

SKRIPSI

**ESTIMASI RISIKO INDEKS SAHAM SYARIAH DENGAN
PENDEKATAN *HYBRID EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
AVERAGE* (EWMA) DAN *LONG SHORT-TERM MEMORY***

(Studi Kasus: Indeks Saham Syariah dari *Jakarta Islamic Index* (JII) Periode
Januari 2016 – 2025)



Diajukan Oleh

Alifiya Aziza

22106010002

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2026

**ESTIMASI RISIKO INDEKS SAHAM SYARIAH DENGAN
PENDEKATAN *HYBRID EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
AVERAGE* (EWMA) DAN *LONG SHORT-TERM MEMORY***

(Studi Kasus: Indeks Saham Syariah dari *Jakarta Islamic Index* (JII) Periode
Januari 2016 – 2025)

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1
Program Studi Matematika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Diajukan Oleh
Alifiya Aziza
22106010002

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2026

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

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 : Alifiya Aziza

NIM : 22106010002

Judul Skripsi : Estimasi Risiko Indeks Saham Syariah Dengan Pendekatan *Hybrid Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) Dan Long Short-Term Memory (LSTM)*

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 dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 16 Mei 2026

Pembimbing

Dr. Mohammad Farhan Oudratullah, S.Si., M.Si

NIP. 19790922 200801 1 011

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1457/Un.02/DST/PP.00.9/07/2026

Tugas Akhir dengan judul : Estimasi Risiko Index Saham Syariah dengan Pendekatan Hybrid Exponentilly Weighted Moving Average (EWMA) dan Long Short-Term Memory (Studi Kasus: Index Saham Syariah dari Jakarta Islamic Index Periode Januari 2016- 2025)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ALIFIYA AZIZA
Nomor Induk Mahasiswa : 22106010002
Telah diujikan pada : Rabu, 10 Juni 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Mohammad Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si
SIGNED

Valid ID: 6a4f20d1682d0



Penguji I

Muhamad Rashif Hilmi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6a40e2067705



Penguji II

Muchammad Abrori, S.Si., M.Kom
SIGNED

Valid ID: 6a47c90277386



Yogyakarta, 10 Juni 2026

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr., Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a4f2ca1ee253

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alifiya Aziza
NIM : 22106010002
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, 26 Mei 2026



Alifiya Aziza

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

KARYA INI PENULIS PERSEMBAHKAN KEPADA:

KEDUA ORANG TUA DAN KELUARGA BESAR YANG SENANTIASA
MEMBERIKAN DOA, DUKUNGAN, SERTA SEMANGAT DALAM
SETIAP LANGKAH PERJALANAN PENULIS.

UNTUK SAHABAT-SAHABAT YANG TELAH MENEMANI PROSES
PANJANG PENUH CERITA, TAWA, DAN PERJUANGAN, SERTA
TEMAN-TEMAN MATEMATIKA ANGKATAN 2022 ATAS MOTIVASI,
NASIHAT, PENGALAMAN, DAN KENANGAN BERHARGA YANG
TURUT MEWARNAI PERJALANAN INI.

UCAPAN TERIMA KASIH JUGA PENULIS SAMPAIKAN KEPADA
PARA DOSEN DAN UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN
KALIJAGA YOGYAKARTA YANG TELAH MENJADI TEMPAT
PENULIS BELAJAR, BERKEMBANG, SERTA MEMPEROLEH
BANYAK PENGALAMAN DAN ARAH BARU DALAM PERJALANAN
AKADEMIK MAUPUN PRIBADI.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

“Beranilah Hidup, Hiduplah Lebih Sederhana”

-Alifiya Aziza

“Hidup adalah perjalanan dan bukan tujuan akhir”

-Ralph Waldo Emerson

“Semua yang tercipta untukmu ia takkan berpaling darimu

Meski sejauh mana akan berlabuh

Ia takkan hening

Sejatinya itu untuk kamu”

-Salma Salsabil

“Telah kusadar hidup bukanlah

Perihal mengambil yang kau tebar

Sedikit air yang kupunya

Milikmu juga Bersama”

-Hindia (Membasuh)

Semoga lama hidupmu di sini

Melihatku berjuang sampai akhir

Seperti detak jantung yang bertaut

Nyawaku nyala kar'na denganmu

-Nadin Amizah (Bertaut)

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala curahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang tak terputus. Atas rida-Nya yang memberikan karunia kesehatan, ketabahan, serta kekuatan, penulis akhirnya berhasil merampungkan penyusunan skripsi dengan judul **"Estimasi Risiko Indeks Saham Syariah dengan Pendekatan *Hybrid Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM)"**. Karya ilmiah ini disusun guna memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Matematika.

Tidak lupa, selawat beriring salam senantiasa kita sanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW, sosok teladan agung (uswatun hasanah) yang membimbing umat manusia menuju jalan kebijaksanaan, keikhlasan, dan keteguhan iman untuk mencapai kebahagiaan dunia maupun akhirat.

Penyusunan tugas akhir ini menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Matematika. Proses tersebut dilalui melalui berbagai dinamika yang menghadirkan perjuangan, kelelahan, pembelajaran, kebangkitan, serta doa yang terus menyertai setiap langkah penulis. Penulis menyadari bahwa karya tulis ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, bimbingan, dukungan, semangat, serta berbagai masukan berharga dari banyak pihak yang turut membersamai proses penyusunannya.

Maka dari itu, dari lubuk hati yang paling dalam, penulis mengakui besarnya peran serta doa, dukungan moril, dan arahan dari mereka yang telah mendampingi proses penulisan ini. Sebagai bentuk apresiasi dan rasa hormat yang setinggi-tingginya, penulis bermaksud menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Ibu Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika, yang telah senantiasa memfasilitasi dan memastikan kelancaran administrasi maupun akademik penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang telah dengan tulus mencurahkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk, dan motivasi berharga selama masa perkuliahan, serta selalu mendampingi penulis dengan penuh perhatian demi kelancaran studi.
5. Bapak Dr. Mohammad Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dengan penuh kesabaran serta ketulusan dalam membimbing penulis. Arah, motivasi, dan kritik yang diberikan beliau menjadi dukungan penting bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Seluruh Dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu, wawasan, serta pengalaman selama masa perkuliahan. Pengetahuan yang diberikan menjadi bekal berharga bagi penulis dalam menjalani proses akademik maupun dalam penyusunan skripsi ini.
7. Ayahanda tercinta, Bapak Uud Hidayat, terima kasih atas setiap peluh, lelah, dan perjuangan yang Bapak lakukan demi keluarga dan pendidikan penulis. Di tengah kerasnya kehidupan dan besarnya tanggung jawab yang Bapak pikul, Bapak tetap menjadi sosok yang selalu menghadirkan tawa dan kehangatan di rumah. Candaan sederhana dari Bapak sering kali menjadi penenang di saat penulis merasa lelah, takut, dan hampir menyerah menjalani proses panjang ini. Penulis menyadari bahwa di balik senyum dan sifat humoris Bapak, terdapat begitu banyak perjuangan yang mungkin tidak pernah Bapak ceritakan. Dari seluruh usaha, doa, dan pengorbanan yang Bapak perjuangkan, akhirnya penulis mampu berdiri di titik ini. Pencapaian ini bukan semata-mata milik penulis, melainkan juga hasil dari kerja keras, cinta, dan pengorbanan Bapak selama ini.
8. Teruntuk Ibunda tercinta, Ibu Siti Alkonah, perempuan paling kuat dan penuh kasih dalam hidup penulis, terima kasih atas doa yang tidak pernah putus,

kesabaran yang tidak pernah habis, serta cinta tulus yang selalu mengiringi langkah penulis dalam keadaan apa pun. Mama selalu menjadi rumah yang hangat bagi penulis, tempat untuk pulang, bercerita, menangis, dan menemukan ketenangan di tengah segala lelah dan kesulitan yang dihadapi selama proses pendidikan ini. Di setiap keadaan, Mama selalu hadir dengan nasihat, dan doa yang mampu menguatkan hati penulis untuk kembali bangkit. Penulis memahami bahwa tidak ada kata yang cukup untuk membalas seluruh pengorbanan, ketabahan, dan keikhlasan Mama selama membesarkan serta mendampingi penulis hingga mampu menyelesaikan pendidikan ini. Segala doa dan cinta Mama menjadi alasan terbesar bagi penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan tanggung jawab ini dengan sebaik-baiknya.

9. Nenekku tersayang, Ibu Sulastri, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan tulus yang selalu diberikan kepada penulis sejak kecil hingga saat ini. Terima kasih karena selalu hadir dengan perhatian, nasihat, dan kepedulian yang membuat penulis merasa dicintai dan dikuatkan dalam setiap proses kehidupan. Penulis juga menghaturkan terima kasih atas segala dukungan, baik moral maupun materi, yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan sejak Sekolah Dasar hingga Perguruan Tinggi. Setiap doa yang dipanjatkan dan setiap perhatian yang diberikan menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan dan menyelesaikan pendidikan ini dengan baik. Semoga segala kebaikan, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan senantiasa mendapat balasan berupa kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan.
10. Adikku tersayang, Jihan Safira, terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis selama proses pendidikan ini. Semoga segala hal baik dan impian yang kamu perjuangkan dapat tercapai dengan penuh kebahagiaan dan keberkahan.
11. Kakakku tersayang, Renny Diana Latifah, penulis selalu bersyukur karena sejak kecil teteh selalu menjadi teman, sahabat, sekaligus saudara yang begitu menyenangkan. Terima kasih karena telah menjadi sosok kakak yang sabar, penuh perhatian, dan selalu bersedia mendengarkan segala cerita *absurd*

penulis tanpa pernah merasa lelah. Sejak hari pertama penulis tiba di Yogyakarta, teteh selalu hadir sebagai orang pertama yang menguatkan, menenangkan, dan memberikan pelukan hangat di setiap keadaan. Terima kasih karena telah menjadi rumah yang hangat, nyaman, dan penuh kasih bagi penulis. Begitu banyak cerita, tawa, dan kenakalan kecil yang telah kita lalui bersama dan akan selalu terukir indah dalam ingatan. Terima kasih untuk segala cinta, dukungan, dan kebersamaan yang tidak pernah tergantikan.

12. Untuk keluarga di Bantul, Ibu Tuti Susilawati, Bapak Toni Abas, dan Rehan Abas, penulis haturkan terima kasih sebesar-besarnya atas segala kasih sayang, perhatian, dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis selama berada di Yogyakarta. Terima kasih karena telah menerima penulis dengan hangat sebagai bagian dari keluarga serta bersedia memberikan tempat tinggal yang aman, nyaman, dan penuh ketenangan. Kehangatan, kepedulian, dan dukungan yang diberikan menjadi hal yang sangat berarti bagi penulis selama menempuh pendidikan. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik.
13. Untuk seluruh keluarga besar dari pihak Bapak di Karawang, terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang tulus kepada penulis sejak awal menempuh pendidikan di Yogyakarta. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda.
14. Sahabat terbaikku, Ikhwaning Listiary Amfheli, tidak terasa sudah 10 tahun berlalu dan hingga saat ini kita masih diberikan rezeki untuk saling menemani, saling menguatkan, serta saling memberikan kehangatan dan ketenangan satu sama lain. Terima kasih karena selalu hadir di setiap proses kehidupan penulis, baik dalam keadaan senang maupun sulit. Terima kasih untuk segala doa, dukungan, perhatian, dan waktu yang telah diberikan dengan tulus. Kehadiranmu menjadi salah satu hal berharga yang membuat perjalanan penulis terasa lebih ringan dan menyenangkan. Semoga persahabatan yang telah terjalin selama ini selalu dijaga dan dipenuhi kebahagiaan di setiap langkah kehidupan kita.

15. Siti Khodijah, terima kasih karena sejak awal perkuliahan selalu menjadi teman yang menemani perjalanan penulis selama merantau di Yogyakarta. Terima kasih untuk setiap cerita, tawa, dukungan, dan kebersamaan yang telah dilewati bersama. Di tengah kehidupan yang jauh dari keluarga, kehadiran Dijah selalu membuat penulis merasa memiliki teman yang dapat diandalkan untuk berbagi banyak hal. Terima kasih juga untuk obrolan-obrolan sederhana dalam bahasa Sunda yang sering kali membuat penulis merasa lebih dekat dengan rumah. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik.
16. Teruntuk teman-temanku yang tergabung dalam grup “Otak Encer”, Laila Rohmatul I’zzah, Nurul Hanin Azzahra Supriyono, Mila Nurul Hikmah, Putri Fadhillah, dan Riska Fajry Rahmadhanie. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan penulis. Terima kasih untuk setiap diskusi, canda tawa, cerita, serta berbagai pengalaman yang telah kita lalui bersama. Kehadiran kalian telah memberikan banyak warna selama masa perkuliahan, terutama di saat-saat yang penuh tantangan dan kesibukan. Semoga segala kenangan baik yang telah tercipta dapat terus dikenang, dan semoga persahabatan ini tetap terjaga meskipun nantinya kita melangkah ke jalan takdir yang berbeda.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah menjadi bagian dari perjalanan penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan, bantuan, dan doa yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah Swt.

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Alifiya Aziza

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR SIMBOL.....	xx
INTISARI.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah.....	7
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Tinjauan Pustaka.....	8
1.7 Sistematika Penulisan.....	15
BAB II LANDASAN TEORI.....	17
2.1 Matriks.....	17
2.1.1 Operasi Matriks.....	17
2.1.2 Hadamard Produk.....	20
2.2 Peluang.....	21
2.3 Distribusi Peluang.....	21

2.3.1	Distribusi Probabilitas Diskrit.....	22
2.3.2	Distribusi Probabilitas Kontinu.....	22
2.4	Distribusi Normal.....	24
2.4.1	Distribusi Normal Standar.....	25
2.5	Runtun Waktu	26
2.6	Stasionaritas Data.....	29
2.7	Jakarta Islamic Index (JII).....	30
2.7.1	Kriteria Pemilihan Saham Menurut Prinsip-Prinsip Syariah	30
2.7.2	Kriteria Pemilihan Saham JII.....	31
2.8	Return Saham.....	32
2.8.1	Simple Net Return.....	32
2.8.2	Logaritma Return	32
2.9	Variansi dan Standar Deviasi.....	34
2.10	Skewness	35
2.11	Kurtosis	36
2.12	Volatilitas	37
2.12.1	Karakteristik Volatilitas	37
2.12.2	Model Volatilitas.....	38
2.13	Realized Volatility	39
2.14	Artificial Neural Network (ANN).....	40
2.14.1	Struktur Dasar ANN.....	41
2.14.2	Klasifikasi Arsitektur ANN.....	43
2.14.3	Recurrent Neural Network	45
2.15	Long Short-Term Memory	48

2.15.1	Arsitektur LSTM.....	48
2.16	Normalisasi Data.....	50
2.17	Sliding Window	52
2.18	Denormalisasi.....	52
2.19	Value at Risk.....	53
2.19.1	VaR Parametrik (Variance-Covariance)	54
2.19.2	Cornish-Fisher Expansion.....	54
2.20	Backtesting Value at Risk.....	54
2.21	Uji Kupiec (Proportion of Failure Test).....	55
BAB III METODE PENELITIAN		57
3.1	Jenis dan Sumber Data	57
3.2	Metode Pengumpulan Data	57
3.3	Variabel Penelitian	57
3.4	Metodologi Penelitian	58
3.5	Alat Pengolahan Data.....	58
3.6	Metode Analisis Data	59
3.7	Flowchart	61
BAB IV PEMBAHASAN.....		62
4.1	Pembentukan Data Return.....	62
4.2	Uji Diagnostik	63
4.2.1	Uji Stasioneritas	63
4.2.2	Uji Heteroskedastisitas.....	64
4.2.3	Uji Normalitas.....	65
4.3	Model Exponentially Weighted Moving Average (EWMA).....	66
4.3.1	Formulasi Pembobot Eksponensial	67

4.3.2	Bentuk Rekursif EWMA.....	68
4.3.3	Interpretasi Parameter Peluruhan.....	69
4.4	Model Hybrid EWMA-LSTM.....	70
4.4.1	Variabel <i>Input</i>	71
4.4.2	Arsitektur Model LSTM.....	72
4.5	Evaluasi Akurasi Peramalan Volatilitas.....	75
4.5.1	Prosedur Denormalisasi Data.....	75
4.5.2	Realized Volatility (RV).....	75
4.5.3	Metrik Evaluasi.....	76
4.6	Value at Risk (VaR) Parametrik.....	76
4.7	Backtesting dan Uji Kupiec.....	78
4.7.1	Identifikasi Pelanggaran.....	79
4.7.2	Uji Kupiec.....	79
BAB V	STUDI KASUS.....	81
5.1	Deskripsi Data Penelitian.....	81
5.2	Pembentukan Data Return.....	83
5.3	Analisis Deskriptif Data.....	85
5.4	Uji Diagnostik.....	87
5.4.1	Uji Stasioneritas.....	88
5.4.2	Uji Heteroskedastisitas.....	88
5.4.3	Uji Normalitas.....	89
5.5	Pembentukan Volatilitas EWMA.....	89
5.6	Pembentukan Target.....	92
5.7	Preprocessing.....	93

5.7.1	Pembagian Data (<i>data splitting</i>).....	93
5.7.2	Normalisasi	94
5.7.3	Pembentukan <i>Sequence</i>	98
5.8	Hasil Pelatihan Model Hybrid EWMA-LSTM.....	99
5.9	Evaluasi Model Hybrid EWMA-LSTM	102
5.10	Penyesuaian Kuantil Distribusi	104
5.11	<i>Estimasi</i> Value at Risk (VaR)	105
5.12	Backtesting dan Uji Kupiec	107
5.12.1	Hipotesis Uji Kupiec	108
5.12.2	Hasil Backtesting dan Uji Kupiec	108
BAB VI PENUTUP		110
6.1	Kesimpulan	110
6.2	Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA		112
LAMPIRAN A		117
A	Data Penelitian	117
LAMPIRAN B		118
B	Source Code Python.....	118
LAMPIRAN C		140
C.	Arsitektur Model Terbaik.....	140
C.1	Unit dan Batch Size.....	140
C.2	Fungsi Aktivasi	141
C.3	Optimizer.....	141

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Daftar Perbandingan Pustaka	10
Tabel 5. 1 Ringkasan Data Adjusted JII Periode Tahun 2016-2025	82
Tabel 5. 2 Statistik Deskriptif Return Harian JII	86
Tabel 5. 3 Ringkasan Hasil Uji Diagnostik Data Return JII	88
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Varians dan Volatilitas EWMA	91
Tabel 5. 5 Ringkasan Normalisasi pada Data Training	96
Tabel 5. 6 Ringkasan Normalisasi pada Data Testing	97
Tabel 5. 7 Sequence Pertama	98
Tabel 5. 8 Hyperparameter Model LSTM	100
Tabel 5. 9 Hasil Pelatihan Model	100
Tabel 5. 10 Hasil Evaluasi Model EWMA-LSTM	102
Tabel 5. 11 Hasil Prediksi Volatilitas Model	102
Tabel 5. 12 Ringkasan Hasil Estimasi VaR 99%	106
Tabel 5. 13 Hasil Backtesting VaR 99%	108
Tabel C. 1 Hasil Evaluasi Units dan Batch	147
Tabel C. 2 Hasil Evaluasi Fungsi Aktivasi	148
Tabel C. 3 Hasil Evaluasi Jenis Optimizer	148

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pergerakan Harga Indeks Saham JII (2016-2025)	3
Gambar 2. 1 Kurva Normal.....	20
Gambar 2. 3 Pola Tren	22
Gambar 2. 4 Pola Musiman.....	23
Gambar 2. 5 Pola Siklis.....	23
Gambar 2. 6 Pola Stasioner.....	24
Gambar 2. 7 Fungsi Aktivasi Sigmoid.....	37
Gambar 2. 8 Fungsi Aktivasi Tanh	37
Gambar 2. 9 Fungsi Aktivasi ReLU.....	38
Gambar 2. 10 Struktur Jaringan ANN.....	39
Gambar 2. 11 Multilayer Feedforward Networks	39
Gambar 2. 12 Recurrent Networks.....	40
Gambar 2. 13 Arsitektur Recurrent Neural Network (RNN).....	42
Gambar 2. 14 Struktur Jaringan LSTM.....	45
Gambar 2. 15 Forget Gate Model LSTM.....	45
Gambar 2. 16 Layer Input Gate Model LSTM	46
Gambar 2. 17 Cell State Update.....	46
Gambar 2. 18 Output Gate	47
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	54
Gambar 5. 1 Pergerakan Harga Penutupan Indeks JII Tahun 2016-2025.....	83
Gambar 5. 2 Grafik Return Harian JII	84
Gambar 5. 3 Perbandingan Return dan Volatilitas EWMA.....	91
Gambar 5. 4 Perbandingan Variabel Input dan Target	93

Gambar 5. 5 Grafik Pembagian Data Variabel Input dan Target.....	94
Gambar 5. 6 Grafik Training Loss dan Validation Loss.....	101
Gambar 5.7 Grafik Volatilitas Aktual vs Volatilitas Prediksi Model Hybrid EWMA-LSTM.....	103
Gambar 5. 8 Grafik Backtesting VaR EWMA-LSTM	109



DAFTAR SIMBOL

t	: Indeks waktu (<i>time index</i>)
T	: Jumlah total observasi
N	: Jumlah sampel hasil <i>sliding window</i>
n	: Panjang <i>window</i>
P_t	: Harga aset pada waktu ke- t
r_t	: Log-return pada waktu ke- t
$\bar{r}$	: Rata-rata return
RV_t	: <i>Realized volatility</i> pada waktu ke- t
x_t	: Vektor input pada waktu ke- t
σ_{EWMA_t}	: Volatilitas hasil estimasi EWMA
y_t	: Target pada waktu ke- t
σ_{t+1}	: Volatilitas satu hari ke depan
h_t	: <i>Hidden state</i> LSTM pada waktu ke- t
C_t	: <i>Cell state</i> LSTM
f_t	: <i>Forget gate</i>
i_t	: <i>Input gate</i>
o_t	: <i>Output gate</i>
$\tilde{C}_t$	: <i>Candidate cell state</i>
W, b	: Bobot dan bias model
Q_α	: Fungsi Kuantil
VaR_t	: Nilai VaR pada waktu ke- t
Z_α	: Nilai kuantil distribusi normal standar
Z_α^{CF}	: Kuantil hasil koreksi <i>Cornish-Fisher Expansion</i>

I_t : Indikator pelanggaran (*violation*)

N_{viol} : Jumlah pelanggaran

$\hat{p}$: Proporsi pelanggaran

α : Tingkat signifikansi

LR_{POF} : Statistik uji Kupiec

$\chi^2(1)$: Distribusi *chi-square* bebas 1



INTISARI

Estimasi Risiko Indeks Saham Syariah dengan Pendekatan *Hybrid Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)* dan *Long Short-Term Memory (LSTM)*

(Studi Kasus: Indeks Saham Syariah dari *Jakarta Islamic Index (JII)* Periode Januari 2016 – Desember 2025)

ALIFIYA AZIZA

22106010002

Volatilitas merupakan salah satu indikator risiko investasi yang mencerminkan tingkat ketidakpastian pergerakan pasar. Data return keuangan umumnya memiliki karakteristik pengelompokan volatilitas dan distribusi yang tidak sepenuhnya normal, sehingga diperlukan metode yang mampu mengakomodasi karakteristik tersebut. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan tahapan penerapan model hybrid *Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)*–*Long Short-Term Memory (LSTM)*, mengevaluasi performa prediksi volatilitas, serta mengestimasi *Value at Risk (VaR)* pada *Jakarta Islamic Index (JII)* periode Januari 2016–Desember 2025. Model dibangun melalui perhitungan volatilitas menggunakan EWMA, pembentukan data sekuens, normalisasi data, pelatihan LSTM, dan prediksi volatilitas satu hari ke depan dengan memanfaatkan *return* historis dan volatilitas EWMA sebagai variabel *input*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *hybrid EWMA–LSTM* menghasilkan nilai MSE sebesar 0,000037, RMSE sebesar 0,006070, dan MAE sebesar 0,003990. Estimasi VaR menggunakan koreksi *Cornish-Fisher Expansion* menghasilkan rata-rata potensi kerugian maksimum harian sebesar 3,70% dari nilai investasi. Hasil *backtesting* menggunakan Uji Kupiec menunjukkan *violation ratio* sebesar 0,71%, sehingga estimasi VaR sesuai dengan tingkat kepercayaan 99% yang digunakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model *hybrid EWMA–LSTM* dapat diterapkan untuk memprediksi volatilitas dan mengestimasi risiko pasar pada indeks saham syariah Indonesia.

Kata kunci: Volatilitas, EWMA, LSTM, *Value at Risk*, *Jakarta Islamic Index*.

ABSTRACT

Risk Estimation of Islamic Stock Index Using a Hybrid Approach of Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) and Long Short-Term Memory (LSTM)

(Case Study: Jakarta Islamic Index (JII) for the Period of January 2016 – December 2025)

ALIFIYA AZIZA

22106010002

Volatility is one of the indicators of investment risk that reflects the degree of uncertainty in market movements. Financial return data generally exhibit volatility clustering and non-normal distribution characteristics, requiring methods that can accommodate these properties. This study aims to describe the implementation stages of the hybrid *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA)–*Long Short-Term Memory* (LSTM) model, evaluate its volatility forecasting performance, and estimate *Value at Risk* (VaR) for the Jakarta Islamic Index (JII) over the period from January 2016 to December 2025. The proposed model was developed through volatility estimation using EWMA, sequence generation, data normalization, LSTM model training, and one-day-ahead volatility forecasting using historical returns and EWMA-estimated volatility as input variables. The results show that the hybrid EWMA–LSTM model achieved an MSE of 0.000037, an RMSE of 0.006070, and an MAE of 0.003990. VaR estimation using the *Cornish-Fisher Expansion* correction yielded an average maximum daily potential loss of 3.70% of the investment value. The *Kupiec backtesting* results showed a violation ratio of 0.71%, indicating that the VaR estimates were consistent with the 99% confidence level. These findings indicate that the hybrid EWMA–LSTM model can be applied to volatility forecasting and market risk estimation for the Indonesian Islamic stock index.

Keywords: Volatility, EWMA, LSTM, Value at Risk, Jakarta Islamic Index.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Investasi pada instrumen keuangan merupakan aktivitas penempatan dana dengan harapan memperoleh keuntungan pada periode mendatang (Zvi Bodie et al., 2018). Pada praktiknya, aktivitas investasi selalu dihadapkan pada risiko akibat ketidakpastian pergerakan pasar. Risiko tersebut tercermin melalui volatilitas, yaitu ukuran perubahan harga atau return aset dalam suatu periode tertentu. Semakin tinggi volatilitas, semakin besar tingkat ketidakpastian dan potensi kerugian yang dihadapi investor (Zvi Bodie et al., 2018). Volatilitas tidak hanya menunjukkan besar kecilnya perubahan harga, tetapi juga menggambarkan tingkat kestabilan pasar dan risiko investasi. Pada kondisi pasar yang tidak stabil, perubahan harga cenderung besar dan sulit diprediksi, sedangkan pada kondisi pasar yang lebih stabil perubahan harga relatif kecil. Kondisi ini sering disertai dengan *volatility clustering*, yaitu keadaan ketika periode volatilitas tinggi cenderung diikuti oleh volatilitas tinggi, dan periode volatilitas rendah diikuti oleh volatilitas rendah. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa volatilitas berubah terhadap waktu dan memiliki hubungan dengan periode sebelumnya, sehingga menjadi aspek penting dalam analisis risiko dan pengambilan keputusan investasi (Markowitz, 1952). Oleh karena itu, pengukuran dan prediksi volatilitas menjadi bagian penting dalam manajemen risiko keuangan. Informasi mengenai tingkat volatilitas yang akan datang dapat membantu investor dalam menilai tingkat risiko investasi yang dihadapi, sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi investor dalam pengambilan keputusan investasi.

Kompleksitas pengukuran volatilitas terutama disebabkan oleh karakteristik data *return* keuangan yang berbentuk deret waktu. Pergerakan harga saham dan *return* dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi ekonomi, kebijakan pemerintah, kinerja Perusahaan, sentimen investor, serta peristiwa global yang

berubah dari waktu ke waktu (Zvi Bodie et al., 2018). Akibatnya, data keuangan seperti harga saham dan *return* memiliki beberapa karakteristik khusus, antara lain adanya ketergantungan antar waktu, heteroskedastisitas yang ditandai oleh varians *return* yang berubah-ubah dari waktu ke waktu, pola non-linear yang menunjukkan hubungan antar variabel tidak selalu bersifat proporsional, serta fenomena *volatility clustering* yaitu kecenderungan periode volatilitas tinggi diikuti oleh volatilitas tinggi dan periode volatilitas rendah diikuti oleh volatilitas rendah (Engle, 1982). Selain itu, distribusi *return* saham umumnya tidak mengikuti distribusi normal dan memiliki ekor tebal (*fat tails*) yaitu kondisi ketika peluang terjadinya *return* ekstrem, baik keuntungan maupun kerugian yang sangat besar, lebih tinggi dibandingkan distribusi normal (Box et al., 2016). Karakteristik tersebut menyebabkan pemodelan volatilitas menjadi permasalahan yang cukup kompleks dalam analisis risiko keuangan.

Kondisi tersebut semakin terlihat pada pasar keuangan global dalam beberapa tahun terakhir. Ketidakpastian ekonomi, perubahan kebijakan moneter, pandemi COVID-19, konflik geopolitik, serta ketidakpastian politik internasional menyebabkan perubahan pasar yang tinggi dan sulit diprediksi (Baker et al., 2020; Caldara & Iacoviello, 2022). Di Indonesia, kondisi tersebut tercermin pada pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) maupun indeks saham syariah yang mengalami perubahan volatilitas pada berbagai kondisi ekonomi. Penelitian Wulandari & Wicaksono (2024), menunjukkan bahwa ketidakpastian politik memberikan pengaruh signifikan terhadap volatilitas pasar saham Indonesia, sedangkan (Akbar et al., 2025) menunjukkan bahwa risiko geopolitik di kawasan ASEAN turut meningkatkan volatilitas *return* saham secara signifikan.

Salah satu indeks saham syariah yang mencerminkan kondisi tersebut adalah *Jakarta Islamic Index* (JII), yaitu indeks saham syariah yang terdiri dari saham-saham dengan kapitalisasi pasar besar dan tingkat likuiditas tinggi di Indonesia (Bursa Efek Indonesia, 2025). Pemilihan *Jakarta Islamic Index* (JII) dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik saham syariah yang berbeda dengan saham konvensional, di mana saham yang masuk ke dalam JII harus

memenuhi kriteria syariah tertentu, seperti pembatasan rasio utang dan pengecualian sektor usaha yang tidak sesuai dengan prinsip syariah (Otoritas Jasa Keuangan, 2024). Karakteristik tersebut menyebabkan pola volatilitas saham dalam JII dapat berbeda dibandingkan indeks konvensional seperti IHSG atau LQ45 (Widodo, 2022). Penelitian Widodo (2022) menunjukkan bahwa selama pandemi COVID-19 volatilitas return indeks saham syariah cenderung lebih rendah dibandingkan indeks saham konvensional. Akan tetapi, penelitian Alghifary et al., (2023) menunjukkan bahwa selama gelombang pandemi COVID-19, volatilitas indeks saham syariah di Indonesia juga mengalami peningkatan yang tinggi akibat pengaruh guncangan ekonomi global dan *contagion effect* dari pasar keuangan, yaitu penyebaran dampak gejolak atau krisis dari pasar keuangan suatu negara ke pasar keuangan negara lain.



Gambar 1. 1 Pergerakan Harga Indeks Saham JII (2016-2025)

Berdasarkan Gambar 1.1, pergerakan harga *Jakarta Islamic Index* (JII) periode 2016–2025 menunjukkan fluktuasi harga yang cukup besar pada beberapa periode tertentu. Penurunan yang tajam terlihat pada tahun 2020, kemudian diikuti perubahan harga pada periode-periode berikutnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa pergerakan harga saham syariah pada JII dipengaruhi oleh kondisi pasar yang berubah-ubah. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Akbar et al. (2025) yang menunjukkan bahwa risiko geopolitik di kawasan ASEAN turut meningkatkan volatilitas *return* saham secara signifikan. Perubahan volatilitas yang tinggi dapat meningkatkan ketidakpastian risiko investasi, sehingga diperlukan

metode pengukuran risiko yang mampu memperkirakan potensi kerugian secara lebih akurat (Zvi Bodie et al., 2018).

Pada analisis risiko keuangan, volatilitas memiliki peranan penting dalam estimasi *Value at Risk* (VaR), yaitu ukuran statistik yang digunakan untuk memperkirakan potensi kerugian maksimum pada tingkat kepercayaan tertentu (Choudhry, 2006). Akurasi estimasi VaR sangat dipengaruhi oleh ketepatan model volatilitas yang digunakan (Jorion, 2007). Oleh karena itu, model volatilitas yang mampu menggambarkan karakteristik data *return* dengan baik menjadi penting dalam menghasilkan estimasi risiko yang lebih reliabel.

Penggunaan data indeks saham seperti JII, dibandingkan saham individual, didasarkan pada pertimbangan bahwa estimasi *Value at Risk* (VaR) ditujukan untuk mengukur potensi kerugian akibat risiko pasar yang bersifat sistemik, yaitu risiko yang berdampak secara luas terhadap keseluruhan pasar dan tidak dapat dihilangkan melalui penyebaran investasi (Jorion, 2007). Investasi pada saham tunggal mengandung risiko spesifik emiten yang tinggi, yaitu risiko yang hanya melekat pada perusahaan tertentu dan tidak mencerminkan kondisi pasar secara keseluruhan. Sementara itu, karena indeks saham mencakup banyak saham sekaligus, risiko yang bersifat spesifik pada satu perusahaan tertentu akan teredam oleh pergerakan saham lainnya, sehingga pergerakan indeks lebih mencerminkan dinamika risiko pasar secara keseluruhan (Zvi Bodie et al., 2018). Oleh karena itu, data indeks JII digunakan pada penelitian ini untuk menangkap pergerakan risiko pasar saham syariah di Indonesia secara keseluruhan.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk memodelkan volatilitas. Model ekonometrika seperti ARCH dan GARCH digunakan untuk menangkap varians bersyarat yang berubah terhadap waktu (Bollerslev, 1986). Akan tetapi, model tersebut memiliki keterbatasan dalam menangkap pola non-linear dan hubungan kompleks pada data keuangan (Pérez-Hernández et al., 2024). Penelitian Chatterjee et al. (2022) dan Liu et al. (2022) menunjukkan bahwa model *Long Short-Term Memory* (LSTM) mampu memberikan performa prediksi volatilitas yang lebih baik dibandingkan model GARCH pada data pasar saham yang

kompleks dan memiliki perubahan tinggi. Pendekatan lain seperti *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) mampu menangkap perubahan volatilitas jangka pendek dengan memberikan bobot lebih besar pada data terbaru (J.P. Morgan, 1996). Penelitian Pratiwi & Setiyawan (2023) menunjukkan bahwa metode EWMA mampu memberikan estimasi volatilitas dan *Value at Risk* (VaR) yang valid pada saham syariah sektor energi di *Jakarta Islamic Index* (JII). Namun, metode EWMA masih memiliki keterbatasan dalam menangkap hubungan jangka panjang pada data volatilitas (Tsay, 2010).

Keterbatasan model statistik dalam menangkap pola data yang kompleks mendorong berkembangnya pendekatan berbasis *machine learning* dan *deep learning*. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Long Short-Term Memory* (LSTM), yaitu pengembangan dari *Recurrent Neural Network* (RNN) yang dilengkapi mekanisme *memory cell* sehingga mampu mempertahankan informasi dalam periode yang panjang dan menangkap pola non-linear tanpa mengalami masalah *vanishing gradient* (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya mempelajari pola langsung dari data tanpa bergantung pada asumsi distribusi normal, yang sering kali tidak terpenuhi pada data keuangan dengan karakteristik *fat tails* (Kristjanpoller et al., 2014).

Berdasarkan karakteristik tersebut, penggabungan metode statistik dan *deep learning* menjadi pendekatan yang berpotensi memberikan hasil prediksi lebih baik dalam pemodelan volatilitas. Kim & Won (2018), menunjukkan bahwa integrasi model GARCH-type dengan LSTM mampu meningkatkan akurasi prediksi volatilitas indeks KOSPI 200 secara signifikan. Penelitian Kim & Won (2018) juga mengintegrasikan EWMA dengan LSTM untuk prediksi volatilitas pasar saham. Hasil serupa juga diperoleh Pérez-Hernández et al. (2024) dan Xu et al. (2024), yang menunjukkan bahwa model hybrid berbasis LSTM memberikan estimasi volatilitas dan *Value at Risk* (VaR) yang lebih akurat dibandingkan pendekatan konvensional.

Penelitian mengenai model *hybrid* volatilitas telah banyak dilakukan, terutama kombinasi GARCH dan LSTM (Kim & Won, 2018; Xu et al., 2024; Pérez-Hernández et al., 2024). Namun, penerapan model *hybrid* EWMA-LSTM pada indeks saham syariah di Indonesia, khususnya *Jakarta Islamic Index* (JII), serta penggunaannya dalam estimasi *Value at Risk* (VaR) masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan *hybrid Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM), di mana hasil estimasi volatilitas EWMA digunakan sebagai fitur input bersama dengan *return* pada model LSTM. Pendekatan ini diharapkan mampu menggabungkan kemampuan EWMA dalam menangkap perubahan volatilitas jangka pendek dan kemampuan LSTM dalam mempelajari pola non-linear serta hubungan jangka panjang secara bersamaan.

Penelitian ini menggunakan *return* saham sebagai dasar pembentukan volatilitas. Volatilitas digunakan sebagai indikator risiko pasar karena mencerminkan tingkat ketidakpastian pergerakan *return* yang dihadapi investor. Selanjutnya, hasil prediksi volatilitas digunakan untuk mengestimasi *Value at Risk* (VaR), yaitu ukuran yang digunakan untuk memperkirakan potensi kerugian maksimum pada tingkat kepercayaan tertentu. Selain itu, kinerja model akan dievaluasi melalui proses *backtesting* menggunakan uji *Kupiec* untuk menilai reliabilitas model dalam mengestimasi risiko pasar. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model estimasi volatilitas dan risiko yang lebih sesuai dengan karakteristik pasar keuangan, khususnya pada *Jakarta Islamic Index* (JII).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penelitian ini akan mengkaji beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana langkah-langkah penerapan model *hybrid* EWMA–LSTM dalam menangkap pola volatilitas indeks saham syariah Indonesia?

2. Bagaimana performa model *hybrid* EWMA–LSTM dalam memprediksi volatilitas indeks saham syariah Indonesia berdasarkan ukuran akurasi MSE, RMSE, dan MAE?
3. Bagaimana estimasi *Value at Risk* (VaR) model saham syariah Indonesia?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan Masalah dalam suatu penelitian merupakan suatu hal yang penting guna mencegah meluasnya objek pembahasan, maka ruang lingkup penelitian ini akan membahas unsur sebagai berikut:

1. Data saham yang digunakan adalah data indeks saham syariah periode 4 Januari 2016 hingga 30 Desember 2025.
2. Aplikasi yang digunakan merupakan *Google Colaboratory (Google Colab)* dengan bahasa pemrograman *Python*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menerapkan model *hybrid* EWMA–LSTM untuk memprediksi volatilitas indeks saham syariah Indonesia
2. Mengevaluasi kinerja model *hybrid* EWMA–LSTM dalam memprediksi volatilitas saham syariah Indonesia menggunakan metrik MSE, RMSE, dan MAE.
3. Mengestimasi *Value at Risk* (VaR) berdasarkan volatilitas hasil prediksi model *hybrid* EWMA–LSTM.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis dan praktis sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Penelitian ini diharapkan dapat menambah kajian keilmuan pada bidang statistika, khususnya dalam pemodelan volatilitas data deret waktu

keuangan menggunakan pendekatan *hybrid Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM).

- b. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan penerapan metode *deep learning* pada analisis risiko keuangan, terutama dalam estimasi volatilitas dan Value at Risk (VaR).

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi investor, hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengukur potensi risiko investasi saham syariah sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan investasi.
- b. Bagi peneliti selanjutnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan penelitian terkait pemodelan volatilitas, estimasi risiko pasar, serta penerapan metode *hybrid* pada data keuangan.

1.6 Tinjauan Pustaka

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model statistik konvensional seperti GARCH memiliki keterbatasan dalam menangkap pola non-linear pada data keuangan, sehingga dikembangkan pendekatan berbasis *deep learning* seperti LSTM. Selain itu, beberapa penelitian juga mengusulkan model *hybrid* yang mengombinasikan metode statistik dan pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi prediksi volatilitas. Namun, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan metode EWMA dengan LSTM dalam estimasi risiko *Value at Risk* (VaR) pada indeks saham syariah di Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu, tinjauan pustaka berikut digunakan untuk memperkuat landasan teoritis dan menunjukkan posisi penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya.

1. Penelitian (Chatterjee et al., 2022) membahas prediksi volatilitas harga saham menggunakan pendekatan deret waktu tradisional dan *deep learning*. Objek penelitian yang digunakan adalah data harian saham dari tiga sektor berbeda di *National Stock Exchange* (NSE) India, yaitu sektor perbankan (HDFC Bank), teknologi informasi (TCS), dan farmasi (Sun Pharma) untuk periode 2017 hingga Desember 2021. Tujuan utama penelitian ini adalah membandingkan akurasi model statistik GARCH dengan model berbasis

kecerdasan buatan dalam menangkap fenomena *volatility clustering* yang menjadi karakteristik utama pasar saham.

Metodologi yang diterapkan melibatkan penggunaan model GARCH, GJR-Garch, dan EGARCH untuk merepresentasikan model *Long Short-Term Memory* (LSTM). Data dibagi menjadi dua bagian, di mana data periode 2017-2020 digunakan sebagai *training set* dan data 2021 digunakan sebagai *testing set*. Model LSTM dirancang untuk mempelajari ketergantungan temporal pada saat melalui arsitektur yang terdiri dari lapisan *embedding*, yaitu lapisan yang bertindak sebagai tahap pra-pemrosesan di dalam jaringan saraf yang mengubah data *return* atau harga saham mentah menjadi bentuk vektor yang lebih "dipahami" oleh LSTM agar prediksi volatilitasnya menjadi lebih akurat serta terdapat juga lapisan LSTM, yang dioptimasi menggunakan algoritma *Adam* untuk meminimalkan nilai *Mean Squared Error* (MSE).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTM secara konsisten mengungguli model keluarga GARCH pada ketiga sektor saham yang diuji. Evaluasi menggunakan metrik MSE dan *Root Mean Squared Error* (RMSE) membuktikan bahwa LSTM mampu memberikan prediksi volatilitas yang lebih mendekati nilai aktual dibandingkan model ekonometri tradisional. Temuan ini menegaskan bahwa kemampuan LSTM dalam menangkap pola non-linear dan memori jangka panjang menjadikannya alat yang lebih efektif untuk analisis risiko di pasar saham yang fluktuatif dibandingkan model parametrik standar.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi & Setiyawan (2023) berfokus untuk menganalisis potensi kerugian maksimum pada saham sektor energi (*oil, gas, and coal*) yang terdaftar dalam *Jakarta Islamic Index* (JII), yaitu saham ADRO, PGAS, dan PTBA untuk periode Oktober 2021 hingga November 2022. Penelitian ini berfokus pada penggunaan metode *Value at Risk* (VaR) dengan model *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) untuk memprediksi risiko investasi satu hari ke depan. Penggunaan EWMA dipilih sebagai solusi atas fenomena heteroskedastisitas (volatilitas yang tidak konstan) yang ditemukan pada data *return* saham harian, di mana hasil uji

statistik menunjukkan bahwa ketiga saham tersebut memiliki varians yang tidak konstan dan berdistribusi tidak normal. Dalam prosedurnya, penelitian ini menggunakan parameter *decay factor* (λ) sebesar 0,94 untuk mengestimasi volatilitas. Mengingat data tidak berdistribusi normal, peneliti menerapkan penyesuaian nilai *alpha* menggunakan pendekatan *Cornish Fisher Expansion* untuk mendapatkan nilai *alpha prime* yang lebih akurat dalam perhitungan VaR. Hasil estimasi menunjukkan bahwa saham PTBA memiliki volatilitas terbesar (0,0213) dibandingkan ADRO (0,0209) dan PGAS (0,0173), yang mengindikasikan bahwa PTBA merupakan saham yang paling fluktuatif dalam periode pengamatan tersebut.

Hasil perhitungan VaR dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan potensi kerugian maksimum harian sebesar 3,33% untuk saham PTBA, 3,06% untuk ADRO, dan 2,60% untuk PGAS. Validasi model dilakukan melalui uji *backtesting* menggunakan Uji Kupiec (*Likelihood Ratio test*), di mana hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Likelihood Ratio* (LR) dari ketiga saham tersebut lebih kecil dari nilai *Chi-Square* tabel. Temuan ini menyimpulkan bahwa metode VaR dengan model EWMA valid dan akurat dalam memprediksi risiko investasi pada saham syariah sektor komoditas di JII, serta dapat digunakan oleh investor sebagai panduan dalam memitigasi risiko kerugian di pasar modal syariah.

3. Penelitian Pérez-Hernández et al. (2024) mengusulkan model *hybrid* yang mengintegrasikan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan model volatilitas tradisional seperti SMA, EWMA, GARCH(1,1), dan GJR-GARCH(1,1) untuk memprediksi volatilitas risiko pasar. Data yang digunakan meliputi saham Santander, indeks IBEX 35, nilai tukar EUR/USD, dan iTraxx Crossover periode 2017–2021. Model LSTM digunakan untuk menangkap pola temporal dan ketergantungan jangka panjang dalam data deret waktu melalui mekanisme *memory cell*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *hybrid* berbasis LSTM dan SVM memberikan performa yang lebih baik dibandingkan model tradisional. Pada variabel EUR/USD dengan horizon 22 hari, model SVM menghasilkan

MAPE sebesar 7,94% dan LSTM sebesar 21,09%, lebih rendah dibandingkan GARCH(1,1) sebesar 33,99%. Dalam pengujian *backtesting* VaR, model LSTM juga menunjukkan jumlah pelanggaran yang lebih kecil, yaitu sebesar 1,32% pada indeks saham, dibandingkan EWMA sebesar 6,23% dan SMA sebesar 4,34%. Pada saham individu, LSTM menghasilkan tingkat pelanggaran sebesar 2,83%. Hasil ini menunjukkan bahwa model *hybrid* berbasis LSTM lebih akurat dan *robust* dalam memprediksi volatilitas serta mengestimasi risiko dibandingkan metode konvensional.

4. Penelitian Liu et al. (2022) mengeksplorasi penggunaan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) dalam memprediksi volatilitas risiko spesifik saham pada kondisi pasar yang kompleks dan penuh *noise*. Penelitian ini bertujuan mengatasi keterbatasan model ekonometrika tradisional yang kurang optimal dalam menangani korelasi tinggi dan gangguan data. Data yang digunakan berasal dari BARRA, dengan inovasi berupa penggabungan faktor risiko dari seluruh saham pada setiap waktu (*timestamp*) untuk menangkap hubungan implisit antar saham dan mengatasi masalah *data sparsity*.

Model yang digunakan adalah LSTM dua lapis dengan *hidden size* 512, dilatih menggunakan optimizer Adam (learning rate 0,001 dan weight decay 0,0001), serta dibandingkan dengan model GARCH sebagai *baseline*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LSTM secara signifikan mengungguli GARCH, dengan nilai MAE sebesar 0,0730 dan MSE sebesar 0,0063, dibandingkan GARCH dengan MAE sebesar 0,1904 dan MSE sebesar 0,0380. Temuan ini menunjukkan bahwa LSTM mampu menghasilkan prediksi volatilitas yang lebih akurat, terutama karena kemampuannya menangkap hubungan kompleks antar saham dalam data deret waktu.

5. Penelitian Kim & Won (2018) mengusulkan model *hybrid* yang mengintegrasikan *Long Short-Term Memory* (LSTM) dengan model volatilitas tipe GARCH, seperti GARCH, EGARCH, dan EWMA, untuk memprediksi volatilitas indeks KOSPI 200 menggunakan data harian periode 2001–2017. Model ini memanfaatkan parameter dari model GARCH-*type* serta variabel makroekonomi seperti suku bunga, harga minyak, dan harga

emas sebagai input. Arsitektur yang digunakan terdiri dari tiga lapisan LSTM dengan *dropout* dan dua lapisan *fully connected*, serta dilatih menggunakan *optimizer* Adam dengan fungsi kerugian yang disesuaikan terhadap heteroskedastisitas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *hybrid* terbaik, yaitu GEW-LSTM, menghasilkan performa prediksi paling akurat dibandingkan model lainnya. Secara khusus, model ini mencatat nilai MAE sebesar 0,0107, yang 37,2% lebih rendah dibandingkan model terbaik sebelumnya (E-DFN). Selain itu, uji Diebold–Mariano dan Wilcoxon menunjukkan bahwa perbedaan akurasi tersebut signifikan secara statistik. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi beberapa model ekonometrika ke dalam LSTM mampu meningkatkan akurasi prediksi volatilitas secara signifikan dibandingkan model tunggal.

6. Penelitian yang dilakukan oleh Xu et al. (2024) mengusulkan model *hybrid* LSTM-GARCH untuk memprediksi volatilitas pasar keuangan dengan memanfaatkan data historis indeks Nasdaq 100. Model ini mengintegrasikan parameter dari berbagai model GARCH dengan asumsi distribusi residual yang berbeda sebagai input tambahan ke dalam LSTM, sehingga mampu menangkap pola non-linear dan ketergantungan jangka panjang secara lebih optimal. Pendekatan yang digunakan membandingkan model GARCH tunggal, LSTM tunggal, serta beberapa variasi model *hybrid* dengan metode *sliding window* sepanjang 15 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *hybrid* secara konsisten mengungguli model tunggal pada berbagai metrik evaluasi, seperti MSE, MAE, RMSE, HMAE, dan QLIKE. Secara khusus, model L-GT-GGED menghasilkan performa terbaik dengan nilai MSE terendah sebesar 0,604. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi parameter model ekonometrika ke dalam LSTM mampu meningkatkan akurasi prediksi volatilitas secara signifikan dibandingkan pendekatan konvensional.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa model deep learning seperti LSTM menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan

model statistik tradisional dalam memprediksi volatilitas. Selain itu, pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan metode statistik dan *deep learning* terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi dibandingkan model tunggal. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya mengintegrasikan LSTM dengan model keluarga GARCH, sementara penggunaan metode EWMA sebagai komponen *hybrid* dengan LSTM masih relatif terbatas. Di sisi lain, penelitian mengenai estimasi *Value at Risk* (VaR) pada indeks saham syariah di Indonesia umumnya masih menggunakan metode statistik tunggal. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan model hybrid EWMA-LSTM untuk memprediksi volatilitas dan mengestimasi *Value at Risk* (VaR) pada *Jakarta Islamic Index* (JII) guna memperoleh model risiko yang lebih adaptif dan akurat.

Tabel 1. 1 Daftar Perbandingan Pustaka

Peneliti	Metode	Metrik Evaluasi	Persamaan	Perbedaan
1. Chatterjee et al. (2022) Saham Sektor NSE India	LSTM vs GARCH	MSE, RMSE	Menggunakan arsitektur jaringan saraf LSTM untuk peramalan volatilitas harian aset keuangan.	Menguji saham sektoral individual konvensional; membandingkan model tunggal secara terpisah; tidak menghitung <i>Value at Risk</i> (VaR).
2. Liu et al. (2022) Risiko spesifik saham	LSTM vs GARCH	MAE, MSE	Memanfaatkan kemampuan model <i>deep learning</i> LSTM untuk memprediksi komponen fluktuasi volatilitas pasar.	Fokus pada risiko spesifik (<i>idiosyncratic</i>) saham individual; menggunakan faktor eksternal BARRA; tidak mengukur batasan risiko finansial.
3. Pratiwi & Setiyawan (2023)	EWMA-VaR	Backtesting VaR (<i>Kuipiec Test</i>)	Menggunakan metode EWMA, berfokus pada objek saham syariah di JII, menghitung VaR, dan menggunakan Uji Kupiec untuk validasi	Hanya menggunakan metode statistik konvensional tunggal (EWMA) tanpa <i>deep learning</i> ; objek terbatas pada

Saham syariah JII				saham sektor energi periode jangka pendek (2021–2022).
4. Pérez-Hernández et al. (2024) Saham, indeks, dan forex	<i>Hybrid</i> ANN (EWMA, GARCH, SMA)	MAPE, Backtesting, VaR	Menerapkan kerangka kerja <i>hybrid</i> (gabungan statistik dan jaringan saraf tiruan) untuk prediksi volatilitas dan pengujian batas risiko.	Menggabungkan multi-model ekonometrika sekaligus ke dalam ANN/SVM; objek pengujian sangat luas (forex EUR/USD, saham Santander, indeks IBEX 35).
5. Kim & Won (2018) Indeks KOSPI 200	<i>Hybrid</i> LSTM-GARCH-EWMA	MAE, HMSE, HMAE	Membentuk model hibrida dengan memasukkan deret nilai volatilitas dari model statistik sebagai fitur input ke dalam lapisan LSTM.	Memasukkan banyak variabel makroekonomi eksternal (emas, minyak, suku bunga); objek indeks konvensional; tidak menghitung VaR dengan penyesuaian kuantil.
6. Xu et al. (2024) Indeks Nasdaq 100	<i>Hybrid</i> LSTM-GARCH	MSE, MAE, RMSE, QLIKE	Mengembangkan variasi model hibrida <i>deep learning</i> untuk mengoptimalkan akurasi prediksi risiko volatilitas runtun waktu keuangan.	Mengombinasikan LSTM dengan variasi model keluarga GARCH (bukan EWMA); objek berupa indeks pasar teknologi konvensional global; tidak mengestimasi VaR.

Berdasarkan perbandingan penelitian terdahulu pada Tabel 1.1, terdapat beberapa perbedaan yang menjadi kebaruan (*novelty*) dalam penelitian ini. Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan model *deep learning* seperti *Long Short-Term Memory* (LSTM) maupun model statistik konvensional untuk mengukur risiko pasar, penerapan model *hybrid* yang menggabungkan metode *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan LSTM pada indeks saham syariah di Indonesia masih relatif terbatas.

Perbedaan pertama terletak pada subjek penelitian. Berbeda dengan penelitian Chatterjee et al. (2022) dan Liu et al. (2022) yang berfokus pada saham individual atau risiko spesifik perusahaan, penelitian ini menggunakan *Jakarta Islamic Index* (JII) sebagai subjek penelitian sehingga analisis dilakukan pada tingkat indeks saham syariah.

Selain itu, penelitian ini menggunakan data historis *return* harian JII selama sepuluh tahun, yaitu periode 2016–2025. Berbeda dengan Kim dan Won (2018) yang melibatkan berbagai variabel makroekonomi sebagai variabel tambahan, penelitian ini hanya menggunakan data historis *return* sebagai dasar pemodelan.

Kebaruan lainnya terletak pada tahap pengukuran risiko. Sebagian besar penelitian *hybrid* terdahulu berfokus pada prediksi volatilitas, sedangkan penelitian ini menggunakan hasil prediksi volatilitas untuk mengestimasi *Value at Risk* (VaR) parametrik harian. Dalam proses estimasi VaR, penelitian ini menerapkan *Cornish-Fisher Expansion* untuk mengoreksi kuantil distribusi normal apabila data *return* menunjukkan penyimpangan dari asumsi normalitas, seperti kemencengan (*skewness*) dan ekor distribusi yang tebal (*fat tails*). Selanjutnya, hasil estimasi VaR divalidasi menggunakan Uji *Kupiec* (*Proportion of Failure Test*).

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun secara sistematis yang terbagi ke dalam lima bab. Adapun isi dari masing-masing bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang masalah yang mendasari pentingnya estimasi risiko investasi menggunakan metode *Value-at-Risk* (VaR) di pasar modal. Bab ini juga memuat rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang memberikan gambaran umum isi skripsi.

BAB II: LANDASAN TEORI

Bab ini berisi pemaparan teori-teori pendukung yang digunakan sebagai dasar analisis dalam penelitian. Materi yang dibahas meliputi konsep dasar investasi dan risiko, teori pasar modal, metode *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) untuk menangkap volatilitas heterokedastisitas, arsitektur jaringan saraf *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk pengolahan data deret waktu, konsep *Hybrid Modelling*, prosedur perhitungan *Value-at-Risk* (VaR) dan uji validitas menggunakan *backtesting*.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Dimulai dari identifikasi data, metode pengumpulan data sekunder, teknik pengambilan sampel, hingga perancangan model *hybrid*. Secara spesifik, bab ini menjelaskan bagaimana output volatilitas dari model EWMA diintegrasikan sebagai fitur input ke dalam model LSTM untuk menghasilkan estimasi VaR yang optimal.

BAB IV: PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan mengenai model estimasi VaR dengan hasil volatilitas metode *hybrid* EWMA-LSTM.

BAB V: STUDI KASUS

Studi kasus berisi tentang penerapan dan aplikasi model estimasi VaR dengan menggunakan metode EWMA-LSTM pada data indeks saham syariah JII serta memberikan interpretasi terhadap hasil yang diperoleh.

BAB VI: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kumpulan poin-poin yang diambil dari pembahasan permasalahan yang ada dan pemecahan masalah serta saran-saran yang berkaitan dengan penelitian sejenis untuk penelitian berikutnya.

BAB VI

PENUTUP

Berdasarkan pembahasan mengenai estimasi risiko saham dengan pendekatan hybrid *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM) pada indeks saham *Jakarta Islamic Index* (JII) yang telah diuraikan maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data, pemodelan hibrida, dan pengujian risiko yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan model *hybrid* EWMA–LSTM dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu perhitungan volatilitas menggunakan metode EWMA, pembentukan data sekuens dengan teknik *sliding window*, pembagian data menjadi data *training* dan *testing*, normalisasi data, pelatihan model LSTM, serta prediksi volatilitas pada periode pengujian. Volatilitas hasil EWMA digunakan sebagai input model LSTM untuk memperoleh prediksi volatilitas pada periode berikutnya.
2. Berdasarkan hasil evaluasi pada data *testing*, model *hybrid* EWMA–LSTM menghasilkan nilai MSE sebesar 0,000037, RMSE sebesar 0,006070, dan MAE sebesar 0,003990. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa perbedaan antara volatilitas aktual dan volatilitas prediksi relatif kecil. Hasil prediksi juga menunjukkan perubahan volatilitas yang mengikuti kecenderungan perubahan volatilitas aktual selama periode pengujian, meskipun terdapat perbedaan besaran pada beberapa periode.
3. Estimasi *Value at Risk* (VaR) pada tingkat kepercayaan 99% dilakukan menggunakan koreksi *Cornish-Fisher Expansion* untuk menyesuaikan nilai batas risiko terhadap karakteristik distribusi return JII yang tidak berdistribusi normal, dengan nilai *skewness* sebesar -0,128819 dan kurtosis sebesar 7,288559. Nilai kuantil yang diperoleh setelah penyesuaian adalah

sebesar -3,417438. Nilai VaR harian bergerak mengikuti perubahan volatilitas prediksi dengan rata-rata potensi kerugian maksimum harian sebesar 3,70% dari nilai investasi. Hasil backtesting menggunakan uji *Kupiec* menunjukkan bahwa proporsi violation yang dihasilkan model sebesar 0,71% masih sesuai dengan tingkat kepercayaan 99% yang digunakan, sehingga model VaR yang dihasilkan dapat dinyatakan andal dalam mengestimasi risiko pasar saham syariah Indonesia.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya maupun bagi praktisi dan investor adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membandingkan metode Value at Risk (VaR) yang digunakan dalam penelitian ini dengan pendekatan lain, seperti Historical Simulation, Extreme Value Theory (EVT), atau Conditional Value at Risk (CVaR). Perbandingan tersebut dapat memberikan gambaran mengenai metode yang lebih sesuai untuk data return JII yang menunjukkan karakteristik distribusi tidak normal dan memiliki *fat tails*.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan variabel input lain, seperti volume perdagangan, indeks pasar global, atau indikator sentimen pasar, untuk memperkaya informasi yang digunakan model dalam memprediksi volatilitas
3. Investor dan praktisi dapat menggunakan informasi volatilitas dan Value at Risk (VaR) sebagai salah satu alat bantu dalam pengelolaan risiko investasi. Namun, hasil estimasi risiko sebaiknya digunakan bersama dengan analisis fundamental, analisis teknikal, maupun informasi pasar lainnya sehingga pengambilan keputusan investasi tidak hanya bergantung pada satu ukuran risiko.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. F., Meidiaswati, H., Sista Paramita, R. A., Kusumawati, N. D., Kautsar, A., & Sanjaya, E. F. (2025). Political uncertainty and stock market volatility: A comparative analysis of presidential elections in sub-ASEAN markets. *Multidisciplinary Science Journal*, 8. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026218>
- Alghifary, M. S., Kadji, D., & Hafizah, I. (2023). Islamic and Conventional Stocks' Volatility: Evidence from the Three Waves of Covid-19 Pandemic. *International Journal of Islamic Economics and Finance (IJIEF)*, 6(1). <https://doi.org/10.18196/ijief.v6i1.14838>
- Anton, H. (1995). *Aljabar Linear Elementer* (P. Silaban & I. N. Susila, Trans.; Edisi Kelima). Penerbit Erlangga.
- Baker, S. R., Bloom, N., Davis, S. J., & Terry, S. J. (2020). *COVID-Induced Economic Uncertainty*. www.worlduncertaintyindex.com,
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, 307–327.
- Bryc, W. (1995). Normal Distribution. In *The Normal Distribution* (Vol. 100, pp. 23–38). Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2560-7_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2560-7_3)
- Budiprasetyo, G., Hani'ah, M., & Aflah, D. Z. (2023). Prediksi Harga Saham Syariah Menggunakan Algoritma Long Short-Term Memory (LSTM). *Jurnal Nasional Teknologi Dan Sistem Informasi*, 8(3), 164–172. <https://doi.org/10.25077/teknosi.v8i3.2022.164-172>
- Bursa Efek Indonesia. (2025). *Islamic Stock Index*. Bursa Efek Indonesia. <https://www.idx.id/en/idx-islamic/islamic-stock-index/>
- Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). *Measuring Geopolitical Risk*. <https://doi.org/10.17016/IFDP.2022.1222r1>

- Chatterjee, A., Bhowmick, H., & Sen, J. (2022). Stock Volatility Prediction using Time Series and Deep Learning Approach. *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, 1. <https://doi.org/10.1109/MysuruCon55714.2022.9972410>
- Choudhry, M. (2006). *An introduction to value-at-risk* (4th edition). John Wiley & Sons Ltd.
- Dağdeviren, A., & Kürüz, F. (2021). Special Real and Dual Matrices with Hadamard Product. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 6(2), 127–134. <https://doi.org/10.30931/jetas.979932>
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/1912773>
- Feller, W. (1968). *An Introduction to Probability Theory and Its Applications* (3rd ed., Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016a). Deep Feedforward Networks. In *Deep Learning* (6). MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016b). Sequence Modeling: Recurrent and Recursive Nets. In *Deep Learning* (Chapter 10). MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>
- Hajizadeh, E., Seifi, A., Zarandi, M. H. F., & Turksen, I. B. (2012). A hybrid modeling approach for forecasting the volatility of S&P 500 index return. *Expert Systems With Applications*, (39), 431–436. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.033>
- Harto, P. P., Yasni, M. G., & Wibowo, H. (2020). *Pengantar Pasar Modal Syariah Indonesia* (Edisi Digital 2023). Salemba Empat.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>

- Izhar, H. (2015). Applying the Cornish-Fisher expansion to value-at-risk estimation in Islamic banking. *Journal of Risk*, 17, 51–72.
- Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*. McGraw-Hill.
- Kim, H. Y., & Won, C. H. (2018). Forecasting the volatility of stock price index: A hybrid model integrating LSTM with multiple GARCH-type models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.002>
- Kristjanpoller, W., Fadic, A., & Minutolo, M. C. (2014). Volatility forecast using hybrid Neural Network models. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2437–2442. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.09.043>
- Kupiec, P. H. (1995). Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. *The Journal of Derivatives*, 3(2), 73–84. www.ijjournals.com
- Liu, R., Jiang, Y., & Lin, J. (2022). Forecasting the Volatility of Specific Risk for Stocks with LSTM. *Procedia Computer Science*, 202, 111–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.04.015>
- McNeil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management*. Princeton University Press.
- Meduri, S. (2024). Activation Functions in Neural Networks: A Comprehensive Overview. *International Journal of Research In Computer Applications and Information Technology (IJRCAIT)*, 7(2), 214–227. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13950374>
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting* (Second Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Otoritas Jasa Keuangan. (2024). *Pasar Modal Syariah*. Otoritas Jasa Keuangan. <https://ojk.go.id/id/kanal/syariah/pages/pasar-modal-syariah.aspx>
- Pérez-Hernández, F., Arévalo-De-Pablos, A., & Camacho-Miñano, M.-D.-M. (2024). A hybrid model integrating artificial neural network with multiple

- GARCH-type models and EWMA for performing the optimal volatility forecasting of market risk factors. *Expert Systems With Applications*, 243, 122896. <https://doi.org/10.24433/CO.127>
- Permadi, H. (2019). *Statistika Terapan* (1st ed.). UM Pres.
- Permana, I., & Salisah, N. F. (2022). Pengaruh Normalisasi Data Terhadap Performa Hasil Klasifikasi Algoritma Backpropagation. *IJIRSE: Indonesian Journal of Informatic Research and Software Engineering*, 2(1), 67–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.57152/ijirse.v2i1.311>
- Pratiwi, N., & Setiyawan, S. (2023). Analisis Value at Risk Menggunakan Model Exponentially Weighted Moving Average (EWMA). *Bandung Conference Series: Business and Management*, 3(2), 699–705. <https://doi.org/10.29313/bcsbm.v3i2.7816>
- Radho, A. E., Sugiartawan, P., & Santiago, G. A. (2021). Prediksi Jumlah Kasus COVID-19 Menggunakan Teknik Sliding Wondows dengan Metode BPNN. *Jurnal Sistem Informasi Dan Komputer Terapan Indonesia (JSIKTI)*, 4(1), 12–23. <https://doi.org/10.22146/jsikti.xxxx>
- Subarkah, H. (2020). *Metode Peramalan Deret Waktu (Forecasting Time Series)*. Softscients. <https://softscients.com/2020/04/23/metode-peramalan-deret-waktu-forecasting-time-series/>
- Supandi, E. D. (2020). *Statistika dan Terapannya*. Refika Aditama.
- Syaifudin, W. H., & Choiruddin, A. (2021). *Pengantar Teori Probabilitas dan Statistika*. El-Makarzi.
- Tsay, R. S. (2010). *Analysis of financial time series* (Third Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Widodo, P. (2022). Is the Volatility of the Islamic Stock Index Lower than the Conventional Stock Index during Covid-19 Pandemic? Empirical Evidence in Indonesia Stock Exchange. *Journal of Islamic Economics and Finance Studies*, 3(1), 24. <https://doi.org/10.47700/jiefes.v3i1.4364>

- Wulandari, P., & Wicaksono, C. A. (2024). *Reaksi Investor Sebelum Dan Sesudah Pemilihan Presiden Republik Indonesia Tahun 2024 (Studi Kasus Perusahaan Sektor Pertambangan Yang Tercatat Di Bei)*. 25(02). <http://jurnal.stie-aas.ac.id/index.php/jap>
- Xu, K., Wu, Y., Jiang, M., Sun, W., & Zhirui, Y. (2024). Hybrid LSTM-GARCH Framework for Financial Market Volatility Risk Prediction. *Journal of Computer Science and Software Applications*, 4, 22–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.13643010>
- Zhang, L. (2019). *Neural Network Terminology*. https://www.cs.toronto.edu/~lczhang/aps360_20191/lec/w02/terms.html
- Zvi Bodie, Alex Kane, & Alan J. Marcus. (2018). *Investments* (Eleventh Edition). McGraw-Hill Education.