

THESIS

**MARKET MICROSTRUCTURE TOKENIZED CARBON ASSETS
TRADING PADA BLOCKCHAIN-BASED BIOCRYPTO DALAM
VOLUNTARY CARBON MARKETS: ANALISIS LIKUIDITAS DAN
PEMODELAN VOLATILITAS RETURN DENGAN GARCH-TYPE
ESTIMATION**



Disusun Oleh:

Veronica Tri Kusuma

NPM: 245028408/KEU/MM

**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN
FAKULTAS BISNIS DAN EKONOMIKA
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2025**



**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN
FAKULTAS BISNIS DAN EKONOMIKA
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

PERSETUJUAN TESIS

Nama : Veronica T. Kusuma
Nomor Mahasiswa : 245028408
Konsentrasi : Manajemen Keuangan
Judul Tesis : *Market Microstructure Tokenized Carbon Assets Trading pada Blockchain-Based Biocrypto dalam Voluntary Carbon Markets: Analisis Likuiditas dan Pemodelan Volatilitas Return dengan GARCH-Type Estimation*

Nama Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

Prof. Dr. J. Sukmawati Sukamulja, MM. 6 Januari 2026



**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN
FAKULTAS BISNIS DAN EKONOMIKA
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

PENGESAHAN TESIS

Nama : Veronica T. Kusuma
Nomor Mahasiswa : 245028408
Konsentrasi : Manajemen Keuangan
Judul Tesis : *Market Microstructure Tokenized Carbon Assets Trading pada Blockchain-Based Biocrypto dalam Voluntary Carbon Markets: Analisis Likuiditas dan Pemodelan Volatilitas Return dengan GARCH-Type Estimation*

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda Tangan
(Ketua) Prof. Dr. J. Sukmawati Sukamulja, MM.	6 Januari 2026	
(Anggota) Prof. Dr. I Putu Sugiarta Sanjaya, S.E, M.Si., Akt., CA	6 Januari 2026	
(Anggota) Dwitya Aribawa, SE., MBA.	6 Januari 2026	

Dekan,

Wenefrida Mahestu N. Krisjanti, MSc. Ph.D.

Ketua Program studi,

Elisabeth Dita Septiari, SE., M.Sc., Ph.D

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini dengan sesungguhnya menyatakan bahwa tesis dengan judul:

Market Microstructure Tokenized Carbon Assets Trading pada Blockchain-Based Biocrypto dalam Voluntary Carbon Markets: Analisis Likuiditas dan Pemodelan Volatilitas Return dengan GARCH-Type Estimation

benar-benar merupakan buah pikiran saya sendiri. Pernyataan, ide, maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam tesis ini pada bagian daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti adanya kesengajaan dalam melakukan plagiarisme sebagian atau keseluruhan dari tesis ini, maka saya bersedia agar gelar dan ijazah yang telah saya peroleh dibatalkan oleh pihak Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan akan segera dikembalikan jika hal tersebut terbukti.

Yogyakarta, 6 Januari 2026

Yang menyatakan,



Veronica T. Kusuma

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Allah Tritunggal Mahakudus, atas kasih, rahmat, dan penyertaan-Nya yang tidak pernah berkesudahan. Berkat cinta kasih Tuhan Yesus Kristus, serta melalui perantaraan doa Bunda Maria, penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Magister Manajemen, Fakultas Bisnis dan Ekonomika, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Tesis ini berjudul “*Market Microstructure Tokenized Carbon Assets Trading pada Blockchain-Based Biocrypto dalam Voluntary Carbon Markets: Analisis Likuiditas dan Pemodelan Volatilitas Return dengan GARCH-Type Estimation*”. Penelitian ini mengkaji dinamika struktur mikro pasar dalam perdagangan aset karbon berbasis tokenisasi dan teknologi *blockchain*, dengan tujuan untuk memahami efisiensi, likuiditas, serta karakteristik volatilitas *return* dalam *voluntary carbon markets*. Penulis meyakini bahwa pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam konteks keuangan berkelanjutan, merupakan bagian dari panggilan manusia untuk merawat dan menjaga lingkungan.

Proses penyusunan tesis ini merupakan perjalanan akademik sekaligus pembentukan pribadi, yang menuntut ketekunan, kejujuran ilmiah, serta sikap rendah hati dalam mencari kebenaran. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa karya ini tidak mungkin terselesaikan tanpa bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. G. Sri Nurhartanto, S.H., LL.M. selaku Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta, atas kepemimpinan dan komitmennya dalam mengembangkan pendidikan tinggi yang berlandaskan nilai-nilai Kristiani.
2. Wenefrida Mahestu Noviantra Krisjanti, S.E., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Bisnis dan Ekonomika Universitas Atma Jaya Yogyakarta, atas dukungan dan fasilitas akademik yang diberikan selama masa studi.

3. Elisabet Dita Septiari, S.E., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Manajemen Universitas Atma Jaya Yogyakarta, atas perhatian dan pendampingan selama proses studi.
4. Prof. Dr. J. Sukmawati Sukamulya, MM. selaku Dosen Pembimbing Tesis, mentor, ibu yang dengan kesabaran, ketelitian, dan dedikasi telah membimbing penulis dari awal hingga selesainya tesis ini. Terimakasih untuk cinta dan motivasi Ibu, serta menjadi cahaya penguat bagi penulis untuk bangkit, pulih, dan kembali melangkah dengan harapan dan iman dalam perjalanan akademik maupun kehidupan. Terimakasih juga untuk Ibu sudah membantu dalam publikasi dan rencana studi S3. Penulis sangat bersyukur dan bahagia mendapatkan ilmu, nasehat dan berbagai berkat yang penulis terima dari Tuhan melalui kehadiran Ibu dalam kehidupan dan pendidikan penulis.
5. Prof. Dr. I Putu Sugiarta Sanjaya, S.E, M.Si., Akt., CA yang mendorong penulis untuk keluar dari zona nyaman dengan merekomendasikan topik tesis yang sangat menantang, sehingga memperkaya wawasan, ketangguhan akademik, dan kedewasaan intelektual penulis.
6. Pak Dwitya Aribawa, SE., MBA. selaku dosen penguji dan dosen mata kuliah keuangan, terimakasih untuk insight dan dukungan yang sangat berharga bagi penyempurnaan tesis ini.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Fransiscus Xaverius Sugihartono, S.Hut., dan Ibu Margaretha T. Cahyaningsih, S.Psi., yang dengan kasih tanpa syarat, pengorbanan yang tak pernah dihitung, serta doa yang setia dan tak pernah berhenti telah menjadi sandaran hidup penulis. Terima kasih atas cinta kasih yang menghibur saat penulis rapuh, penguatan yang mengangkat saat penulis jatuh, dan keteguhan yang menuntun penulis hingga mampu berdiri kembali, kiranya Tuhan Yesus Kristus senantiasa melimpahkan berkat, kesehatan, dan damai sejahtera-Nya kepada Bapak dan Ibu.
8. Kedua kakak penulis, Scholastica Venesa Zukova, S.Pd. dan Richardo Satria, S.IKom. yang dengan kasih sayang yang tulus, perhatian yang hangat, serta doa yang diam-diam namun setia selalu mengiringi langkah

adik tercinta, menjadi penguat di saat lelah, penghibur di saat goyah, dan keluarga yang selalu menjadi rumah bagi penulis.

9. Teman-teman dan sahabat penulis Naila, Ika, Aleta, Maria, Ulfa, Freyli, Kevin, Kak Matheos, Anggi, Alan, Nuel, Gadis, Caca, Dika dan Elwis yang telah memberikan dukungan, semangat, serta kebersamaan selama proses kuliah dan penyusunan tesis ini.
10. Romo Emmanuel Maria Supranawa dan (Alm) Romo Stefanus Istata Raharajo sebagai romo paroki yang mendukung dan mendoakan penulis untuk menempuh studi MM di UAJY.
11. Ibu Martha Riana sebagai teman, sahabat dan penolong yang membantu penulis sehat dan pulih.
12. Untuk saya Veronica, terimakasih sudah sembuh dan bahagia. Terimakasih sudah berjuang dan menjadi dewasa.
13. Seluruh pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta menjadi wujud tanggung jawab moral dalam upaya menciptakan sistem ekonomi dan keuangan yang lebih adil, berkelanjutan, dan berlandaskan nilai kemanusiaan. Kiranya Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberkati setiap karya dan usaha yang dilakukan dengan niat baik, dan semoga Bunda Maria selalu menyertai setiap langkah penulis ke depan.

Yogyakarta, 6 Januari 2026

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji likuiditas, efisiensi harga, dan volatilitas return yang bersifat heterogen pada perdagangan token karbon dalam *Voluntary Carbon Markets* (VCMs) berbasis *blockchain*. Dengan menggunakan data *on-chain* harian dari tiga token karbon (\$KLIMA, BCT, dan MCO2) sebanyak 1.075 observasi pada periode 21 Oktober 2021 hingga 29 Oktober 2024, analisis ini mengintegrasikan dua determinan utama, yaitu *tokenized carbon assets on-chain trading* (diproksikan oleh *total supply*, volume transaksi, dan nilai transaksi) serta adopsi *biocrypto* (*marketcap*, frekuensi transaksi, dan jumlah *wallet* aktif). Hasil empiris menunjukkan adanya heterogenitas yang kuat antar-token dalam pembentukan likuiditas. Pada token \$KLIMA, variabel perdagangan on-chain tidak signifikan secara parsial tetapi signifikan secara simultan, yang mengindikasikan bahwa likuiditas terbentuk melalui interaksi sistemik antarvariabel. Sebaliknya, likuiditas token BCT terutama dipengaruhi oleh volume dan nilai transaksi, sedangkan pada MCO2 likuiditas didominasi oleh *total supply*, yang mencerminkan permintaan yang bersifat struktural. Pada seluruh token, *marketcap* sebagai satu-satunya determinan parsial yang konsisten terhadap volume perdagangan, *bid-ask spread*, dan volatilitas *return*, sehingga menegaskan dominasi *size effect*. Analisis moderasi menunjukkan bahwa regulasi berperan terutama sebagai *pure moderator*, yang memperkuat pengaruh kapitalisasi pasar dan aktivitas perdagangan terhadap likuiditas dan volatilitas tanpa memberikan pengaruh langsung. Dinamika *bid-ask spread* yang didorong oleh volatilitas lebih dominan dibandingkan pengaruh volume pada token \$KLIMA dan MCO2, sementara likuiditas BCT relatif tidak sensitif terhadap guncangan mikrostruktural. Pemodelan volatilitas menggunakan model ARMA-GARCH-type menunjukkan bahwa MCO2 memiliki volatilitas jangka pendek yang memadai ditangkap oleh model ARMA(2,1) tanpa rerata. Token \$KLIMA menunjukkan volatilitas jangka panjang yang kuat dan dimodelkan oleh ARMA(1,3)-FIGARCH(1,d,1) dengan distribusi Student-t, sedangkan pola persistensi jangka panjang pada BCT dimodelkan oleh ARMA(1,1)-FIGARCH(1,d,1) dengan distribusi Student-t, yang mengindikasikan keberadaan ekor distribusi yang tebal (*fat-tailed behavior*) serta *shock* volatilitas yang meluruh secara lambat. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa pasar karbon ter-tokenisasi tidak memiliki struktur likuiditas dan volatilitas yang homogen, serta bahwa efektivitas fungsi pasar sangat bergantung pada desain tokenomics, infrastruktur blockchain, dan integrasi regulasi.

Keywords: Tokenized carbon assets, biocrypto, regulasi, likuiditas VCMs, ARMA-FIGARCH model, long memory, volatilitas return

ABSTRACT

This study examines the heterogeneous determinants of liquidity, price efficiency, and return volatility in tokenized carbon assets within blockchain-based Voluntary Carbon Markets (VCMs). Using daily on-chain data for three carbon tokens, including \$KLIMA, BCT, and MCO2, covering 1075 observations from 21 October 2021 to 29 October 2024, the analysis integrates two dimensions of adoption: tokenized carbon on-chain trading (proxied by total supply, transaction volume, and transaction value) and biocrypto adoption (market capitalization, transaction frequency, and active wallets). The results reveal substantial cross-token heterogeneity in liquidity formation. For \$KLIMA, on-chain trading variables are insignificant individually but jointly significant, indicating liquidity driven by systemic interactions. In contrast, BCT liquidity is primarily driven by transaction volume and value, while MCO2 liquidity is dominated by total supply, reflecting structurally driven demand. Across all tokens, market capitalization emerges as the only consistent partial determinant of trading volume, bid-ask spread, and return volatility, confirming a dominant size effect. Moderation analysis shows that regulation acts mainly as a pure moderator, amplifying the effects of market capitalization and trading activity on liquidity and volatility without exerting direct influence. Volatility-based bid-ask spread dynamics dominate volume effects for \$KLIMA and MCO2, whereas BCT liquidity is largely insensitive to microstructural shocks. Volatility modeling using ARMA-GARCH-type models indicate short-memory volatility for MCO2, adequately captured by ARMA(2,1) model with mean term, while \$KLIMA exhibit pronounced long-memory volatility best modeled by ARMA(1,3)-FIGARCH(1,d,1) mean-variance model with Student's t-distribution and the volatility dynamics of BCT are best captured by the ARMA(1,1)-FIGARCH(1,d,1) with Student's t-distribution. These results indicate the presence of fat-tailed return distributions and slowly decaying volatility shocks. Overall, the findings demonstrate that tokenized carbon markets do not exhibit homogeneous liquidity or volatility structures and that effective market functioning critically depends on tokenomics design, blockchain infrastructure, and regulatory integration.

Keywords: Tokenized carbon assets, biocrypto, regulation, liquidity VCMs, ARMA-FIGARCH model, long memory, return volatility

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN TESIS	ii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SINGKATAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	21
1.3 Tujuan Penelitian	21
1.4 Manfaat Penelitian	22
1.5 Batasan Penelitian.....	23
1.6 Sistematika Penulisan	25
BAB II LANDASAN TEORI.....	28
2.1 <i>Market Microstructure Theory</i>	28
2.1.1 Struktur Pasar dalam <i>Blockchain-Based Markets Microstructure</i> ...	29
2.1.2 Asimetri Informasi dalam <i>Market Microstructure</i>	31
2.1.3 <i>Price Discovery</i> dan Efisiensi Pasar	35
2.1.4 Likuiditas dalam Perspektif <i>Market Microstructure</i>	37
2.2 <i>Carbon Offsetting</i>	39

2.3	<i>Carbon Credit sebagai Intangible Asset</i>	40
2.4	<i>Compliance Carbon Markets (CCMs)</i>	43
2.5	<i>Voluntary Carbon Markets (VCMs)</i>	44
2.5.1	<i>Blockchain sebagai Infrastruktur Pendukung VCMs</i>	47
2.5.2	<i>Mekanisme Perdagangan VCMs</i>	56
2.5.3	<i>Peran Standar Sertifikasi dalam VCMs</i>	58
2.5.4	<i>Pertumbuhan dan Dampak VCMs terhadap Keberlanjutan</i>	60
2.5.5	<i>Tantangan dalam VCMs</i>	61
2.5.6	<i>Efisiensi dan Likuiditas VCMs</i>	62
2.6	<i>Tokenized Carbon Credit sebagai Digital Asset</i>	70
2.6.1	<i>Manfaat Tokenisasi Kredit Karbon</i>	73
2.6.2	<i>Skema Tokenisasi Kredit Karbon</i>	76
2.6.3	<i>Tokenisasi dalam Proyek Karbon</i>	77
2.7	<i>Biocrypto sebagai Financing Framework dalam Kredit Karbon</i>	83
2.7.1	<i>Biocrypto dan Ekonomi Sirkular Digital</i>	85
2.7.2	<i>Mekanisme Kerja dan Teknologi Pendukung Biocrypto</i>	86
2.7.3	<i>Verifikasi Digital dalam Sistem Biocrypto</i>	87
2.7.4	<i>Studi Kasus Inovasi Biocrypto</i>	88
2.7.5	<i>Adopsi Biocrypto</i>	90
2.8	<i>On-chain Trading pada VCMs</i>	98
2.8.1	<i>Aktivitas Transaksi dalam Blockchain Ethereum dan Polygon</i>	98
2.8.2	<i>Integrasi Bridge Blockchain (Cross-chain Transfer)</i>	107
2.8.3	<i>Retirement (Carbon Offset)</i>	111
2.8.4	<i>Treasury Transactions</i>	114
2.8.5	<i>Pooling (Liquidity Provision)</i>	120

2.8.6	<i>Smart Contract Interactions</i>	122
2.8.7	Arbitrase.....	127
2.8.8	<i>Tokenized Carbon Asset On-chain Trading</i>	130
2.9	Efek Moderasi.....	137
2.10	Regulasi <i>Carbon Offset Market</i>	139
2.10.1	Taksonomi dan Klasifikasi Token Kredit Karbon.....	143
2.10.2	<i>Regulatory Sandboxes</i>	146
2.10.3	<i>Consumer Protection</i>	149
2.10.4	Legalitas VCMs	152
2.10.5	Token Kredit Karbon dalam Lanskap ESG	155
2.11	Tinjauan Literatur Empiris.....	159
2.12	Model Hipotesis	170
2.12.1	Pengaruh <i>Tokenized Carbon Assets On-chain Trading</i> terhadap Likuiditas VCMs.....	170
2.12.2	Adopsi biocrypto berpengaruh terhadap peningkatan transaksi VCMs.....	182
2.12.3	Pengaruh <i>Bid-ask Spread</i> dan Volatilitas terhadap Volume Perdagangan.....	196
2.12.4	Regulasi pasar karbon memoderasi hubungan antara tokenisasi dan likuiditas VCMs	202
2.12.5	Regulasi pasar karbon memoderasi hubungan antara adopsi biocrypto dan likuiditas VCMs	206
2.12.6	Estimasi Model GARCH	212
2.13	Kerangka Konseptual.....	227
BAB III	METODOLOGI.....	229
3.1	Jenis Penelitian.....	229

3.2	Populasi dan Sampel.....	229
3.2.1	Populasi.....	229
3.2.2	Sampel	230
3.2.3	Teknik Pengambilan Sampel.....	231
3.3	Sumber Data.....	234
3.4	Variabel Penelitian	235
3.4.1	Variabel Independen (X).....	237
3.4.2	Variabel Dependen (Y).....	237
3.4.3	Variabel Moderasi (Z).....	237
3.5	Metode Pengolahan Data	241
3.5.1	<i>Bid-Ask Spread</i>	242
3.5.2	<i>Return Volatilitas</i>	245
3.5.3	<i>Simple Moving Average (SMA)</i>	245
3.6	Metode Analisis Data.....	247
3.6.1	Uji Stasioneritas	247
3.6.2	<i>Moderated Regression Analysis (MRA)</i>	253
3.6.3	Analisis Model GARCH.....	256
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	275
4.1	Analisis Hasil Pengujian	275
4.1.1	Data	275
4.1.2	Deskriptif Statistik	294
4.1.3	<i>Augmented Dickey Fuller (ADF) test</i>	307
4.1.4	<i>Moderated Regression Analysis (MRA)</i>	311
4.1.5	Pemodelan Estimasi GARCH.....	446
4.1.6	Pemodelan GARCH.....	472

4.2	Pembahasan Hasil Penelitian	504
4.2.1	Pengaruh <i>Tokenized Carbon Asset On-Chain Trading</i> terhadap Likuiditas VCMs.....	504
4.2.2	Pengaruh Adopsi <i>Biocrypto</i> terhadap Likuiditas VCMs.....	515
4.2.3	Efek Moderasi Regulasi pada Hubungan <i>Tokenized Carbon Asset On-Chain Trading</i> terhadap Likuiditas VCMs	524
4.2.4	Efek Moderasi Regulasi pada Hubungan Adopsi <i>Biocrypto</i> terhadap Likuiditas VCMs.....	538
4.2.5	Pengaruh Volume Perdagangan dan Volatilitas <i>Return</i> terhadap <i>Bid- Ask Spread</i> dalam Likuiditas VCMs	545
4.2.6	Pemodelan Volatilitas <i>Return</i> dengan Estimasi GARCH-type	549
BAB V	KESIMPULAN	558
5.1	Kesimpulan	558
5.2	Keterbatasan Penelitian.....	561
5.3	Saran	562
Referensi		
Lampiran		

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1-1 Total Volume, Nilai, dan Harga Transaksi Tahunan VCMs Sebelum Tahun 2005–2024.....	6
Tabel 2.11-1 Tinjauan Literatur Empiris	160
Tabel 3.4-1 Deskripsi Variabel dan Indikator dalam Model Penelitian	236
Tabel 3.4-2 Indeks Regulasi	238
Tabel 3.5-1 Kategori Indeks Regulasi menurut RCMMM.....	246
Tabel 4.1-1 Analisis Deskriptif Likuiditas VCMs.....	295
Tabel 4.1-2 Analisis Deskriptif Tokenized Carbon Asset On-chain Trading	298
Tabel 4.1-3 Analisis Deskriptif Adopsi Biocrypto	302
Tabel 4.1-4 Hasil ADF test pada Level $I(0)$	309
Tabel 4.1-5 Hasil ADF test pada First Difference $I(1)$	310
Tabel 4.1-6 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Tokenized Carbon Asset	314
Tabel 4.1-7 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Tokenized Carbon Asset On-chain Trading terhadap Likuiditas VCMs (Bid-ask Spread).....	331
Tabel 4.1-8 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Tokenized Carbon Asset On-chain Trading terhadap Likuiditas VCMs (Volatilitas Return) ...	346
Tabel 4.1-9 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Adopsi Biocrypto pada Likuiditas VCMs (Volume Perdagangan)	362
Tabel 4.1-10 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Adopsi Biocrypto pada Likuiditas VCMs (Bid-ask Spread).....	380

Tabel 4.1-11 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Adopsi Biocrypto pada Likuiditas VCMs (Volatilitas Return)	396
Tabel 4.1-12 Analisis Regresi dan Efek Moderasi Volume Perdagangan dan Volatilitas Return Terhadap Bid-ask Spread.....	413
Tabel 4.1-13 Analisis Efek Moderasi	427
Tabel 4.1-14 Hasil ADF test Harga Token Karbon	449
Tabel 4.1-15 Hasil ADF test Return Token Karbon	452
Tabel 4.1-16 Analisis Autokorelasi Return Token Karbon	457
Tabel 4.1-17 Analisis Hasil Estimasi Parameter Token \$KLIMA	458
Tabel 4.1-18 Analisis Hasil Estimasi Parameter Token BCT.....	461
Tabel 4.1-19 Analisis Hasil Estimasi Parameter Token MCO2	463
Tabel 4.1-20 Hasil Ljung-Box test (Q-statistic) model Mean.....	465
Tabel 4.1-21 Analisis Hasil Ljung–Box test (Square Residuals)	470
Tabel 4.1-22 Hasil Analisis ARCH LM test Model Mean	471
Tabel 4.1-23 Results Testing for ARCH Effects – (ARCH-LM) test.....	473
Tabel 4.1-24 Analisis Model Simetris and Asimetris GARCH ($p=1, q=1$).....	476
Tabel 4.1-25 Analisis Model Simetris and Asimetris GARCH ($p=1, q=1$).....	477
Tabel 4.1-26 Estimasi Persistensi Volatilitas.....	478
Tabel 4.1-27 Analisis Model Terpilih Volatilitas Return Series	499
Tabel 4.1-28 Analisis Jarque-Bera test untuk Model Terpilih.....	500
Tabel 4.1-29 Results of Ljung-Box test (Q-statistic) for The Best Models	501
Tabel 4.1-30 Analisis ARCH-LM test untuk ARCH effect.....	503

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.5-1 Struktur VCMs.....	47
Gambar 2.5-2 Entitas dan Cashflow dalam VCMs.....	57
Gambar 2.11-1 Flowchart Model Penelitian.....	228
Gambar 3.6-1 Kategorisasi Hasil Uji Variabel Moderasi.....	255
Gambar 4.1-1 Plot Volume Perdagangan Harian Token \$KLIMA	276
Gambar 4.1-2 Plot Volume Perdagangan Token BCT	276
Gambar 4.1-3 Plot Volume Perdagangan Harian Token MCO2	276
Gambar 4.1-4 Plot Bid-ask Spread Harian Token \$KLIMA.....	278
Gambar 4.1-5 Plot <i>Bid-ask Spread</i> Harian Token BCT	278
Gambar 4.1-6 Plot <i>Bid-ask Spread</i> Harian Token MCO2.....	278
Gambar 4.1-7 Plot Volatilitas Return Harian Token \$KLIMA	280
Gambar 4.1-8 Plot Volatilitas Return Harian token BCT.....	280
Gambar 4.1-9 Plot Volatilitas Return Harian Token MCO2	280
Gambar 4.1-10 Plot Total Supply Token \$KLIMA.....	282
Gambar 4.1-11 Plot Total Supply Token BCT	282
Gambar 4.1-12 Plot Total Supply Token MCO2.....	283
Gambar 4.1-13 Plot Volume Transaksi Token \$KLIMA	284
Gambar 4.1-14 Plot Volume Transaksi Token BCT	284
Gambar 4.1-15 Plot Volume Transaksi Token MCO2	285
Gambar 4.1-16 Plot Nilai Transaksi Token \$KLIMA.....	286
Gambar 4.1-17 Plot Nilai Transaksi Token BCT	286

Gambar 4.1-18 Plot Nilai Transaksi Token MCO2.....	287
Gambar 4.1-19 Plot MarketCap Token \$KLIMA	289
Gambar 4.1-20 Plot MarketCap Token BCT	289
Gambar 4.1-21 Plot MarketCap Token MCO2	289
Gambar 4.1-22 Plot Frekuensi Transaksi Token \$KLIMA	291
Gambar 4.1-23 Plot Frekuensi Transaksi Token BCT	291
Gambar 4.1-24 Plot Frekuensi Transaksi Token MCO2	291
Gambar 4.1-25 Plot Wallet Aktif Token \$KLIMA.....	293
Gambar 4.1-26 Plot Wallet Aktif Token BCT	293
Gambar 4.1-27 Plot Wallet Aktif Token MCO2.....	293
Gambar 4.1-28 Plot Harga Token \$KLIMA	448
Gambar 4.1-29 Plot Harga Token BCT.....	448
Gambar 4.1-30 Plot Harga Token MCO2	449
Gambar 4.1-31 Plot Return Token \$KLIMA	450
Gambar 4.1-32 Plot Return Token BCT.....	451
Gambar 4.1-33 Plot Return Token MCO2	451
Gambar 4.1-34 Plot ACF dan PACF Return Token \$KLIMA	454
Gambar 4.1-35 Plot ACF dan PACF <i>Return</i> Token BCT.....	454
Gambar 4.1-36 Plot ACF dan PACF Return Token MCO2	455
Gambar 4.1-37 Residual Kuadrat ARMA(1,3) Token \$KLIMA	468
Gambar 4.1-38 Residual Kuadrat ARMA(1,1) Token BCT.....	468
Gambar 4.1-39 Residual Kuadrat ARMA(2,1) Token MCO2	468

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Augmented Dickey Fuller (ADF) test Statistics pada Data Level $I(0)$

Lampiran B Augmented Dickey Fuller (ADF) test Statistics pada Data First Difference $I(1)$

Lampiran C Estimasi Model ARMA dengan Rerata

Lampiran D Estimasi Model ARMA Tanpa Rerata

Lampiran E Hasil Estimasi Model GARCH dan ARCH-LM test Token \$KLIMA

Lampiran F Hasil Estimasi Model GARCH dan ARCH-LM test Token BCT

Lampiran G Hasil Estimasi Model EGARCH dan ARCH-LM test Token \$KLIMA

Lampiran H Hasil Estimasi Model EGARCH dan ARCH-LM test Token BCT

Lampiran I Hasil Estimasi Model TGARCH dan ARCH-LM test Token \$KLIMA

Lampiran J Hasil Estimasi Model TGARCH dan ARCH-LM test Token BCT

Lampiran K Hasil Estimasi Model FIGARCH dan ARCH-LM test Token \$KLIMA

Lampiran L Hasil Estimasi Model FIGARCH dan ARCH-LM test Token BCT

Lampiran M Hasil Estimasi Model APARCH dan ARCH-LM test Token \$KLIMA

Lampiran N Hasil Estimasi Model APARCH dan ARCH-LM test Token BCT

Lampiran O Hasil Kriteria Seleksi (Goodness-of-fit) Model Volatilitas Return Berdasarkan AIC, SC, HIC, dan Log-Likelihood

Lampiran P Diagnostics Checking Ljung-Box test

Lampiran Q Indeks Regulasi

Lampiran R Hasil Simple Moving Average Indeks Regulasi

Lampiran S Data Sampel Penelitian Token \$KLIMA

Lampiran T Data Sampel Penelitian Token BCT

Lampiran U Data Sampel Penelitian Token MCO₂

DAFTAR SINGKATAN

ACR	= <i>American Carbon Registry</i>
ACX	= <i>AirCarbon Exchange</i>
BBCE	= <i>Bitcoin blockchain carbon emission</i>
BCT	= <i>Base Carbon Tonne</i>
BECCS	= <i>Bioenergy with Carbon Capture and Storage</i>
BEI	= <i>Bursa Efek Indonesia</i>
BNN	= <i>Bayesian neural network</i>
CAPM	= <i>Capital Asset Pricing Model</i>
CAR	= <i>Climate Action Reserve</i>
CCC	= <i>Crypto Carbon Credits</i>
CCMs	= <i>Compliance Carbon Markets</i>
CCS	= <i>Carbon Capture and Storage</i>
CDM	= <i>Clean Development Mechanism</i>
CDS	= <i>Credit Default Swaps</i>
CCP	= <i>Core Carbon Principles</i>
CDR	= <i>Carbon Dioxide Removal</i>
CER	= <i>Certified Emissions Reduction</i>
CEX	= <i>Centralized Exchange</i>
CLT	= <i>Central Limit Theorem</i>
CBDC	= <i>Central Bank Digital Currency</i>
CBAM	= <i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i>
CCUS	= <i>Carbon Capture, Utilization, and Storage</i>
CFTC	= <i>Commodity Futures Trading Commission</i>
CO	= <i>Carbon Offsetting</i>
CORSIA	= <i>Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation</i>
CRRIX	= <i>Regulatory Risk Index</i>
CRSX	= <i>Regulation Sentiment Index</i>
CSA	= <i>Canadian Securities Administrators</i>
CSDDD	= <i>Corporate Sustainability Due Diligence Directive</i>
CSR	= <i>Corporate Social Responsibility</i>
DACCS	= <i>Direct Air Carbon Capture and Storage</i>
DAO	= <i>Decentralized Autonomous Organization</i>
DeFi	= <i>Decentralized Finance</i>
DEX	= <i>Decentralized Exchange</i>
DFSA	= <i>Dubai International Financial Centre</i>
DLT	= <i>Distributed Ledger Technology</i>
DPT	= <i>Digital Payment Tokens</i>
EGC	= <i>EverGreen Coin</i>
ERPA	= <i>Emission Reduction Purchase Agreement</i>
ESG	= <i>Environmental Social Governance</i>
ESOP	= <i>Employee Stock Options Program</i>
ETS	= <i>Emissions Trading System</i>

EVA	= <i>Economic Value Added</i>
FTA	= <i>Forest Trends Association</i>
EUDR	= <i>European Union Deforestation Regulation</i>
EVM	= <i>Ethereum Virtual Machine</i>
GARCH	= <i>Generalized Auto-Regressive Conditional Heteroskedasticity</i>
GDP	= <i>Gross Domestic Profit</i>
GDPR	= <i>General Data Protection Regulation</i>
GHGs	= <i>Greenhouse Gasses</i>
GS	= <i>Gold Standard</i>
H-DR	= <i>Hydrogen-based direct reduction</i>
HFT	= <i>High-Frequency Trading</i>
HKMA	= <i>Hong Kong Monetary Authority</i>
IaC	= <i>Infrastructure-as-Code</i>
ICAP	= <i>International Carbon Action Partnership</i>
IC-VCM	= <i>Integrity Council for the Voluntary Carbon Market</i>
IEA	= <i>International Energy Agency</i>
IETA	= <i>International Emissions Trading Association</i>
ICROA	= <i>International Carbon Reduction and Offset Alliance</i>
ICVCM	= <i>Integrity Council for the Voluntary Carbon Market</i>
IFM	= <i>Improved Forest Management</i>
IOSCO	= <i>International Organization of Securities Commissions</i>
IoT	= <i>Internet of Things</i>
IPCC	= <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISDA	= <i>International Swaps and Derivatives Association</i>
ISO	= <i>International Organization for Standardization</i>
ITMOs	= <i>Internationally Transferred Mitigation Outcomes</i>
LBO	= <i>Leveraged Buyouts</i>
LSTM	= <i>Long Short-Term Memory</i>
LTS-LCCR	= <i>Long-term Strategy on Low Carbon and Climate Resilience</i>
MBV	= <i>Market to Book Value</i>
MLP	= <i>Multilayer Perceptron</i>
MVA	= <i>Market Value Added</i>
NDC	= <i>Nationally Determined Contribution</i>
NFT	= <i>Non-Fungible Token</i>
NGO	= <i>Non-governmental Organizations</i>
NIST	= <i>National Institute of Standards and Technology</i>
NOAA	= <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRT	= <i>Nori Removal Tonne</i>
NZE	= <i>Net Zero Emissions</i>
MAS	= <i>Monetary Authority of Singapore</i>
MDH	= <i>Mixture of Distribution Hypothesis</i>
MiCA	= <i>Markets in Crypto-Assets</i>
MCO2	= <i>Moss Carbon Credit</i>
MRV	= <i>Monitoring, Reporting, Verification</i>
MtCO _{2e}	= <i>Matrix Tone Carbon Dioxide Equivalent</i>
LLN	= <i>Law of Large Number</i>

LTS-LCCR	=	<i>Nationally Determined Contribution</i>
OECD	=	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
OSTP	=	<i>Office of Science and Technology Policy</i>
OTC	=	<i>Over-the-Counter</i>
PCI DSS	=	<i>Payment Card Industry Data Security Standard</i>
PAN	=	<i>Primary Account Number</i>
PER	=	<i>Price Earnings Ratio</i>
PES	=	<i>Payment for Ecosystem Services</i>
PII	=	<i>Personally Identifiable Information</i>
PoS	=	<i>Proof of Stake</i>
PoS-C	=	<i>Proof of Stake-Checkpointing</i>
PoW	=	<i>Proof of Work</i>
PS Act	=	<i>Payment Services Act 2019</i>
RBF	=	<i>Result-Based Finance</i>
REDD+	=	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
RFIA	=	<i>Responsible Financial Innovation Act</i>
RNN	=	<i>Recurrent Neural Network</i>
ROI	=	<i>Return on Investment</i>
RQ	=	<i>Regulation Quality</i>
SAF	=	<i>Sustainable Aviation Fuel</i>
SBTi	=	<i>Science Based Targets initiative</i>
SDG	=	<i>Sustainable Development Goals</i>
SEC	=	<i>U.S. Securities and Exchange Commission</i>
SFDR	=	<i>Sustainable Finance Disclosure Regulation</i>
SIAH	=	<i>Sequential Information Arrival Hypothesis</i>
SSN	=	<i>Social Security Number</i>
STO	=	<i>Security Token Offerings</i>
TCT	=	<i>Tokenized Carbon Tonne</i>
TCO2	=	<i>Tokenized CO2</i>
TSVCM	=	<i>Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets</i>
TVL	=	<i>Total Value Locked</i>
TVTG	=	<i>Token and TT Service Provider Act</i>
UNCITRAL	=	<i>United Nations Commission on International Trade Law</i>
UNEP	=	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNFCCC	=	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNIDROIT	=	<i>International Institute for the Unification of Private Law</i>
VCCs	=	<i>Voluntary Carbon Credits</i>
VCMs	=	<i>Voluntary Carbon Markets</i>
VCM-WG	=	<i>Voluntary Carbon Market Working Group</i>
VCRIX	=	<i>NYLI CBRE Global Infrastructure Class I</i>
VCS	=	<i>Verified Carbon Standard</i>
VCUs	=	<i>Verified Carbon Units</i>
VDA	=	<i>Virtual Digital Assets</i>
VER	=	<i>Voluntary Emissions Reduction</i>
VCO	=	<i>Voluntary Carbon Offset</i>

VoV	= <i>volatility over volume</i>
WEF	= <i>World Economic Forum</i>
WMO	= <i>World Meteorological Organization</i>

