bertujuan untuk menambah pengetahuan penulis dalam menentukan model yang baik serta mampu menentukan risiko dari suatu portofolio.

2. Bagi Mahasiswa UIN Sunan Kalijaga

Penelitian ini mampu menambah wawasan untuk mahasiswa UIN Sunan Kalijaga tentang saham serta perhitungannya.

3. Bagi Investor

Penelitian ini dapat membantu investor untuk memperkirakan besarnya risiko pada suatu portofolio, sehingga investor dapat mengambil keputusan yang terbaik.

1.6 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini menggunakan beberapa literatur baik berasal dari jurnal, buku, dan referensi lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Herida Okta Pintari dan Retno Subekti (2018) yang berjudul “*Penerapan Metode GARCH-Vine Copula untuk Estimasi Value at Risk (VaR) pada Portofolio*” oleh Universitas Negeri Yogyakarta (UNY). Pada penelitian ini membahas mengenai *Value at Risk (VaR)* portofolio menggunakan metode GARCH Vine Copula. Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini

yaitu saham BBNI, BBRI, dan BMRI. Hasil penerapan dari tiga saham perbankan tersebut pada periode 26 Agustus 2013 hingga 20 November 2017 diperoleh model D-Vine Copula dengan fungsi Copula Frank adalah model terbaik dalam pemodelan data, dengan nilai VaR sebesar 1,86%, 2,56%, dan 4,49% dari dana investasi pada tingkat kepercayaan 90%, 95%, dan 99%.

Penelitian yang dilakukan oleh Hery Septianus Tarigan dan Haryono (2015) yang berjudul "*Estimasi Value at Risk (VaR) Portofolio Saham yang Tergabung dalam Indeks LQ45 Periode Agustus 2014 sampai Januari 2015 Menggunakan Metode Copula GARCH*" oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Jurnal ini mengkaji bagaimana menentukan nilai *return* saham, mendapatkan model *return* dan menghitung besarnya estimasi nilai kerugian pada portofolio saham ASRI, BBTN, dan BBNI. Sehingga diperoleh nilai *return* yang optimal dengan risiko yang minimum. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Copula *Student-t* merupakan model copula terbaik, dan diperoleh nilai estimasi *VaR* sebesar -0,08.

Penelitian yang dilakukan oleh Ni Wayan Uchi Yushi Ari Sudina, Komang Dharmawan, dan I Wayan Sumarjaya (2019) yang berjudul "*Estimasi Nilai Conditional Value At Risk (CVaR) Portofolio Menggunakan Metode EVT-GJR-Vine Copula*" oleh Universitas Udayana. Jurnal ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kinerja metode EVT-GJR-Vine Copula dan EVT-GARVH-Vine Copula dalam mengestimasi CVaR pada portofolio. Studi kasus yang digunakan yaitu saham AUT, IRL, dan SCH. Hasil dari penelitian ini adalah metode EVT-GJR-Vine Copula memiliki kinerja yang lebih baik apabila dibandingkan dengan metode EVT-GARCH-Vine Copula dalam mengestimasi nilai CVaR.

Tinjauan pustaka yang digunakan oleh peneliti adalah beberapa penelitian yang relevan dengan tema yang diambil peneliti, antara lain disajikan pada tabel berikut

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka

No.	Nama Peneliti	Pendekatan	Metode	Studi Kasus
1.	Pintari dan Subekti	<i>Value at Risk</i> (VaR)	GARCH, Vine Copula	Saham BBNI, BBRI, dan BMRI
2.	Tarigan dan Haryono	<i>Value at Risk</i> (VaR)	Copula, GARCH	Saham ASRI, BBTN, dan BBNI
3.	Sudina, dkk.	<i>Conditional Value at Risk</i> (CVaR)	EVT-GJR- Vine Copula	AUT, IRL, dan SCH
4.	Sherlin Kusuma Dewi	<i>Value at Risk</i> (VaR)	GARCH, Vine Copula	ICBP, INCO, INDF, dan UNVR

Perbedaan penelitian ini dengan tinjauan pustaka yang pertama adalah jika pada penelitian Pintari dan Subekti menggunakan tiga variabel untuk diteliti, sementara pada penelitian ini penulis menggunakan empat variabel untuk diteliti.

Perbedaan penelitian ini dengan tinjauan pustaka yang kedua adalah jika pada penelitian Tarigan dan Haryono menggunakan pendekatan *Value at Risk* (VaR)

dengan metode Copula-GARCH, sementara pada penelitian ini penulis menggunakan pendekatan *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula.

Perbedaan penelitian ini dengan tinjauan pustaka yang ketiga adalah jika pada penelitian Sudina,dkk., menggunakan pendekatan *Conditional Value at Risk* (CVaR) dengan metode EVT-GJR-Vine Copula. Sementara pada penelitian ini penulis menggunakan pendekatan *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memberi gambaran dan untuk memudahkan penulisan, penelitian skripsi mengenai estimasi *Value at Risk* (VaR) pada portofolio saham *Jakarta Islamic Index* (JII) dengan pendekatan GARCH – Vine Copula, maka sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka, dan sistematika penulisan

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang digunakan untuk pembahasan utama yaitu estimasi *Value at Risk* (VaR) pada portofolio saham *Jakarta Islamic Index* (JII) dengan pendekatan GARCH – Vine Copula.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan bagaimana proses pelaksanaan atau alur dari penelitian ini, mulai dari jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, variabel penelitian, metodologi penelitian, metode analisis data, dan alat pengolahan data.

BAB IV : PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan tentang pembahasan estimasi *Value at Risk* (VaR) pada portofolio saham *Jakarta Islamic Index* (JII) dengan pendekatan GARCH – Vine Copula.

BAB V : STUDI KASUS

Pada bab ini dijelaskan tentang penerapan dan aplikasi estimasi *Value at Risk* (VaR) pada portofolio saham *Jakarta Islamic Index* (JII) dengan pendekatan GARCH – Vine Copula dan memberikan interpretasi dari hasil yang diperoleh.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan permasalahan yang ada dan pemecahan masalahnya, serta saran-saran yang berkaitan dengan penelitian serupa untuk penelitian berikutnya.

BAB VI

PENUTUP

Pembahasan mengenai Estimasi *Value at Risk* (VaR) Portofolio dengan Metode GARCH-Vine Copula pada saham ICBP, INCO, INDF, dan UNVR telah dilakukan pada bab sebelumnya, sehingga dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut :

1. Langkah-langkah estimasi *Value at Risk* (VaR) Portofolio dengan Metode GARCH-Vine Copula sebagai berikut :
 - a. Menghitung *return* pada masing-masing saham
 - b. Menghitung *Treynor Ratio* untuk memilih kinerja saham terbaik. Saham yang kinerjanya baik adalah saham yang memiliki *Treynor Ratio* besar
 - c. Melakukan analisis deskriptif untuk mengetahui pola data dari keempat saham
 - d. Melakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak
 - e. Melakukan uji kestasioneran data
 - f. Menentukan model ARIMA yang sesuai
 - g. Melakukan pengujian efek ARCH menggunakan uji *Lagrange Multiplayer* (LM)
 - h. Membentuk model GARCH
 - i. Uji asumsi model GARCH

- j. Uji dependensi keempat saham
 - k. Mentransformasikan data distribusi marginal ke dalam distribusi $Uniform(0,1)$
 - l. Pembentukan distribusi gabungan dengan Vine Copula
 - m. Perhitungan *Value at Risk* (VaR) dengan simulasi *Monte-Carlo*
 - n. Backtesting VaR untuk menguji validitas model VaR
2. Penerapan metode GARCH-Vine Copula untuk estimasi *Value at Risk* (VaR) pada saham ICBP, INCO, INDF, dan UNVR periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020 menghasilkan estimasi VaR dengan Copula terbaik adalah Gumbel C-Vine Copula. Sedangkan untuk bentuk model GARCH yang terbentuk sebagai berikut :
- a. ICBP

$$\sigma_t^2 = 0,00002242 + 0,2483\varepsilon_{t-1}^2 + 0,7611\sigma_{t-1}^2$$
 - b. INCO

$$\sigma_t^2 = 0,00004555 + 0,07311\varepsilon_{t-1}^2 + 0,8791\sigma_{t-1}^2$$
 - c. INDF

$$\sigma_t^2 = 0,000007489 + 0,08676\varepsilon_{t-1}^2 + 0,9021\sigma_{t-1}^2$$
 - d. UNVR

$$\sigma_t^2 = 0,000009100 + 0,1344\varepsilon_{t-1}^2 + 0,8530\sigma_{t-1}^2$$
3. Perhitungan besar risiko yang ditanggung oleh investor dari hasil estimasi *Value at Risk* (VaR) dengan metode GARCH-Vine Copula pada saham ICBP, INCO, INDF, dan UNVR periode 1 Januari 2016–30 Juni 2020 dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, 99% menghasilkan nilai sebesar 1,76%, 2,39%, 4,1%.

Sehingga jika seorang investor menginvestasikan dana sebesar Rp 200.000.000,- maka kemungkinan kerugian maksimal pada suatu hari kedepan adalah sebesar Rp 3.518.022, Rp 4.776.616, Rp 8.185.612 dengan tingkat kepercayaan 90%, 95%, 99% secara berturut-turut. Sedangkan *return* yang akan diperoleh dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_p &= \sum_{i=1}^n w_i R_i \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times 0,00040492\right) + \left(\frac{1}{4} \times 0,00053107\right) + \left(\frac{1}{4} \times 0,00031876\right) + \left(\frac{1}{4} \times 0,00022263\right) \\
 &= 0,00036935
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka akan diperoleh *return* sebesar Rp 73.870

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pertimbangan dalam studi literatur, saran-saran yang dapat peneliti sampaikan yaitu sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini menggunakan estimasi *Value at Risk* (VaR) simulasi *Monte Carlo*, disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan metode estimasi VaR yang lain
2. Dapat melakukan perhitungan VaR menggunakan Copula dari keluarga Elliptical yang belum dibahas pada penelitian ini
3. Dapat melakukan perhitungan VaR dengan metode yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., & Bakken, H. 2009. *Pair-Copula Constructions of Multiple Dependence*. Insurance: Mathematics and economics, 44(2), 182-198.
- Bain, J., Lee & Engelhardt, M. 1992. *Introduction to Probability And Mathematical Statistics*. California : Duxbury Press.
- Bollerslev, T. 1986. *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*. Journal of Econometrics, 307-327.
- Chong, K.P. 2001. *An Introduction to Optimization*. Canada : John Wiley & Sons.
- Czado, C. 2019. *Analyzing Dependent Data with Vine Copulas*. Germany: Springer Nature Switzerland AG.
- Dharmawan, K. 2014. *Estimasi Nilai Value At Risk Portofolio Menggunakan Metode T-Copula*. Jurnal Matematika Sains dan Teknologi, 15(1), 01-11.
- Fahmi, I., & Hadi, Y.L. 2011. *Teori Portofolio dan Analisis Investasi Teori dan Soal Jawab*. Bandung: Alfabeta.
- Halim, A. 2015. *Analisis Investasi dan Aplikasinya*. Jakarta : Salemba Empat.
- Harsoyo, T. S. 2017. *Estimasi Value at Risk pada Portofolio Saham LQ45 dengan Metode Copula-GARCH*. Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Joe, H. 2011. *Dependence Modeling Vine Copula Handbook*. London: World Scientific.
- Jogiyanto. 2012. *Teori Portofolio dan Analisis Investasi*. Yogyakarta: BPFE-Yogyakarta.
- Jorion, P. 2007. *Value at Risk: the new benchmark for managing financial risk*. United States : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Liu, J. 2011. *Extreme Value Theory and Copula Theory: A Risk Management Application with Energy Futures*, Dissertation, University of Victoria.

- Mahendra, I. K. T. B., Dharmawan, K., & Tastrawati, N. K. T. 2015. *Model Non Linier GARCH (NGARCH) Untuk Mengestimasi Nilai Value at Risk (VaR) pada IHSG*. E Jurnal Matematika, 4(2), 59-66.
- Nelsen, R. B. 2006. *An Introduction to Copulas*. Second Edition. Springer, New York.
- Nurudin, M., Mara, M. N., & Kusnandar, D. 2014. *Ukuran Sampel dan Distribusi Sampling dari Beberapa Variabel Random Kontinu*. Bimaster, 3(01), 1-6.
- Pintari, H. O., & Subekti, R. 2018. *Penerapan Metode GARCH-Vine Copula untuk Estimasi Value at Risk (VaR) pada Portofolio*. Jurnal Fourier, 7(2), 63-77.
- Qudratullah, M. F. 2019. *Treynor Ratio to Measure Islamic Stock Performance in Indonesia*. Jurnal Fourier, 8(1), 1-13.
- Quinn, K. 2001. *The Newton Raphson Algorithm for Function Optimization*. University of Washington Seattle.
- Rahmadayanti, C., dkk. 2018. *Model GARCH dengan Pendekatan Conditional Maximum Likelihood untuk Prediksi Harga Saham*. Indonesia Journal on Computing (Indo-JC), 3(2), 21-28.
- Rosadi, D. 2011. *Analisis Ekonometrika & Runtun Waktu Terapan dengan R*. Yogyakarta: Andi.
- Subagyo, P. 2012. *Statistik Deskriptif*. Yogyakarta: BPFE-Yogyakarta.
- Sudina, N. W. U. Y. A., Dharmawan, K., & Sumarjaya, I. W. *Estimasi Nilai Conditional Value at Risk (CVaR) Portofolio Menggunakan Metode EVT-GJR-Vine Copula*. E Jurnal Matematika, 8(1), 15-26.
- Sumarjaya, I. W. 2013. *Memodelkan Ketergantungan dengan Kopula*. Jurnal Matematika, 3(1), 34-42.

Tarigan, H. S.2015. *Estimasi Value at Risk (VaR) Portofolio Saham yang Tergabung dalam Indeks LQ45 Periode Agustus 2014 sampai Januari 2015 Menggunakan Metoda Copula Garch*. Jurnal Sains dan Seni ITS,4(2),2337-3520.

