

Integrating garch, markowitz mean–variance, and lstm for risk, volatility, and portfolio analysis of four major Indonesian banking stocks 2015 – 2024

Risca Octaviyani Hutapea¹, Gizka Triyunita Sinaga², Ardicha Appu Sianturi³

^{1,2,3}Program Studi Statistika, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email: riscaoctaviyanihutapea@gmail.com; gizkatriyunita@gmail.com; ardichasianturi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji struktur risiko, perilaku volatilitas, dan konstruksi portofolio optimal pada empat saham perbankan besar di Indonesia—BBCA, BBRI, BMRI, dan BBNI—selama periode 2015–2024 melalui integrasi model GARCH(1,1), optimasi Markowitz Mean–Variance, dan peramalan berbasis Long Short-Term Memory (LSTM). Data harga penutupan harian ditransformasikan ke dalam log return dan diuji stasioneritasnya sebelum dianalisis lebih lanjut. Hasil estimasi GARCH menunjukkan adanya persistensi volatilitas tinggi pada seluruh saham ($\alpha + \beta$ mendekati 1), dengan BBNI dan BBRI paling responsif terhadap guncangan pasar, sementara BBKA tetap menjadi saham paling stabil. Optimasi portofolio Markowitz menghasilkan portofolio Minimum Variance yang didominasi BBKA, sedangkan portofolio Maximum Sharpe mengalokasikan dana sepenuhnya pada BBKA karena efisiensi risiko–return yang superior. Model LSTM mampu merepresentasikan tren harga dengan baik, dibuktikan oleh nilai galat prediksi yang rendah pada BBRI dan BBNI serta akurasi arah antara 58–61 persen. Integrasi GARCH–Markowitz–LSTM memberikan kerangka analitis yang komprehensif untuk memahami dinamika risiko pasar yang berubah-ubah sekaligus mendukung pengambilan keputusan investasi yang adaptif pada sektor perbankan Indonesia. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan hibrida mampu meningkatkan pemetaan risiko sekaligus memaksimalkan kinerja portofolio melalui kombinasi informasi historis, volatilitas dinamis, dan prediksi tren harga.

Kata Kunci: garch(1,1); optimasi mean-variance markowitz; lstm; volatility clustering; portofolio saham perbankan

ABSTRACT

This study examines the risk structure, volatility behavior, and optimal portfolio construction of four major banking stocks in Indonesia BBKA, BBRI, BMRI, and BBNI during the 2015–2024 period through the integration of the GARCH(1,1) model, Markowitz Mean–Variance optimization, and Long Short-Term Memory (LSTM)-based forecasting. Daily closing price data is transformed into log returns and tested for stationarity before further analysis. The GARCH estimation results indicate persistent high volatility across all stocks ($\alpha + \beta$ close to 1), with BBNI and BBRI the most responsive to market shocks, while BBKA remains the most stable stock. Markowitz optimization produces a Minimum Variance portfolio dominated by BBKA, while the Maximum Sharpe portfolio allocates funds entirely to BBKA due to its superior return efficiency. The LSTM is able to represent price trends well, as evidenced by low prediction error values for BBRI and BBNI and accuracy between 58–61 percent. The integration provides a comprehensive analytical framework for understanding changing market risk dynamics and supporting adaptive investment decision-making in the Indonesian banking sector. These findings confirm that the hybrid approach can improve risk mapping while maximizing portfolio performance through a combination of historical information, dynamic volatility, and price trend predictions.

Keyword: garch(1,1); markowitz mean-variance optimization; lstm; volatility clustering; banking stock portfolio

Corresponding Author:

Risca Octaviyani Hutapea,
Universitas Negeri Medan,
Jalan Willem Iskandar, Pasar V Medan Estate, Indonesia
Email: riscaoctaviyanihutapea@gmail.com



1. INTRODUCTION

Sektor perbankan Indonesia memegang peranan penting dalam perekonomian nasional, khususnya karena kapitalisasi pasar yang besar dan likuiditas tinggi. Saham-saham dari bank-bank besar Indonesia seperti BBKA, BBRI, dan BBNI menjadi pilihan utama bagi investor domestik dan asing. Harga saham di sektor ini seringkali mencerminkan kondisi ekonomi Indonesia, menjadikannya sebagai indikator penting yang memengaruhi keputusan investasi di pasar modal. Namun, pergerakan harga saham yang tinggi sangat dipengaruhi oleh volatilitas pasar yang sering kali tidak dapat diprediksi, yang disebabkan oleh faktor makroekonomi, sentimen pasar global, dan kebijakan ekonomi domestik.

Menurut Endri et al. (2020), pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Indonesia sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu perubahan di pasar saham global dan indikator makroekonomi domestik seperti suku bunga, inflasi, dan nilai tukar. Misalnya, kenaikan suku bunga dapat menyebabkan investor beralih ke instrumen yang lebih aman, seperti obligasi, yang pada akhirnya mengurangi permintaan saham dan menurunkan harga saham. Di sisi lain, inflasi yang tinggi dapat mengurangi daya beli konsumen, yang berujung pada penurunan keuntungan perusahaan dan harga saham. Mengingat bahwa pasar saham Indonesia sering kali merespons dengan cepat terhadap ketidakpastian ekonomi global, hal ini menjadikan pasar saham Indonesia sangat *volatile*.

Dalam menghadapi volatilitas yang tinggi ini, para investor sering mengandalkan model analisis teknikal dan statistik untuk memprediksi pergerakan harga saham. Salah satu metode yang telah terbukti efektif adalah *Long Short-Term Memory (LSTM)*, jenis dari *Recurrent Neural Networks (RNN)* yang dikenal sangat efektif dalam *time-series forecasting*. Menurut Kenrick et al. (2024), *LSTM* memiliki keunggulan dalam mempelajari hubungan jangka panjang dalam data dan mampu menangkap pola multivariat dalam data saham, memberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan model-model konvensional lainnya. Penelitian ini mengaplikasikan *LSTM* untuk memprediksi pergerakan harga saham bank-bank besar Indonesia, yang terbukti menunjukkan akurasi tinggi dalam memprediksi harga pembukaan dan penutupan saham.

Selain *LSTM*, penting untuk mengukur volatilitas pasar saham, yang dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai risiko investasi. Salah satu model yang sering digunakan untuk memodelkan volatilitas pasar adalah *GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity)*. Ke Xu et al. (2024) menunjukkan bahwa kombinasi model *LSTM-GARCH* dapat memberikan hasil yang lebih akurat dalam memprediksi volatilitas dan risiko pasar daripada penggunaan hanya satu model saja. Penggabungan *LSTM* untuk memprediksi pergerakan harga saham dan *GARCH* untuk memodelkan volatilitas memungkinkan prediksi yang lebih akurat dan pengelolaan risiko yang lebih efektif, terutama dalam pasar yang sering mengalami fluktuasi besar akibat ketidakpastian ekonomi global, seperti yang dialami oleh pasar saham Indonesia.

Dalam hal portofolio investasi, teori Markowitz dengan pendekatan *mean-variance optimization* menjadi metode yang digunakan untuk membantu investor dalam menyeimbangkan risiko dan return dalam portofolio mereka (Nasution & Al-Khowarizmi, 2025). Markowitz (1952) menyarankan bahwa dengan diversifikasi portofolio yang tepat, investor dapat mengurangi risiko tanpa mengorbankan potensi return. Penelitian oleh Pulungan & Lubis (2025) menunjukkan bahwa saham-saham perbankan Indonesia seperti BBKA, BBRI, dan BBNI dapat membentuk portofolio optimal yang memberikan imbalan return maksimal dengan risiko terkendali. Dengan pendekatan ini, investor dapat meminimalkan risiko melalui strategi diversifikasi yang tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi *gap* dalam literatur yang ada dengan mengintegrasikan tiga model analisis, yaitu *GARCH* untuk volatilitas, Markowitz untuk portofolio, dan *LSTM* untuk prediksi harga saham dalam satu analisis komprehensif. Penggabungan ketiga model ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang dinamika risiko dan return dalam pasar saham Indonesia, khususnya sektor perbankan. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan temuan empiris yang membantu investor dan akademisi dalam mengelola risiko investasi dan memaksimalkan potensi return melalui pendekatan yang lebih holistik dan terintegrasi.

2. RESEARCH METHOD

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan *explanatory* serta analisis *time series econometrics*. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan menjelaskan hubungan antara return, volatilitas, risiko portofolio, dan prediksi harga saham melalui penerapan model *GARCH(1,1)*, optimasi portofolio *Mean-Variance Markowitz*, serta model prediksi berbasis *LSTM*. Pendekatan kuantitatif sejalan dengan pandangan bahwa analisis portofolio modern harus didasarkan pada pengukuran matematis seperti *expected return*, variansi, dan kovarians sebagai dasar pembentukan portofolio optimal (Khadaifi, 2022).

B. Objek Penelitian

Objek penelitian mencakup empat saham perbankan berkapitalisasi besar yang tercatat di Bursa Efek Indonesia (BEI), yaitu BBKA, BBRI, BMRI, dan BBNI. Pemilihan keempat saham didasarkan pada:

- tingkat likuiditas yang tinggi,
- representativitas terhadap kinerja sektor perbankan nasional,
- serta kontribusi signifikan terhadap pembentukan indeks pasar IHSG.

Saham-saham tersebut juga banyak digunakan dalam penelitian portofolio karena stabilitas fundamental dan perannya sebagai *leading indicator* di sektor keuangan Indonesia.

C. Jenis dan Sumber Data

Penelitian memanfaatkan data kuantitatif sekunder berbentuk *time series* harian pada periode 1 Januari 2015 – 31 Desember 2024.

Sumber Data:

- *Yahoo Finance*: Harga penutupan (*Close*), volume transaksi, dan data teknikal.
- Bursa Efek Indonesia (IDX): Informasi emiten, kapitalisasi pasar, dan klasifikasi sektor.
- Perhitungan mandiri: Return harian, volatilitas *GARCH*, bobot portofolio, dan label prediksi *LSTM*.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Nama Kategori	Nama Variabel	Tipe Data	Keterangan
Harga	Close	Numerik	Harga penutupan harian saham
Return	Return harian	Numerik	$r_t = \ln(P_t/P_{t-1})$
Volatilitas	Volatilitas GARCH	Numerik	Varians bersyarat: $\omega, \alpha, \beta, \alpha + \beta$
Aktivitas Pasar	Volume	Numerik	Volume transaksi harian
Indikator Teknikal	SMA	Numerik	Simple Moving Average
	EMA	Numerik	Exponential Moving Average
	RSI	Numerik	Relative Strength Index
	MACD	Numerik	MACD Line
	ATR	Numerik	Average True Range
Portofolio	Bobot Portofolio ($w_1 - w_4$)	Numerik	Bobot optimal tiap saham
Prediksi	Prediksi harga	Numerik	Prediksi 1-step ahead
	Prediksi Arah	Kategorik	1 = naik, 0 = turun

D. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis agar data dapat digunakan secara optimal dalam model *GARCH*, Markowitz, dan *LSTM*. Tahapan pengolahan data meliputi:

1) Pembersihan Data (Data Cleaning)

Proses ini mencakup pemeriksaan dan penanganan *missing values*, penghapusan duplikasi, pengecekan konsistensi tanggal perdagangan, serta identifikasi *outliers* harga yang berpotensi mengganggu kestabilan deret waktu. Pembersihan data penting untuk memastikan kualitas input model dan mencegah bias estimasi pada metode ekonometrika.

2) Transformasi Return

Return harian dihitung menggunakan *log-return* agar perubahan harga lebih stabil dan sesuai untuk model volatilitas. Rumus yang digunakan adalah:

$$r_t = \ln(P_t/P_{t-1}) \quad (1)$$

Transformasi ini meminimalkan distorsi skala dan lebih sesuai dengan sifat data keuangan.

3) Uji Stasioneritas

Uji *Augmented Dickey-Fuller (ADF)* diterapkan untuk memastikan bahwa deret return bersifat stasioner sebelum digunakan dalam estimasi volatilitas *GARCH*. Deret non-stasioner dapat menghasilkan estimasi volatilitas yang bias.

4) Penskalaan Data (Scaling) untuk LSTM

Seluruh variabel numerik dinormalisasi menggunakan *MinMaxScaler* ke dalam rentang $[0, 1]$. Penskalaan diperlukan untuk menstabilkan gradien, mempercepat proses *training*, dan menjaga performa model berbasis *RNN*.

Hal ini sejalan dengan temuan bahwa tahapan prediksi saham berbasis *LSTM* mencakup normalisasi *Min-Max* dan pembentukan data *sequence* melalui *sliding window* sebelum proses pelatihan model (Ramadhan & Pratama, 2023).

5) Pembagian Data (Train-Test Split)

Dataset dibagi menjadi:

- 80% untuk pelatihan (*training*),
- 20% untuk pengujian (*testing*).

Pembagian ini memungkinkan evaluasi model secara objektif agar hasil prediksi tidak hanya akurat pada data pelatihan, tetapi juga pada data baru.

E. Metode Analisis

1) Analisis Statistik Keuangan

Tahap awal penelitian dilakukan untuk memahami karakteristik dasar data harga saham melalui analisis statistik deskriptif. Langkah ini meliputi:

(1) Return Harian (*Logarithmic Return*)

Digunakan untuk menstabilkan varians dan mengurangi efek *heteroskedastisitas*:

$$r_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \quad (2)$$

(2) Rata-rata Return

$$\bar{r} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_t \quad (3)$$

(3) Varians dan Standar Deviasi Return

$$\sigma^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_t - \bar{r})^2, \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4)$$

(4) Kovarians Antar Saham

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (r_{i,t} - \bar{r}_i)(r_{j,t} - \bar{r}_j) \quad (5)$$

(5) Korelasi Antar Saham

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (6)$$

(6) Uji Stasioneritas (*ADF*)

Digunakan untuk memastikan bahwa return bersifat stasioner sebelum diproses dalam *GARCH*.

Analisis dasar ini penting karena “return yang tinggi akan diikuti risiko yang tinggi pula, sehingga pemahaman statistik keuangan menjadi fondasi utama sebelum pembentukan portofolio optimal” (Khadaifi, 2022).

2) Pemodelan Volatilitas Menggunakan *GARCH(1,1)*

Model *GARCH(1,1)* digunakan untuk menangkap fenomena *volatility clustering*, yaitu kondisi volatilitas tinggi cenderung diikuti volatilitas tinggi selanjutnya, dan sebaliknya. Model ini lebih representatif untuk data keuangan dibanding varians konvensional.

(1) Persamaan Mean Return

$$r_t = \mu + \varepsilon_t \quad (7)$$

dengan error:

$$\varepsilon_t = \sigma_t z_t, z_t \sim i.i.d. N(0,1) \quad (8)$$

(2) Varians Bersyarat *GARCH(1,1)*

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (9)$$

(3) Syarat Parameter

$$\omega > 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0 \quad (10)$$

(4) Persistensi Volatilitas

$$\text{Persistensi} = \alpha + \beta \quad (11)$$

Jika $\alpha + \beta \approx 1$, volatilitas sangat persisten.

(5) Long-Run *Unconditional Variance*

$$\sigma_\infty^2 = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta} \quad (12)$$

Penggunaan model ini sejalan dengan temuan bahwa volatilitas merupakan indikator risiko yang lebih sensitif dan relevan bagi pengambilan keputusan investasi dibanding standar deviasi biasa (Khadaifi, 2022).

3) Optimasi Portofolio Mean–Variance Markowitz

Model *Mean–Variance Markowitz* digunakan untuk menentukan bobot portofolio optimal berbasis *trade-off* return–risiko.

(1) Return Ekspektasian Portofolio

$$E(R_p) = \omega^T \mu \quad (13)$$

(2) Risiko Portofolio (Varians)

$$\sigma_p^2 = \omega^T \Sigma \omega \quad (14)$$

(3) Tujuan Optimasi

$$\min_{\omega} \sigma_p^2 = \min_{\omega} \omega^T \Sigma \omega \quad (15)$$

(4) Kendala Optimasi

$$\sum_{i=1}^4 \omega_i = 1, \omega_i \geq 0 \quad (16)$$

(5) Sharpe Ratio

$$SR = \frac{E(R_p) - R_f}{\sigma_p} \quad (17)$$

Model ini digunakan karena “Model Markowitz membantu investor menentukan komposisi portofolio optimal melalui perhitungan *expected return*, variansi, dan kovarians antar aset” (Khadaifi, 2022). Pendekatan ini juga efektif pada penelitian portofolio sektoral BEI (Fadillah & Karim, 2021).

4) Prediksi Harga Saham Menggunakan Model LSTM

Model *Long Short-Term Memory (LSTM)* digunakan untuk memprediksi:

- harga saham (*regresi*), dan
- arah pergerakan harga *1-step ahead* (klasifikasi naik/turun).

(1) Struktur Input–Output

Dengan *window size k*:

$$X_t = [r_{t-k+1}, \dots, r_t], y_t = r_{t+1} \quad (18)$$

(2) Arsitektur Model

- 1 *LSTM layer*
- 1 *Dense output layer*
- *Optimizer Adam*
- *Loss function MSE*

(3) Fungsi Loss

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad (19)$$

(4) Evaluasi Model

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (20)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |y_t - \hat{y}_t| \quad (21)$$

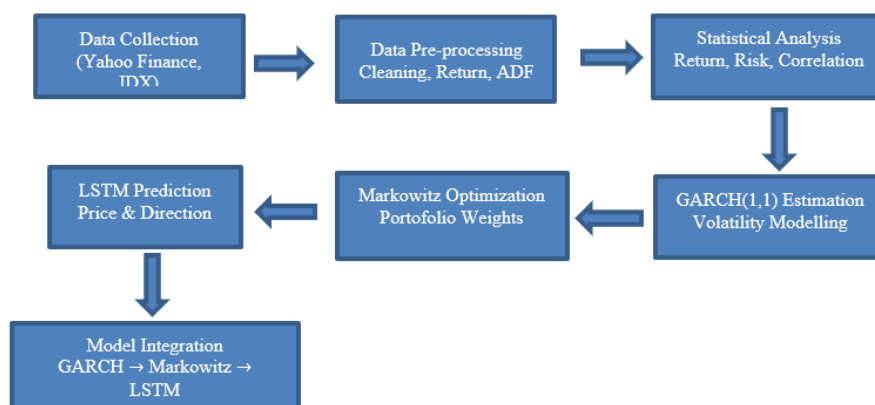
LSTM dipilih karena “efektif memprediksi data *time series* dan mampu mengingat pola historis dalam rentang panjang” (Ramadhan & Pratama, 2023). Selain itu, integrasi *LSTM* terbukti meningkatkan kualitas portofolio (Afandi & Maulana, 2023).

5) Integrasi Model GARCH–Markowitz–LSTM

Integrasi dilakukan agar analisis mempertimbangkan secara simultan:

- Risiko Dinamis → dari volatilitas *GARCH*
- Return–Risiko Optimal → dari Markowitz
- Prediksi Harga & Arah → dari *LSTM*

Pendekatan hibrida ini didukung oleh temuan bahwa “portofolio berbasis prediksi *LSTM* yang dioptimalkan *Mean–Variance* menghasilkan *Sharpe Ratio* dan return lebih tinggi daripada portofolio konvensional” (Afandi & Maulana, 2023). Integrasi ketiga model memberikan landasan keputusan investasi yang jauh lebih komprehensif bagi pasar saham perbankan.



Gambar 1. Alur Penelitian

3. RESULTS AND DISCUSSION

A. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif disajikan untuk memberi gambaran awal mengenai perilaku return saham perbankan pada periode 2015–2024. Ukuran yang ditampilkan meliputi rata-rata, volatilitas, serta nilai ekstrem minimum dan maksimum yang dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Return Harian Saham Perbankan (2015–2024)

Saham	Mean	Std Dev	Min	Max	Skewness	Kurtosis	Mean (Ann)	Vol (Ann)
BBCA.JK	0.000524	0.014374	-0.082444	0.159849	0.514055	9.128818	0.132099	0.228175
BBNI.JK	0.000144	0.020434	-0.124642	0.127927	0.095906	3.880768	0.036164	0.324384
BBRI.JK	0.000265	0.019677	-0.081346	0.186412	0.272116	5.449376	0.066775	0.312370
BMRI.JK	0.000301	0.019907	-0.139172	0.146721	-0.018441	4.427407	0.075875	0.316009

Berdasarkan Tabel 2, BBKA menunjukkan kinerja terbaik karena memiliki rata-rata return tertinggi (0.000524) sekaligus tingkat volatilitas terendah (*Std Dev* 0.014374), sehingga tergolong paling stabil dan menguntungkan. Sebaliknya, BBNI memiliki rata-rata return paling kecil (0.000144) namun volatilitas paling tinggi (0.020434), yang mencerminkan tingkat risiko besar dengan keuntungan relatif rendah. Adapun BBRI dan BMRI berada pada posisi menengah dengan volatilitas yang hampir sama; BBRI mencatat potensi kenaikan harian tertinggi (*Max* 0.186412), sedangkan BMRI mengalami penurunan harian terdalam (*Min* -0.139172).

Nilai *skewness* yang cenderung positif serta *kurtosis* yang tinggi pada seluruh saham mengindikasikan bahwa distribusi return tidak berdistribusi normal dan dipengaruhi oleh kejadian-kejadian ekstrem selama periode pengamatan. Analisis deskriptif menunjukkan bahwa BBKA memiliki return paling stabil dengan volatilitas rendah, sementara BBNI dan BBRI cenderung lebih berfluktuasi sehingga berisiko lebih tinggi. Nilai *kurtosis* yang tinggi juga menandakan adanya sebaran *fat-tailed* atau kejadian ekstrem yang relatif sering. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jumiyati et al. (2024), yang menyatakan bahwa return saham perbankan Indonesia bersifat *fat-tailed* dan risikonya tidak seragam, sehingga analisis volatilitas menjadi tahap penting sebelum pemodelan lanjutan.

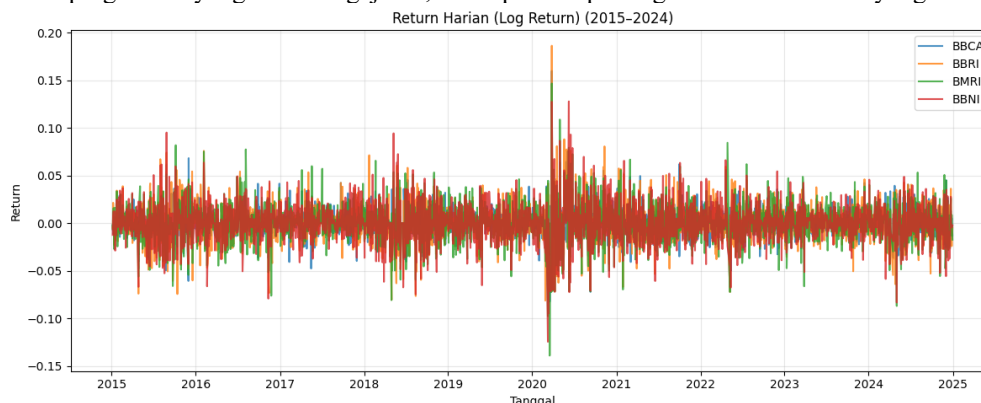
B. Tren Pergerakan Harga Penutupan Saham Perbankan (2015–2024)

Grafik berikut ditampilkan untuk memperlihatkan pola pergerakan harga penutupan dan dinamika return harian empat saham perbankan selama periode penelitian 2015–2024, sehingga perubahan tren dan fluktuasi risikonya dapat diamati secara visual.



Gambar 2. Pergerakan Harga Penutupan Harian Saham Perbankan (2015–2024)

Gambar 2 memperlihatkan bahwa seluruh saham menunjukkan kecenderungan tren naik dalam jangka panjang. Namun, pada awal 2020 terjadi penurunan tajam secara bersamaan yang mencerminkan adanya tekanan besar di pasar (periode krisis/pandemi). Setelah fase tersebut, pergerakan harga kembali mengalami pemulihan dan terus berlanjut hingga 2024. Di antara keempat saham, BBKA tampak paling stabil dengan kenaikan yang konsisten serta berada pada level harga tertinggi, sementara BBRI, BMRI, dan BBNI menunjukkan pergerakan yang lebih bergejolak, meskipun tetap mengikuti arah tren naik yang sama.



Gambar 3. Return Harian (Log Return) Saham Perbankan (2015–2024)

Gambar 3 menunjukkan bahwa return harian umumnya berfluktuasi di sekitar nilai nol, namun pada waktu-waktu tertentu muncul lonjakan yang sangat besar, terutama di sekitar tahun 2020 saat volatilitas meningkat drastis. Kondisi ini mengindikasikan adanya *volatility clustering*. Di luar masa krisis tersebut, pergerakan return cenderung lebih terkendali, meskipun masih menampilkan penyebaran yang luas dan karakteristik ekor tebal, sehingga menegaskan bahwa tingkat risiko saham perbankan bersifat dinamis dan berubah-ubah dari waktu ke waktu.

C. Uji Stasioneritas ADF

Uji stasioneritas ADF dilakukan pada return harian untuk memastikan data layak digunakan dalam pemodelan lanjutan, dengan hasil ringkasan ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Uji Stasioneritas Return Harian Saham Perbankan (ADF Test) (2015–2024)

Saham	ADF t-stat	p-value	Lag	Obs	CV 1%	CV 5%	CV 10%	Keputusan (5%)
BBKA	-22.237445	0.0	5	2468	-3.433002	-2.862712	-2.567394	Stasioner
BBNI	-27.292389	0.0	2	2471	-3.432999	-2.862710	-2.567393	Stasioner
BBRI	-26.032573	0.0	3	2470	-3.433000	-2.862711	-2.567393	Stasioner
BMRI	-22.884805	0.0	4	2469	-3.433001	-2.862711	-2.567394	Stasioner

Berdasarkan Tabel 3, nilai ADF *t-statistic* seluruh saham berada jauh di bawah (lebih negatif dari) nilai kritis pada taraf 1%, 5%, dan 10%, serta memiliki *p-value* sebesar 0.0 yang lebih kecil dari $\alpha = 5\%$. Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis nol adanya *unit root* ditolak, sehingga return BBKA, BBNI, BBRI, dan BMRI dapat dinyatakan bersifat stasioner. Dengan demikian, data return tersebut telah memenuhi prasyarat untuk dilanjutkan ke analisis volatilitas menggunakan model *GARCH* serta pembentukan portofolio dengan pendekatan Markowitz pada tahap selanjutnya.

Uji ADF menunjukkan seluruh return saham bersifat stasioner pada tingkat signifikansi 5%, sehingga secara statistik mean dan variansnya cukup stabil untuk dimodelkan dengan *GARCH* dan Markowitz. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan data return sudah tepat dalam analisis pasar modal. Hasil ini konsisten dengan temuan Antika et al. (2025), yang juga menyatakan bahwa return saham perbankan Indonesia stasioner, meskipun variansnya bersifat *heteroskedastis* sehingga layak dimodelkan dengan *ARCH/GARCH*.

D. Estimasi Model GARCH(1,1)

Estimasi model *GARCH(1,1)* dilakukan untuk menangkap dinamika volatilitas return saham perbankan, dengan ringkasan parameter utama ditampilkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Estimasi Model GARCH(1,1)

Saham	omega	alpha1	beta1	alpha1_pval	beta1_pval	Persistence ($\alpha+\beta$)	AIC	BIC
BBKA	0.131193	0.109527	0.824145	0.000833	0.0	0.933672	8379.28	8402.53
BBNI	0.079298	0.065050	0.915991	0.000809	0.0	0.981041	10134.06	10157.32
BBRI	0.112568	0.080397	0.888573	0.000137	0.0	0.968970	9856.02	9879.27
BMRI	0.200283	0.089071	0.857563	0.141783	0.0	0.946634	10035.44	10058.70

Berdasarkan Tabel 4, parameter *alpha1* pada BBKA, BBNI, dan BBRI terbukti signifikan (*p-value* < 0.05), yang berarti guncangan return pada periode sebelumnya berpengaruh terhadap volatilitas saat ini.

(Risca Octaviyani Hutapea)

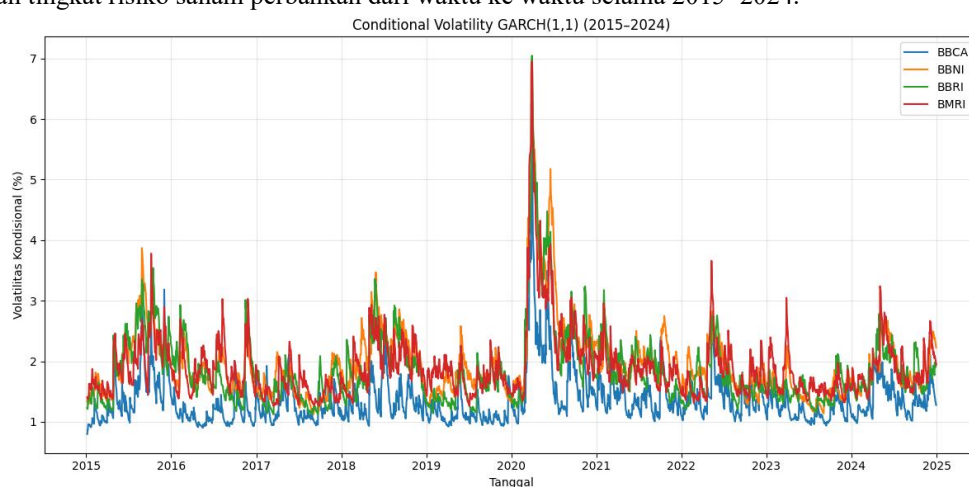
Sebaliknya, pada BMRI nilai α_1 tidak signifikan, sehingga respons volatilitas terhadap *shock* baru tergolong lemah. Meskipun demikian, seluruh saham memiliki β_1 yang signifikan serta tingkat persistensi ($\alpha + \beta$) yang tinggi dan mendekati 1 (0.933–0.981), menunjukkan bahwa volatilitas bersifat persisten atau terjadi *volatility clustering*.

Persistensi tertinggi terdapat pada BBNI, disusul BBRI, BMRI, dan BBKA, sehingga dapat disimpulkan bahwa risiko pada saham perbankan cenderung berlangsung cukup lama setelah terjadinya guncangan pasar. Model $GARCH(1,1)$ menunjukkan bahwa seluruh saham memiliki parameter β yang signifikan dan nilai persistensi ($\alpha + \beta$) mendekati satu, sehingga volatilitas tergolong sangat persisten dan dampak guncangan pasar tidak cepat mereda.

BBNI dan BBRI memiliki persistensi tertinggi sehingga paling sensitif terhadap *shock*. Pola ini sejalan dengan adanya *volatility clustering* pada grafik, terutama lonjakan besar sekitar 2020, serta konsisten dengan temuan Jumiaty et al. (2024) dan Dharma et al. (2024) yang menyatakan volatilitas saham bank Indonesia cenderung bertahan lama setelah krisis.

E. Pola Volatilitas Kondisional Saham Perbankan Berdasarkan Model $GARCH(1,1)$

Grafik berikut menampilkan volatilitas kondisional hasil estimasi $GARCH(1,1)$ untuk melihat perubahan tingkat risiko saham perbankan dari waktu ke waktu selama 2015–2024.



Gambar 4. Pola Volatilitas Kondisional Saham Perbankan Berdasarkan Model $GARCH(1,1)$

Gambar 4 memperlihatkan bahwa volatilitas kondisional keempat saham bergerak fluktuatif dan membentuk pola *volatility clustering*, yakni periode volatilitas tinggi cenderung diikuti oleh volatilitas tinggi berikutnya. Lonjakan paling besar terjadi pada awal 2020 yang mencerminkan adanya guncangan pasar yang signifikan, kemudian volatilitas menurun secara bertahap meskipun masih tetap bergejolak hingga akhir periode pengamatan. Secara perbandingan, BBKA secara konsisten menunjukkan tingkat volatilitas paling rendah, sementara BBNI, BBRI, dan BMRI berada pada level yang lebih tinggi dan kerap mengalami lonjakan, selaras dengan nilai persistensi ($\alpha + \beta$) yang tinggi pada hasil estimasi model $GARCH$.

F. Portfolio Optimal Markowitz

Optimasi Markowitz menghasilkan bobot portofolio optimal serta kinerja return–risiko yang ditampilkan pada dua tabel berikut:

- 1) Hasil Bobot Portofolio Optimal Markowitz (MVP dan MSP)

Tabel 5. Bobot Portofolio Optimal Markowitz (MVP dan MSP)

Saham	MVP Weight	MSP Weight
BBKA	0.7370	1.0
BBNI	0.0925	0.0
BBRI	0.1032	0.0
BMRI	0.0673	0.0

- 2) Hasil Kinerja Portofolio Optimal Markowitz

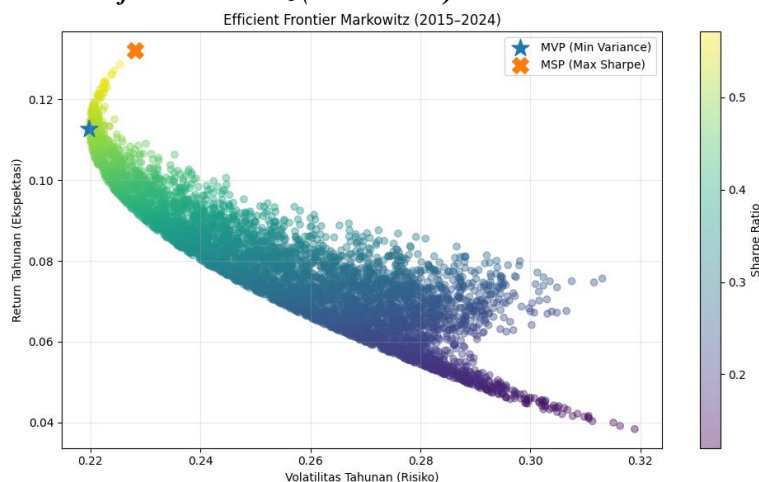
Tabel 6. Kinerja Portofolio Optimal Markowitz

Portofolio	Return Ann	Vol Ann	Sharpe
MVP	0.1127	0.2198	—
MSP	0.1321	0.2282	0.5789

Berdasarkan kedua tabel tersebut, portofolio MVP membentuk strategi diversifikasi dengan komposisi terbesar pada BBKA (0.7370) serta porsi yang relatif kecil pada BBNI, BBRI, dan BMRI, sehingga

menghasilkan return tahunan sebesar 0.1127 dengan tingkat risiko paling rendah, yaitu 0.2198. Sementara itu, pada portofolio *MSP*, seluruh dana dialokasikan ke BBKA (1.0) karena saham ini dinilai paling efisien selama periode penelitian. Hal ini tercermin dari return tahunan yang lebih tinggi, yaitu 0.1321, dengan risiko 0.2282 serta nilai rasio *Sharpe* tertinggi sebesar 0.5789.

G. Efficient Frontier Portofolio Markowitz (2015 – 2024)



Gambar 5. Efficient Frontier Portofolio Markowitz (2015 – 2024)

Gambar 5 menampilkan kurva *efficient frontier* yang merepresentasikan kumpulan portofolio paling optimal, yakni portofolio yang mampu memberikan return harapan tertinggi pada setiap level risiko tertentu. Titik *MVP* berada pada posisi dengan risiko paling rendah dan return yang relatif moderat. Sementara itu, titik *MSP* terletak pada area dengan rasio *Sharpe* tertinggi sehingga mencerminkan kombinasi return dan risiko yang paling ideal. Persebaran titik portofolio lainnya juga menegaskan adanya hubungan *trade-off*, di mana peningkatan return portofolio umumnya diikuti oleh kenaikan tingkat volatilitas.

H. Hasil Evaluasi Prediksi LSTM (Regresi Harga dan Arah 7 Hari)

Tabel ini menyajikan ringkasan kinerja model *LSTM* dalam memprediksi saham perbankan, yang dievaluasi melalui dua pendekatan, yaitu akurasi prediksi level harga menggunakan metrik *RMSE* dan *MAE*, serta kemampuan memprediksi arah pergerakan harga tujuh hari ke depan (*7-step ahead*) melalui ukuran akurasi arah. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menilai sejauh mana model mampu merepresentasikan pola tren harga sekaligus mengidentifikasi kecenderungan arah pergerakan mingguan.

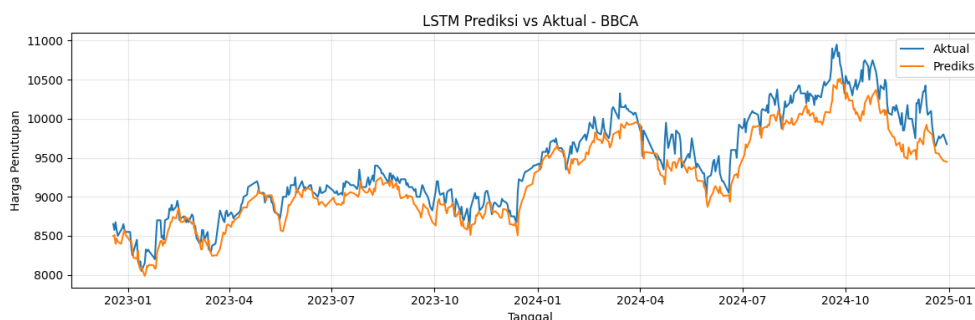
Tabel 7. Hasil Evaluasi Prediksi LSTM untuk Regresi Harga dan Arah 7 Hari (2015–2024)

Saham	RMSE	MAE	Akurasi Arah 7 Hari
BBKA	330.588056	266.390757	0.521472
BBNI	258.700466	216.541255	0.546012
BBRI	257.804412	209.424050	0.496933
BMRI	290.567433	231.805537	0.541922

Berdasarkan tabel, model *LSTM* menunjukkan kinerja yang cukup meyakinkan dalam memprediksi level (*exact*) harga, terutama pada BBRI dan BBNI yang memiliki *RMSE* dan *MAE* paling rendah, sehingga pola tren harga keduanya relatif dapat diikuti dengan baik oleh model. Sementara itu, BBKA menghasilkan *error* lebih besar yang mengindikasikan adanya pola pergerakan yang lebih menantang untuk dipelajari, namun tetap masih berada dalam batas yang wajar mengingat skala harga BBKA lebih tinggi dibanding saham lain. Pada prediksi arah 7 hari, akurasi seluruh saham berada di sekitar 0.50 dengan BBNI dan BMRI sedikit lebih unggul (sekitar 0.54–0.55), yang menandakan model sudah mulai menangkap sinyal tren mingguan meskipun belum sepenuhnya konsisten di semua saham. Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa *LSTM* cukup efektif sebagai alat untuk mengikuti tren harga dan memberi indikasi arah pada *horizon* mingguan, sehingga cocok digunakan sebagai pendukung keputusan investasi bersama analisis risiko dan portofolio. Temuan ini sejalan dengan Raissa (2025) serta Ariefin & Supangkat (2025) yang menyimpulkan bahwa *LSTM* unggul dalam menangkap tren harga, tetapi kinerjanya menurun saat volatilitas meningkat tajam atau terjadi pembalikan arah cepat.

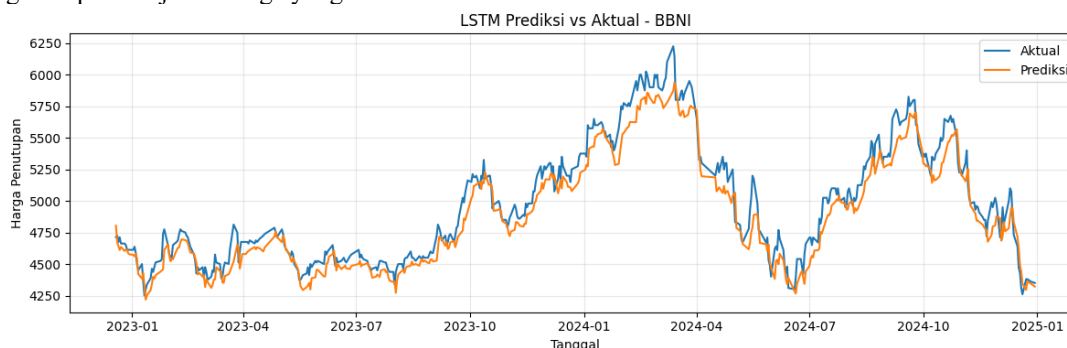
I. Visualisasi Prediksi LSTM vs Aktual

Berikut ini ditampilkan perbandingan visual antara harga aktual dan hasil prediksi *LSTM* pada masing-masing saham untuk melihat seberapa baik model mengikuti pola pergerakan harga pada periode uji.



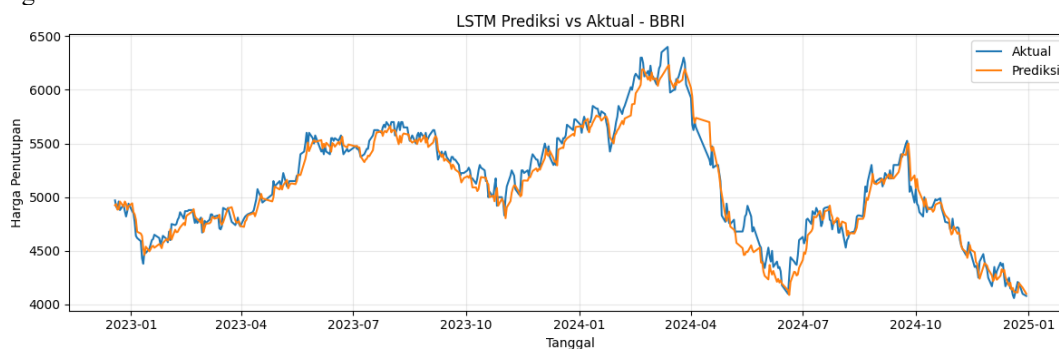
Gambar 6. Prediksi LSTM vs Aktual BBKA

Garis hasil prediksi *LSTM* terlihat mengikuti arah pergerakan dan cukup mendekati harga aktual sepanjang periode pengujian, sehingga pola tren secara umum berhasil direpresentasikan dengan baik. Namun, selisih mulai tampak ketika harga mencapai titik puncak atau mengalami pergerakan yang sangat tajam, di mana nilai prediksi cenderung berada di bawah harga sebenarnya dan mengalami sedikit keterlambatan. Hal ini menunjukkan bahwa *LSTM* lebih andal dalam menangkap kecenderungan tren dibandingkan dalam mengantisipasi lonjakan harga yang bersifat ekstrem.



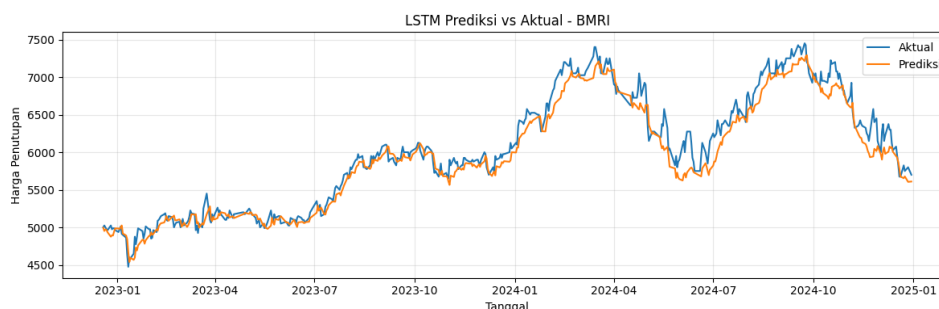
Gambar 7. Prediksi LSTM vs Aktual BBNI

Prediksi *LSTM* untuk saham BBNI terlihat mampu mengikuti pergerakan harga aktual dengan cukup baik pada fase tren naik. Namun, selisih prediksi menjadi semakin besar ketika terjadi pembalikan arah yang cepat serta penurunan tajam pada paruh akhir periode pengujian. Hal ini mengindikasikan bahwa model bekerja cukup optimal dalam kondisi pasar yang relatif stabil, tetapi tingkat akurasi menurun saat volatilitas meningkat secara mendadak.



Gambar 8. Prediksi LSTM vs Aktual BBRI

Untuk saham BBRI, garis prediksi tampak paling mendekati harga aktual pada banyak segmen, baik ketika terjadi tren kenaikan maupun penurunan, sehingga pola pergerakan harga harian relatif dapat direpresentasikan dengan baik. Perbedaan yang muncul terutama terjadi pada titik-titik pembalikan ekstrem, namun secara umum hasil prediksi tetap konsisten mengikuti dinamika pergerakan harga aktual.



Gambar 9. Prediksi LSTM vs Aktual BMRI

Garis hasil prediksi BMRI tampak searah dengan pergerakan harga aktual serta mampu merefleksikan siklus kenaikan dan penurunan utama. Namun, pada fase reli terlihat bahwa prediksi cenderung lebih halus dan berada sedikit di bawah harga sebenarnya. Ini menunjukkan bahwa hasil prediksi cukup mewakili arah tren secara umum, tetapi kurang responsif dalam menangkap fluktuasi harian yang lebih tajam dan agresif.

Volatilitas hasil estimasi $GARCH(1,1)$ memengaruhi langsung bobot portofolio Markowitz karena risiko optimasi ditentukan oleh varians kovarians return. Persistensi volatilitas yang tinggi ($\alpha + \beta$ mendekati 1) menunjukkan bahwa dampak *shock* tidak cepat hilang, sehingga saham yang lebih stabil cenderung mendapat bobot lebih besar pada portofolio *minimum variance*. Hasil optimasi menegaskan pola ini, di mana BBCA yang paling stabil menjadi komponen dominan *MVP*, sedangkan saham berisiko lebih tinggi hanya berperan sebagai diversifikasi kecil.

Prediksi *LSTM* digunakan sebagai validasi tren jangka pendek menengah. Meski akurasi arah harian masih rendah, model tetap mampu mengikuti level harga sehingga lebih tepat sebagai indikator konfirmasi *momentum* daripada alat *timing* harian. Dalam keputusan portofolio, sinyal *LSTM* membantu menilai apakah saham dominan (misalnya BBCA pada *MSP*) masih berada dalam fase tren yang mendukung atau mulai melemah, sehingga dapat melengkapi Markowitz yang berbasis data historis dengan informasi arah tren ke depan.

Strategi investasi yang dihasilkan adalah menggunakan portofolio Markowitz sebagai alokasi dasar, kemudian menyesuaikan eksposur berdasarkan risiko dinamis dari *GARCH* dan konfirmasi tren dari *LSTM*. Pada kondisi normal dengan volatilitas rendah dan tren positif, investor dapat mengikuti bobot *MSP* untuk memaksimalkan efisiensi return risiko. Sebaliknya, saat volatilitas meningkat atau tren melemah, strategi diarahkan lebih konservatif mendekati *MVP* melalui *rebalancing*. Kerangka ini memungkinkan keputusan investasi yang lebih adaptif, dengan risiko tetap terkontrol dan peluang return tetap terjaga.

Integrasi *GARCH*, Markowitz, dan *LSTM* memberikan kerangka analisis risiko dan portofolio yang saling melengkapi: *GARCH* menegaskan volatilitas saham bank yang persisten saat terjadi *shock*, Markowitz menghasilkan alokasi optimal dengan dominasi BBCA sebagai aset paling efisien, dan *LSTM* berfungsi sebagai pendukung pembacaan tren jangka pendek. Temuan ini sejalan dengan Raissa (2025) serta Saputra, Setyawan, dan Wahid (2025) yang menyatakan bahwa penggabungan sinyal prediksi berbasis *ML/DL* ke dalam optimasi *mean-variance* meningkatkan adaptivitas portofolio pada saham perbankan yang volatilitasnya dinamis.

4. CONCLUSION

Penelitian ini menyajikan kajian yang menyeluruh terhadap empat saham bank besar Indonesia (BBCA, BBNi, BBRI, dan BMRI) selama periode 2015–2024 dengan mengombinasikan pendekatan $GARCH(1,1)$, Markowitz, dan *LSTM*. Hasil statistik deskriptif menunjukkan adanya perbedaan karakteristik risiko–return antarsaham serta indikasi distribusi return berekor tebal, yang mengindikasikan bahwa sektor perbankan memiliki dinamika risiko yang khas dan relevan untuk dianalisis lebih lanjut. Uji *ADF* mengonfirmasi bahwa return seluruh saham bersifat stasioner pada taraf signifikansi 5%, sehingga data layak digunakan dalam pemodelan volatilitas dan optimasi portofolio secara sistematis.

Estimasi $GARCH(1,1)$ mengungkap adanya *volatility clustering* dan tingkat persistensi volatilitas yang tinggi pada seluruh saham, yang menunjukkan bahwa risiko di sektor perbankan bersifat dinamis dan tidak segera mereda setelah terjadi guncangan pasar. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan risiko saham bank yang mempertimbangkan perubahan volatilitas dari waktu ke waktu. Selanjutnya, optimasi Markowitz menghasilkan portofolio *Minimum Variance (MVP)* yang terdiversifikasi dengan BBCA sebagai aset utama penekan risiko, sementara portofolio *Maximum Sharpe (MSP)* juga menempatkan BBCA sebagai aset paling efisien dalam *trade-off* risiko–return. *Efficient frontier* yang terbentuk sejalan dengan teori portofolio modern, sehingga menguatkan bahwa kombinasi saham perbankan mampu membentuk portofolio efisien sesuai preferensi risiko investor.

Pada tahap prediksi, model *LSTM* mampu mengikuti tren level harga dengan baik, dengan *error* relatif rendah pada beberapa saham. Prediksi arah tujuh hari ke depan menunjukkan akurasi sekitar 0.50, yang

(Risca Octaviyani Hutapea)

menandakan bahwa sinyal tren mingguan mulai tertangkap meskipun masih dipengaruhi *noise* pasar. Secara keseluruhan, integrasi *GARCH–Markowitz–LSTM* membentuk kerangka analisis yang saling melengkapi dalam menangkap risiko dinamis, menentukan alokasi optimal, dan memvalidasi tren, sehingga strategi investasi menjadi lebih adaptif dalam pengelolaan portofolio saham perbankan.

REFERENCES

- Ariefin, M. R. S., & Supangkat, S. H. (2024). Advanced stock price prediction in the Indonesian banking sector using sentiment analysis and CNN–LSTM models. *Nanotechnology Perceptions*, 20(7), 396–412. <https://doi.org/10.62441/nano-ntp.v20i7.3854>
- Dharma, Y. D., Utami, A., & Pujiharta, P. (2025). Volatility forecasting using GARCH versus EGARCH models for cryptocurrencies, Indonesian stocks, and U.S. stocks. *IJBE (Integrated Journal of Business and Economics)*, 9(2), 332–347. <https://doi.org/10.33019/ijbe.v9i1.1125>
- Endri, E., Abidin, Z., Simanjuntak, T. P., & Nurhayati, I. (2020). Indonesian stock market volatility: GARCH model. *Montenegrin Journal of Economics*, 16(2), 7–17. <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2020.16-2.1>
- Kenrick, K., Ivancio, S. C., Isabellini, E., Adhi, C. G. S., & Prasetyo, A. (2024). Multivariate stock market forecasting using LSTM on Indonesian banking stock market. *Procedia Computer Science*, 245, 1047–1056. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.333>
- Khadafi, M., Ritonga, R. K., Ilham, M., & Putri, R. N. (2025). Analisis portofolio saham sektoral di BEI menggunakan model Markowitz: Studi kasus emiten LQ45 tahun 2021–2024. *Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara*, 2(3), 4235–4245.
- Kinanti, S. L., & Rozana, I. (2025). Perbandingan performa model garch, lstm dan hybrid untuk prediksi harga saham syariah jii. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(3), 7404–7411. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.3109>
- Kurniansyah, J., Gusti, S. K., Yanto, F., & Affandes, M. (2025). Implementasi model Long Short-Term Memory (LSTM) dalam prediksi harga saham. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 6(2), 79–86. <https://doi.org/10.47065/bit.v5i2.1783>
- Maulana, Y. (2022). Pemodelan volatilitas indeks harga saham sektoral di Indonesia. *Logika: Jurnal Penelitian Universitas Kuningan*, 13(1), 53–72. <https://doi.org/10.25134/logika.v13i01.5688>
- Nasution, M. A., & Al-khowarizmi, A. K. (2025). Data-driven portfolio optimization using k-means and markowitz model: evidence from LQ45 stocks. *Economic: Journal Economic and Business*, 4(2), 349–354. <https://doi.org/10.56495/ejeb.v4i2.1155>
- Nismawati, N., Octavia, P. P., Khasanah, R. A., & Amalia, R. M. (2024). Optimalisasi portofolio saham dengan model Markowitz pada perusahaan manufaktur di Bursa Efek Indonesia periode Agustus 2023–Juli 2024. *Lontara Journal of Mathematics, Statistics and Application*, 1(1), 52–59. <https://doi.org/10.61220/jmsa.v1i1.20241.512>
- Nurmawati, E., Abaysa, R., & Putra, R. A. (2025). Optimalisasi portofolio saham syariah berbasis prediksi menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM). *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 10(2), 464–475. <https://doi.org/10.30591/jpit.v10i2.8421>
- Pane, C. S. A., Fawwaz, A., Ryanti, M., & Khadafi, M. (2025). Peran analisis portofolio dalam menentukan strategi investasi yang optimal. *Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara*, 2(3), 3989–3996.
- Pulungan, A. F., & Lubis, R. S. (2025). Optimizing portfolio performance in Indonesian banking stocks: An empirical application of the Markowitz mean–variance framework. *Desimal: Jurnal Matematika*, 8(2), 237–246. <https://doi.org/10.24042/nxebn152>
- Rafulta, E., Yanuar, F., Devianto, D., & Maiyastri. (2025). Pemodelan dan peramalan volatilitas memori panjang pada return saham ANTM: Studi komparatif model GARCH dan FIGARCH. *Lattice Journal*, 5(1), 75–89. <http://dx.doi.org/10.30983/lattice.v5i1.9525>
- Raissa, Z. (2025). A comparative analysis of financial performance forecasting models: ARIMA, ARIMA-GARCH & LSTM in Indonesian banking stocks. *Jurnal Ilmiah Manajemen Bisnis dan Inovasi*, 12(1), 328–340. <https://doi.org/10.35794/jmbi.v12i1.61515>
- Riski, T. R., & Sulistianingsih, H. (2024). Portofolio saham optimal dengan model Markowitz pada saham perbankan yang terdaftar di LQ45 tahun 2023. *Jurnal Ekonomika dan Bisnis (JEBS)*, 4(4), 606–618. <https://doi.org/10.47233/jebbs.v4i4.1926>
- Sahid, I. H., & Budi, I. (2024). Leveraging LSTM predictions for enhanced portfolio allocation with Markowitz mean–variance optimization. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(6), 9423–9432. <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i6.4573>
- Saputra, M. P. A., Setyawan, D. P., & Wahid, A. J. (2025). Indonesian banking stock portfolio optimization based on Ridge Regression prediction. *International Journal of Business, Economics and Social Development*, 6(2), 330–337. <https://doi.org/10.46336/ijbesd.v6i2.1064>
- Xu, K., Wu, Y., Jiang, M., Sun, W., & Yang, Z. (2024). Hybrid LSTM-GARCH framework for financial market volatility risk prediction. *Journal of Computer Science and Software Applications*, 4(5), 22–29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13643010>