

Strategi Optimasi Portofolio Saham Sektoral Berbasis Spillover dan Hedging Terintegrasi Menggunakan Pendekatan Mean-Value-at-Risk

Rizki Apriva Hidayana^{1*}, Sukono², Herlina Napitupulu³, & Di Asih I Maruddani⁴

¹ Doctoral Program in Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363

^{2,3} Department of Mathematics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363

⁴ Department of Statistics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang 50275

INFO ARTICLES

Key Words:

Portfolio Optimization, Mean-Value-at-Risk, Volatility Spillover, Hedging Strategy, Sharpe Ratio



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstract: The optimization model plays a crucial role in constructing sectoral stock portfolios with the objective of maximizing returns while minimizing investment risk. Asset correlations, often overlooked, can significantly influence the effectiveness of diversification. Therefore, spillover volatility analysis is used to assess inter-sector relationships and their impact on portfolio risk. This study aims to develop a portfolio model using the Mean-Value-at-Risk (Mean-VaR) approach combined with a hedging strategy tailored to the investor's risk tolerance. Sectoral correlations are measured through spillover analysis based on Granger causality. Stock selection is based on the ratio of average return to risk, focusing on stocks with high returns and low risk. The model is implemented using sectoral stocks from the Indonesian capital market, with performance evaluated through the Sharpe ratio. The expected outcome is an optimal portfolio weight vector and an efficient capital allocation strategy that incorporates spillover effects and hedging strategies.

Abstrak: Model optimisasi berperan penting dalam pembentukan portofolio saham sektoral dengan tujuan memaksimalkan return dan meminimalkan risiko. Korelasi antar aset, yang sering diabaikan, dapat memengaruhi efektivitas diversifikasi. Oleh karena itu, analisis volatilitas spillover digunakan untuk mengukur hubungan antar sektor dan dampaknya terhadap risiko portofolio. Penelitian ini bertujuan membangun model portofolio dengan pendekatan Mean-Value-at-Risk (Mean-VaR) serta strategi hedging yang disesuaikan dengan toleransi risiko investor. Korelasi antar sektor diukur menggunakan analisis spillover berbasis kausalitas Granger. Pemilihan saham didasarkan pada rasio antara rata-rata return terhadap risiko, dengan fokus pada saham berisiko rendah dan return tinggi. Model ini diimplementasikan pada saham sektoral di pasar modal Indonesia menggunakan Python, dan kinerjanya dinilai melalui Sharpe ratio. Hasil akhir berupa vektor bobot portofolio optimal dan strategi alokasi modal efisien yang mempertimbangkan dampak spillover dan strategi lindung nilai (hedging).

Correspondence Address: Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363; e-mail: rizki20011@mail.unpad.ac.id

How to Cite (APA 6th Style): Hidayana, R. A., Sukono, Napitulu, H., & Maruddani, D. A. I. (2025). Strategi Optimasi Portofolio Saham Sektoral Berbasis Spillover dan Hedging Terintegrasi Menggunakan Pendekatan Mean-Value-at-Risk. *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*, 517-530.

Copyright: Rizki Apriva Hidayana, Sukono, Herlina Napitupulu, & Di Asih I Maruddani, (2025)

PENDAHULUAN

Optimalisasi portofolio dalam matematika keuangan mencakup berbagai metodologi yang bertujuan memaksimalkan pengembalian sambil meminimalkan risiko, yang mencerminkan kompleksitas pasar keuangan. Kemajuan terbaru termasuk integrasi interval prediksi konformal dengan optimasi varians rata-rata tradisional, meningkatkan ketahanan terhadap ketidakpastian prediksi (Alonso, 2025). Pendekatan hibrida yang menggabungkan jaringan saraf dalam dan metode statistik juga telah muncul, memanfaatkan bank solusi dan teknik kecerdasan kawanan evolusioner untuk mengoptimalkan bobot aset secara efektif (Niteshbhai et al., 2024). Selain itu, metode pembelajaran mesin yang dipasangkan dengan simulasi Monte Carlo telah menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan, dengan strategi seperti memaksimalkan rasio Sharpe yang menghasilkan pengembalian yang melampaui indeks pasar (Hu, 2024). Selain itu, model optimisasi digunakan untuk mengambil keputusan yang tepat dalam alokasi dan pengelolaan sumber daya finansial dengan cara yang paling efisien. Model optimisasi berperan penting dalam pengambilan keputusan yang akurat terkait alokasi dan pengelolaan sumber daya finansial. Penerapan metode optimisasi portofolio investasi, perusahaan atau organisasi dapat menentukan cara paling efisien untuk menggunakan dana yang tersedia, sehingga dapat memaksimalkan keuntungan, mengurangi biaya, dan mengoptimalkan penggunaan aset secara keseluruhan (Diwekar, 2020). Proses model optimisasi melibatkan analisis data serta pemodelan matematis untuk mengidentifikasi pilihan terbaik dalam berbagai skenario, sehingga memastikan penggunaan sumber daya yang optimal dan pengambilan keputusan yang lebih terinformasi (Erceg & Mularifović, 2019). Tujuan utama dari model optimisasi adalah untuk memaksimalkan atau meminimumkan fungsi objektif, seperti keuntungan, pendapatan, dengan mematuhi sejumlah batasan yang diberikan. Model optimisasi sangat penting digunakan karena dapat meningkatkan *return* dalam pengambilan keputusan yang memerlukan analisis data (Vercellis, 2011). Model optimisasi portofolio investasi dapat membantu alokasi portofolio investasi, manajemen risiko, dan pengambilan keputusan finansial lainnya.

Investasi merupakan proses pengalokasian dana atau sumber daya ke dalam suatu usaha atau aset dengan tujuan memperoleh keuntungan finansial di masa yang akan datang. Hal ini tercermin dari besarnya return yang diperoleh dari saham, di mana keuntungan tersebut bisa datang dalam bentuk dividen atau apresiasi nilai saham seiring waktu (Roy & Gupta, 2020). Dalam lingkungan pasar keuangan yang dinamis dan seringkali tidak stabil, investasi dalam saham menjadi semakin menarik bagi para investor. Berinvestasi pada saham melibatkan risiko karena return saham dapat mengalami fluktuasi yang signifikan dari waktu ke waktu. Fluktuasi ini mencerminkan volatilitas pasar dan potensi perubahan nilai investasi secara cepat. Salah satu strategi yang populer dalam investasi adalah membangun portofolio yang optimal. Membangun portofolio yang optimal merupakan hal yang penting karena beberapa alasan yaitu meningkatkan return, mengurangi risiko, dan mencapai tujuan keuangan (Mendonça et al., 2020). Portofolio investasi dapat mencakup berbagai instrumen keuangan seperti obligasi, reksa dana, saham, serta properti. Diversifikasi portofolio dengan berbagai jenis aset ini dapat membantu mengurangi risiko investasi secara keseluruhan dan meningkatkan potensi return yang dapat diperoleh (Abuselidze & Slobodanyk, 2019). Strategi investasi saham sektoral telah menjadi terkenal karena kemampuannya untuk meningkatkan kinerja portofolio dengan berfokus pada sektor industri tertentu. Penelitian menunjukkan bahwa portofolio sektoral, seperti yang dibangun untuk Bursa Efek Johannesburg, dapat dioptimalkan menggunakan berbagai rasio keuangan dan metrik kinerja, termasuk rasio Sharpe dan Sortino, untuk memandu investor dalam memilih sektor berdasarkan karakteristik risiko dan pengembalian (Zourmba et al., 2024) (Dhingra et al., 2021). Selain itu, memahami kinerja sektor dalam kondisi pasar yang berbeda sangat penting; misalnya, sektor-sektor seperti utilitas dan bahan pokok konsumen cenderung berkinerja baik selama resesi, sementara perilaku mereka dapat bervariasi secara signifikan selama periode inflasi (Ahlawat, 2024). Analisis komparatif menunjukkan bahwa segmentasi sektoral sering menghasilkan hasil investasi yang lebih baik daripada segmentasi geografis, karena indeks sektor biasanya menunjukkan koherensi dan diferensiasi internal yang lebih besar (Basile et al., 2019). Selain itu, studi empiris pasar saham AS

mengungkapkan bahwa sebagian besar sektor mengungguli pengembalian yang diharapkan, memberikan wawasan berharga bagi manajer portofolio yang bertujuan untuk mengoptimalkan risiko dan profil pengembali (Cebrián et al., 2016).

Efek limpahan di pasar keuangan mengacu pada transmisi volatilitas dan risiko di berbagai kelas aset dan wilayah geografis, yang secara signifikan dipengaruhi oleh peristiwa global dan dinamika pasar. Penelitian menunjukkan bahwa limpahan volatilitas sangat jelas antara pasar utama, seperti AS dan China, di mana internasionalisasi RMB telah meningkatkan pengaruh China pada USD, terutama setelah perang dagang. Contagion Effect merupakan suatu fenomena yang terjadi ketika salah satu objek mempengaruhi objek lainnya (Narani & Rikumahu, 2019). Interaksi antar aset portofolio investasi dapat membantu investor dalam mengelola risiko portofolio secara lebih efektif, karena dapat mengidentifikasi aset-aset yang memiliki korelasi tinggi dan mengurangi risiko yang tidak diinginkan (Lin et al., 2014). Selama krisis, seperti pandemi COVID-19 dan perang Rusia-Ukraina, pasar Eropa dan AS menunjukkan efek limpahan dominan di pasar saham lainnya, menyoroti keterkaitan sistem keuangan global (Balci, 2024). Selain itu, cryptocurrency telah muncul sebagai sumber baru risiko sistemik, menunjukkan efek limpahan yang signifikan dengan pasar keuangan tradisional, yang mempersulit strategi manajemen risiko (Pacelli et al., 2024). Selain itu, indikator ekonomi seperti VIX telah terbukti mempengaruhi dinamika pasar, terutama selama krisis keuangan, menekankan perlunya praktik manajemen risiko yang kuat untuk mengurangi efek limpahan ini (Xu, 2024) (Sari et al., 2024).

Strategi lindung nilai terpadu sangat penting untuk mengelola risiko keuangan di berbagai konteks, sebagaimana dibuktikan oleh beberapa penelitian. Penelitian Liu menyoroti efektivitas lindung nilai dinamis, Value at Risk (VaR), dan pendekatan pembelajaran mesin di pasar opsi 50ETF China, mencatat bahwa meskipun lindung nilai dinamis hemat biaya di pasar yang stabil, namun goyah selama volatilitas (Liu, 2024). Angellita dkk. menekankan praktik lindung nilai proaktif PT Surya Semesta Internusa Tbk, yang menggunakan futures, option, dan swap untuk mengurangi risiko dari fluktuasi harga komoditas dan eksposur mata uang, menggarisbawahi pentingnya kebijakan terstruktur dan tim terampil dalam implementasi yang efektif (Angellita et al., 2023).

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model optimisasi portofolio investasi yang lebih komprehensif dengan memadukan pendekatan Mean-VaR dan strategi hedging, serta mempertimbangkan pengaruh volatilitas spillover antar saham sektoral. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model optimisasi portofolio investasi Mean-VaR yang mempertimbangkan strategi hedging guna meminimalkan risiko dan memaksimalkan return. Proses penelitian meliputi pemilihan saham-saham sektoral yang akan dianalisis, penentuan korelasi antar saham sektoral dengan volatilitas spillover menggunakan metode kausalitas Granger, dan optimisasi portofolio investasi model Mean-VaR pada data saham sektoral di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efektif dalam pengelolaan portofolio investasi di pasar saham Indonesia.

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi penting dalam bidang keuangan dan manajemen portofolio. Pertama, penelitian ini mengembangkan model optimisasi portofolio yang menggabungkan pendekatan Mean-VaR dengan strategi hedging, sehingga dapat membantu investor dalam mengelola risiko dan return secara lebih optimal. Kedua, dengan mempertimbangkan volatilitas spillover menggunakan metode kausalitas Granger, penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika korelasi antar saham sektoral, yang dapat digunakan untuk memprediksi pergerakan pasar. Ketiga, penelitian ini memberikan aplikasi praktis melalui analisis data saham sektoral di Indonesia, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan bagi investor domestik dalam pengambilan keputusan investasi. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur keuangan dan memberikan solusi inovatif dalam manajemen portofolio investasi.

METODE

2.1. Himpunan Konveks dan Fungsi Konveks

Definisi 1 (Rao, 2020). *Himpunan konveks merupakan kumpulan titik yang mana jika \mathbf{x}_1 dan \mathbf{x}_2 adalah dua titik dalam himpunan tersebut, maka ruas garis yang menghubungkan keduanya juga termasuk dalam himpunan tersebut. Secara matematis, sebuah himpunan S disebut konveks jika $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \in S$, maka $\mathbf{x} \in S$ dimana*

$$\mathbf{x} = \lambda \mathbf{x}_1 + (1 - \lambda) \mathbf{x}_2, 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (1)$$

Konveksitas adalah sifat suatu himpunan yang memastikan bahwa garis yang menghubungkan dua titik di dalamnya tetap berada dalam himpunan tersebut. Selain itu, jika beberapa himpunan konveks saling dipotong (diiris), hasil irisan tersebut juga tetap konveks. Artinya, sifat konveks tetap berlaku meskipun himpunan-himpunan tersebut digabung melalui irisan. Hubungan ini dijelaskan dalam Teorema 2.

Teorema 2 (Rao, 2020). *Irisan dari beberapa himpunan konveks juga merupakan himpunan konveks.*

2.2. Return portofolio beserta ekspektasi dan variansnya

Rumus *return* portofolio r_{pt} pada waktu t , dapat ditentukan seperti persamaan (2) dan persamaan (3).

$$r_{pt} = \sum_{i=1}^N w_i r_{it} \quad (2)$$

dengan

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad (3)$$

dimana T adalah periode waktu observasi data, r_{it} adalah *return* dari setiap aset i pada waktu t , w_i adalah bobot dana yang dialokasikan pada aset i .

Persamaan (2) juga dapat dipresentasikan dalam vektor seperti persamaan (4) dan persamaan (5).

$$r_{pt} = \mathbf{w}^T \mathbf{r} \quad (4)$$

dengan

$$\mathbf{e}^T \mathbf{w} = 1 \quad (5)$$

dimana $\mathbf{w}^T = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N)$: *transpose* vektor bobot, $\mathbf{r}^T = (r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N)$ merupakan *transpose* vektor *return* aset, $\mathbf{e}^T = (1 \ 1 \ \dots \ 1)$ merupakan *transpose* vektor unsurnya angka satu sebanyak N . Diketahui $\mathbf{e}^T \mathbf{w} = \mathbf{w}^T \mathbf{e} = 1$ dengan berdasarkan persamaan (2), μ_{pt} dapat dihitung menggunakan persamaan seperti persamaan (6).

$$\mu_{pt} = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} \quad (6)$$

dengan $\mu_{it} = E(r_{it})$ adalah rata-rata *return* saham i pada waktu t , $\boldsymbol{\mu}^T = (\mu_{1t} \ \mu_{2t} \ \dots \ \mu_{Nt})$ adalah *transpose* vektor *return* aset i , $\mu_{pt} = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu}^T \mathbf{w}$ adalah rata-rata *return* portofolio.

Variansi *return* portofolio σ_{pt}^2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

$$\begin{aligned} \sigma_{pt}^2 &= E[(r_{pt} - \mu_{pt})^2] \\ &= \sum_{i=1}^N w_i^2 \sigma_{it}^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} \sigma_{it} \sigma_{jt} \end{aligned} \quad (7)$$

dengan syarat $i, j = 1, \dots, N$ dan $i \neq j$, $\sigma_{it}^2 = \text{Var}(r_{it})$ adalah variansi aset i , ρ_{ij} adalah koefisien korelasi antara aset i dan aset j .

Sehingga, kovariansi antara aset i dan aset j , $\sigma_{ij} = Cov(r_{it}, r_{jt})$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8).

$$\sigma_{ij} = E[(r_{it} - \mu_{it})(r_{jt} - \mu_{jt})] = \rho_{ij}\sigma_{it}\sigma_{jt}; i \neq j, \quad (8)$$

dengan σ_{it} merupakan deviasi standar aset i pada waktu t , σ_{jt} merupakan deviasi standar aset j pada waktu t .

Misalkan tersedia matriks kovariansi Σ :

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2N} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \dots & \sigma_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \sigma_{N3} & \dots & \sigma_{NN} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

di mana $\sigma_{ii} = \sigma_i^2$ dengan $i = 1, \dots, N$. Variansi portofolio σ_{pt}^2 dapat dinyatakan dengan perkalian seperti persamaan (10).

$$\sigma_{pt}^2 = \mathbf{w}^T \Sigma \mathbf{w}, \quad (10)$$

(Gaivoronski & Pflug, 2005).

2.3. Model Portofolio Mean VaR

Optimisasi portofolio *Mean-Value-at-Risk* dengan mempertimbangkan toleransi risiko dirumuskan sebagai persamaan (11).

$$\begin{aligned} \max \tau \mu_p + VaR_p(\alpha) &= \max 2\tau \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} - \left\{ \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} + z_\alpha (\mathbf{w}^T \Sigma \mathbf{w})^{\frac{1}{2}} \right\} \\ &= \max (2\tau - 1) \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} - z_\alpha (\mathbf{w}^T \Sigma \mathbf{w})^{\frac{1}{2}}, \\ s. t \mathbf{e}^T \mathbf{w} &= 1, \mathbf{w} \geq 0. \end{aligned} \quad (11)$$

2.4. Volatilitas Spillover menggunakan Metode Kausalitas Granger

Metode kausalitas *granger* mengasumsikan bahwa informasi yang relevan dengan prediksi masing-masing variabel yang terkandung dalam data deret waktu variabel-variabel tersebut. Uji ini diformulasikan dalam bentuk regresi yang terdapat pada persamaan berikut (Gujarati, 1995):

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{i=1}^m \alpha_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j Y_{t-j} + \varepsilon_{1t} \\ Y_t &= \sum_{i=1}^r \gamma_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^s \phi_j X_{t-j} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad (12)$$

dimana X_t dan Y_t adalah Variabel yang dianalisis, α_i dan β_j adalah Koefisien regresi untuk variabel X yang dipengaruhi oleh variabel X sendiri dan variabel Y , γ_i dan ϕ_j adalah Koefisien regresi untuk variabel Y yang dipengaruhi oleh variabel Y sendiri dan variabel X , ε_{1t} dan ε_{2t} adalah *error* yang tidak berkorelasi, m dan n adalah Jumlah *lag* yang digunakan dalam model.

HASIL

3.1. Model Optimisasi Portofolio Investasi Mean-VaR dengan Mempertimbangkan Strategi Hedging

Dalam manajemen portofolio investasi, tujuan utama adalah mengoptimalkan return (imbal hasil) portofolio dengan memperhitungkan risiko yang melekat pada aset. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah optimisasi Mean-Value-at-Risk (VaR), di mana VaR digunakan sebagai indikator utama untuk mengukur risiko kerugian maksimum pada tingkat kepercayaan tertentu. Strategi hedging diterapkan untuk memitigasi risiko dengan cara membatasi nilai VaR yang diperbolehkan dalam alokasi dana.

Masalah ini membutuhkan formulasi model optimisasi untuk menentukan bobot alokasi saham yang optimal dalam portofolio, sehingga dapat dicapai return maksimum dengan risiko yang terkendali.

Model Optimisasi Lengkap

$$\max \left[2\tau \sum_{i=1}^N w_i \mu_i - \left\{ \sum_{i=1}^N w_i \mu_i z_\alpha \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \right]$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1 \tag{24}$$

$$\sum_{i=1}^N w_i \mu_i + z_\alpha \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij} \right)^{\frac{1}{2}} \leq q$$

$$w_i \leq \sum_{j=1}^N c_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2, 3, \dots, N$$

Model Optimisasi Lengkap dalam notasi matriks dan vektor:

$$\max \left[2\tau \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} - \left\{ \mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} + z_\alpha (\mathbf{w}^T \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{w})^{\frac{1}{2}} \right\} \right]$$

subject to:

$$\mathbf{e}^T \mathbf{w} = 1 \tag{25}$$

$$\mathbf{w}^T \boldsymbol{\mu} + z_\alpha (\mathbf{w}^T \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{w})^{\frac{1}{2}} \leq q$$

$$\mathbf{w} = \mathbf{C} \mathbf{e}$$

$$\mathbf{w} \leq \mathbf{e}$$

$$\mathbf{w} \geq \mathbf{0}$$

3.2. Data preparations: Analisis Spillover Menggunakan Kausalitas Granger pada Sektor Saham

Bagian ini membahas saham sektoral dan analisis spillover menggunakan kausalitas granger. Saham sektoral tersebut dipilih berdasarkan performa terbaik selama periode penelitian. Selain itu, analisis spillover digunakan untuk melihat sektor mana yang dapat mempengaruhi sektor lainnya dengan menggunakan kausalitas granger.

Dalam penelitian ini, data harga saham sektoral yang digunakan adalah harga penutupan saham yang diperdagangkan di Bursa Efek Indonesia (BEI). Data harga penutupan saham tersebut diperoleh melalui website <http://finance.yahoo.com>. Harga penutupan diambil sebagai acuan karena mencerminkan nilai saham pada akhir setiap hari perdagangan. Nilai ini dipilih karena dianggap stabil dan memberikan gambaran yang lebih akurat dibandingkan harga pada waktu lain dalam satu hari perdagangan, yang bisa mengalami fluktuasi sementara. Saham sektoral tersebut digunakan untuk analisis spillover menggunakan kausalitas granger. Saham sektoral yang akan dilakukan analisis spillover yaitu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Saham Sektoral di Indonesia

No	Nama Sektoral
1	Barang Baku
2	Barang Konsumen Non Primer
3	Barang Konsumen Primer
4	Energi
5	Keuangan

6	Industri
7	Kesehatan
8	Transportasi
9	Teknologi

Tabel 1 menunjukkan nama sektor apa saja yang digunakan pada penelitian ini. Terdapat 9 sektoral saham yang ada di Indonesia diantaranya sektor barang baku, sektor barang konsumen non primer, sektor barang konsumen primer, sektor energi, sektor keuangan, sektor industri, sektor kesehatan, sektor transportasi, dan sektor teknologi.

Pada tahap ini dilakukan analisis spillover pada data return 9 sektor saham. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh suatu sektor terhadap sektor lainnya. Analisis spillover tersebut dilakukan dengan menggunakan kausalitas granger yang merujuk pada Subbab (2.4) dan dibantu oleh Python dengan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai p-value dari analisis kausalitas granger

	Barang Baku	Non Primer	Primer	Energi	Keuangan	Industri	Kesehatan	Transportasi	Teknologi
Barang Baku		0.0702	0.0042	0.1532	0.0191	0.5055	0.4959	0.0485	0.1758
Non Primer	0.0571		0.0007	0.0007	0.4331	0.1198	0.0934	0.6773	0.0037
Primer	0.3828	0.2984		0.5265	0.0593	0.0017	0.0378	0.0497	0.0867
Energi	0.6554	0.3991	0.2486		0.4577	0.0796	0.0229	0.0144	0.0432
Keuangan	0.1265	0.2927	0.0029	0.0236		0.1585	0.2177	0.0749	0.0292
Industri	0.0609	0.1625	0.0009	0.6479	0.0440		0.0579	0.0037	0.0120
Kesehatan	0.1064	0.2644	0.0014	0.0081	0.0614	0.0810		0.1092	0.0061
Transportasi	0.0160	0.6952	0.0484	0.1916	0.1616	0.1205	0.6663		0.7448
Teknologi	0.1478	0.0545	0.7021	0.0518	0.7655	0.0089	0.6798	0.4016	

Berdasarkan Tabel 2 terdapat matriks nilai p-value yang digunakan untuk mengetahui menentukan spillover. Jika nilai p-value kurang dari 0.05, maka terdapat spillover antar sektor. Namun spillover memiliki tiga kriteria yaitu jika terdapat spillover dua arah maka bernilai 1, jika tidak terdapat spillover maka bernilai 0, jika terdapat spillover satu arah maka bernilai -1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan keterangannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai spillover setiap sektor

	Barang Baku	Non Primer	Primer	Energi	Keuangan	Industri	Kesehatan	Transportasi	Teknologi
Barang Baku	0	0	-1	0	-1	0	0	1	0
Non Primer	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-1
Primer	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Energi	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1
Keuangan	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-1
Industri	0	0	1	0	-1	0	0	-1	1
Kesehatan	0	0	1	1	0	0	0	0	-1
Transportasi	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Teknologi	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Tabel 4. Analisis Spillover

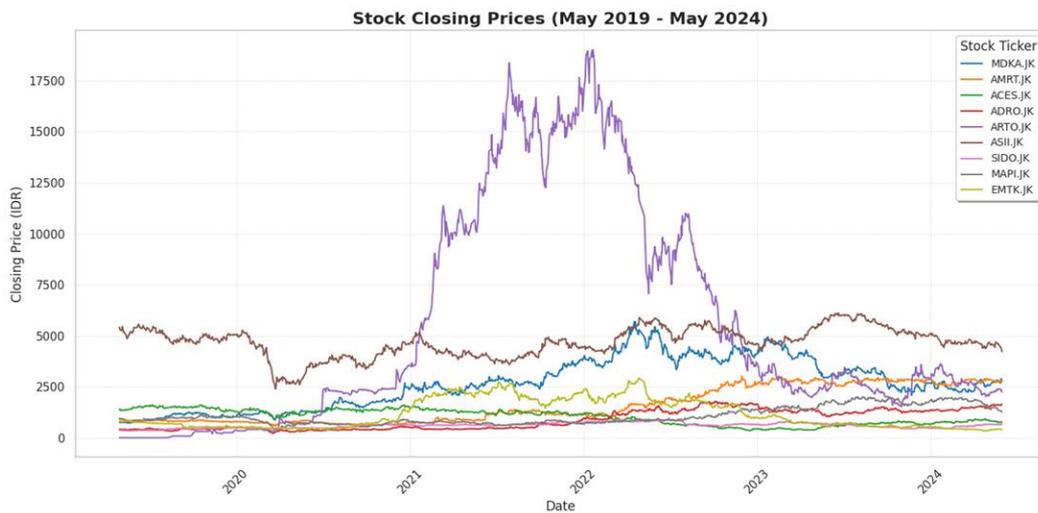
No	Nama Sektoral	Spillover
1	Barang Baku	Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor perimer dan keuangan.
2	Barang Konsumen Non Primer	Terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor transportasi Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor primer, energi, dan teknologi
3	Barang Konsumen Primer	Terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor industri, kesehatan dan transportasi
4	Energi	Tidak terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor kesehatan. Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor trnasportasi dan teknologi
5	Keuangan	Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor primer, energi, dan teknologi
6	Industri	Terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor primer dan teknologi Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor keuangan dan transportasi
7	Kesehatan	Terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor primer dan energi Terdapat <i>spillover</i> satu arah pada sektor teknologi
8	Transportasi	Tidak terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor barang baku dan primer
9	Teknologi	Tidak terdapat <i>spillover</i> dua arah pada sektor industri

Tabel 3 menjelaskan bahwa semua sektor memiliki *spillover*. Namun yang membedakan yaitu terdapat *spillover* satu arah, dua arah, dan tidak ada *spillover*. Saham-saham sektoral yang memiliki *spillover* satu arah, tidak memiliki *spillover*, ataupun *spillover* dua arah, dilanjutkan dengan pemilihan saham berdasarkan masing-masing sektor menurut indeks LQ45. Indeks LQ45 mencakup 45 saham dengan likuiditas tinggi serta kapitalisasi pasar besar. LQ45 dipilih karena mewakili saham-saham unggulan yang sering diperdagangkan dan memiliki pengaruh signifikan terhadap pasar. Saham-saham tersebut dianggap mampu memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pergerakan pasar secara umum dan sektoral, sehingga relevan untuk digunakan dalam analisis volatilitas *spillover* dan studi portofolio. Daftar nama saham yang digunakan untuk analisis selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Saham terpilih dari indeks LQ45 berdasarkan sektor yang terdapat *spillover*

No.	Sektor	Saham	Nama Saham Terbaik LQ45
1	Barang Baku	MDKA	Merdeka Copper Gold Tbk
2	Non-Primer	AMRT	Sumber Alfaria Trijaya Tbk
3	Primer	ACES	PT Aspirasi Hidup Indonesia Tbk
4	Energi	ADRO	PT Alamtri Resources Indonesia Tbk
5	Keuangan	ARTO	Bank Jago Tbk
6	Industri	ASII	Astra International Tbk
7	Kesehatan	SIDO	Industri Jamu dan Farmasi Sido Muncul Tbk
8	Transportasi	MAPI	PT Mitra Adiperkasa Tbk
9	Teknologi	EMTK	PT Elang Mahkota Teknologi Tbk

Tabel 5 merupakan daftar harga saham yang dianalisis berdasarkan sektor yang ada di Indonesia. Saham-saham tersebut dipilih berdasarkan rasio sharpe tertinggi. Selanjutnya disertakan pergerakan harga penutupan saham harian yang dimulai dari bulan Mei 2019 hingga Mei 2024. Pada grafik tersebut, sumbu x (x-axis) merepresentasikan harga saham, sedangkan sumbu y (y-axis) menampilkan tanggal yang telah ditentukan. Grafik untuk semua saham dapat dilihat pada Gambar 1.

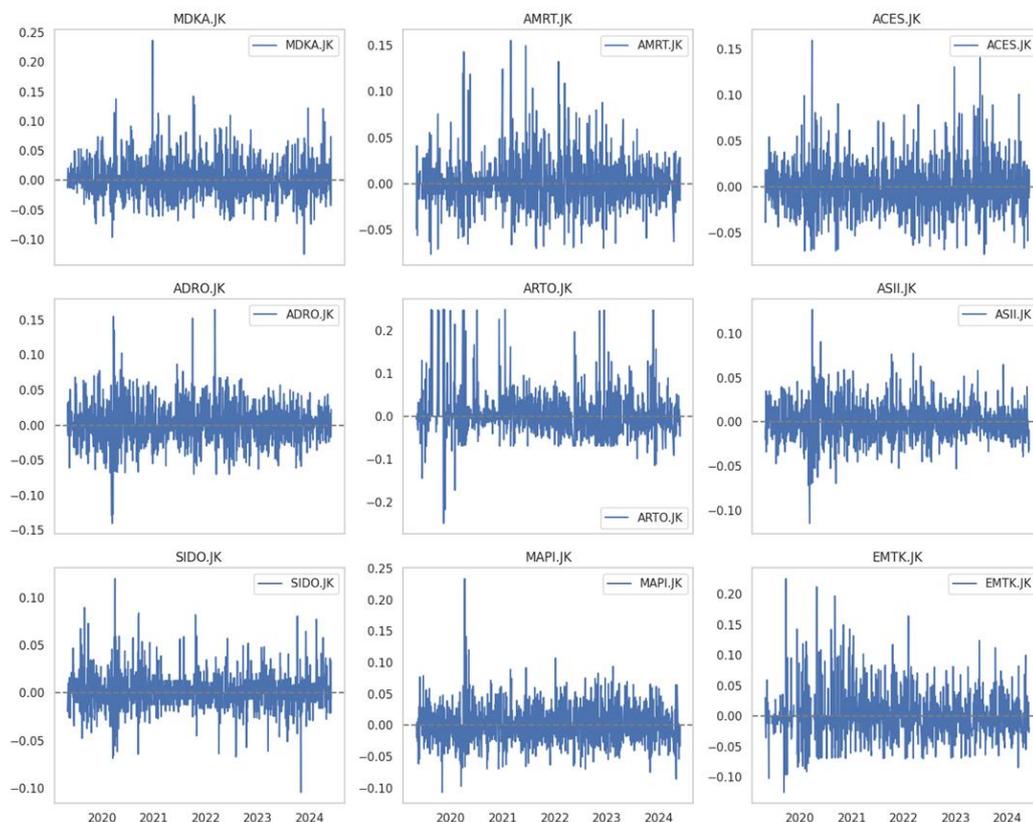


Gambar 1. Pergerakan harga penutupan saham

Berdasarkan grafik harga penutupan saham yang terdapat pada Gambar 1 terlihat bahwa pergerakan harga penutupan saham memiliki trend yang berbeda. Adapun karakteristik harga penutupan saham yang dianalisis sangat berfluktuatif naik/turun. Selanjutnya perwakilan saham sektoral tersebut dilakukan perhitungan return saham.

Perhitungan return dari saham-saham sektoral bertujuan untuk melihat pergerakan return saham serta untuk melakukan analisis data dalam model optimisasi. Setelah perhitungan return saham, selanjutnya dilakukan pembuatan grafik pergerakan return saham.

Daily Stock Returns (May 2019 - May 2024)



Gambar 2. Pergerakan harga return saham

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa data return dari berbagai saham sangat fluktuatif serta membentuk cluster dimana terdapat cluster yang relatif tinggi maupun cluster yang relatif rendah.

Selanjutnya statistika deskriptif return dari berbagai saham sektoral dengan banyaknya data yaitu 1217, di rangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Statistika Deskriptif

Nama Saham	Rata-Rata (%)	Standar Deviasi (%)	Varians (%)	Nilai Maksimum (%)	Nilai Minimum (%)
MDKA	0.15	3.04	0.09	23.66	-12.50
AMRT	0.12	2.52	0.06	15.52	-07.33
ACES	-0.02	2.64	0.07	15.91	-07.33
ADRO	0.11	2.87	0.08	16.48	-13.99
ARTO	0.54	5.66	0.32	25.00	-25.00
ASII	0.04	2.07	0.04	15.04	-11.27
SIDO	0.05	1.91	0.04	11.96	-10.43
MAPI	0.08	2.91	0.08	23.36	-10.71
EMTK	0.01	3.62	0.13	22.56	-12.50

Return saham diasumsikan memiliki rata-rata dan volatilitas tak konstan. Menggunakan estimator rata-rata yang terdapat pada Tabel 6 disusun dalam bentuk vector

$$\boldsymbol{\mu}^T = (0.15 \ 0.12 \ -0.02 \ 0.11 \ 0.54 \ 0.04 \ 0.05 \ 0.08 \ 0.01).$$

Terdapat sembilan saham yang dianalisis sehingga dibentuk vektor satuan

$$\mathbf{e}^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1).$$

Perhitungan kovariansi antar saham satu hingga saham sembilan dibentuk matriks kovariansi berikut.

$$\boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} 0.0927 & 0.0071 & 0.0060 & 0.0209 & 0.0163 & -0.0020 & 0.0046 & 0.0085 & 0.0096 \\ 0.0071 & 0.0634 & 0.0039 & 0.0057 & 0.0072 & -0.0008 & 0.0060 & 0.0091 & 0.0063 \\ 0.0060 & 0.0039 & 0.0697 & 0.0098 & 0.0054 & -0.0016 & 0.0071 & 0.0162 & 0.0087 \\ 0.0209 & 0.0057 & 0.0098 & 0.0824 & 0.0055 & -0.0030 & 0.0078 & 0.0107 & 0.0059 \\ 0.0163 & 0.0072 & 0.0054 & 0.0055 & 0.3200 & -0.0007 & 0.0100 & 0.0004 & 0.0239 \\ -0.0020 & -0.0008 & -0.0016 & -0.0030 & -0.0007 & 0.0430 & 0.0003 & -0.0017 & -0.0014 \\ 0.0046 & 0.0060 & 0.0071 & 0.0078 & 0.0100 & 0.0003 & 0.0367 & 0.0074 & 0.0021 \\ 0.0085 & 0.0091 & 0.0162 & 0.0107 & 0.0004 & -0.0017 & 0.0074 & 0.0846 & 0.0036 \\ 0.0096 & 0.0063 & 0.0087 & 0.0059 & 0.0239 & -0.0014 & 0.0021 & 0.0036 & 0.1312 \end{bmatrix}$$

Perhitungan portofolio efisiensi dilakukan berdasarkan model optimisasi portofolio Mean-Value-at-Risk dengan volatilitas spillover dan hedging kedalam model. Tujuan model tersebut yaitu memperoleh portofolio efisien dengan cara memaksimalkan return rata-rata dan meminimumkan tingkat risiko yang diukur dengan variansi. Menggunakan vektor $\boldsymbol{\mu}^T$ dan \mathbf{e}^T serta $\boldsymbol{\Sigma}$, vektor bobot \mathbf{w} dihitung dengan menggunakan Python. Toleransi risiko τ digunakan dengan syarat $\tau \geq 0$ dalam optimisasi portofolio pada penelitian ini disimulasikan dengan mengambil beberapa nilai yang memenuhi syarat $\mathbf{e}^T \mathbf{w} = 1$. Tabel 7 adalah perhitungan bobot optimal dari masing-masing saham dengan menggunakan syarat $\tau \geq 0$.

Tabel 7. Bobot optimal yang terdapat pada setiap saham

No	tau	MDKA	AMRT	ACES	ADRO	ARTO	ASII	SIDO	MAPI	EMTK
1	0	0.0200	0.0717	0.1728	0.0466	0.0000	0.3033	0.2468	0.0521	0.0868
2	0.1	0.0308	0.0827	0.1570	0.0524	0.0000	0.2983	0.2417	0.0554	0.0817
3	0.2	0.0413	0.0932	0.1417	0.0581	0.0000	0.2934	0.2371	0.0587	0.0766
4	0.3	0.0514	0.1034	0.1269	0.0635	0.0000	0.2886	0.2324	0.0619	0.0718
5	0.4	0.0613	0.1135	0.1124	0.0689	0.0000	0.2840	0.2279	0.0650	0.0671
6	0.5	0.0685	0.1219	0.0968	0.0736	0.0153	0.2776	0.2183	0.0684	0.0595
7	0.6	0.0753	0.1300	0.0813	0.0786	0.0319	0.2712	0.2082	0.0718	0.0517
8	0.7	0.0825	0.1385	0.0653	0.0836	0.0490	0.2645	0.1977	0.0753	0.0435
9	0.8	0.0901	0.1476	0.0481	0.0890	0.0674	0.2574	0.1866	0.0790	0.0349

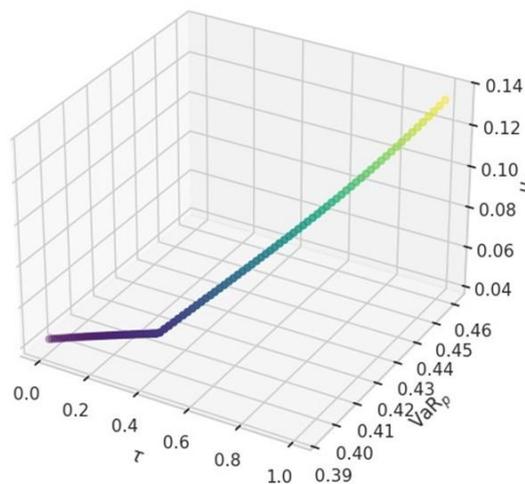
10	0.9	0.0986	0.1577	0.0289	0.0950	0.0878	0.2494	0.1741	0.0833	0.0252
11	1	0.1086	0.1696	0.0064	0.1020	0.1118	0.2400	0.1595	0.0882	0.0138

Misalkan diambil nilai $\tau = 1$ untuk melihat bobot optimal yang diperoleh pada seluruh saham yang dianalisis. Sehingga diperoleh alokasi dana investasi optimal dan ekspektasi return hasil investasi seperti yang terdapat pada Tabel 8.

Tabel 9. Hasil alokasi dana investasi optimal dan ekspektasi return berdasarkan nilai bobot dengan $\tau = 1$

No.	Sektor	Saham	Bobot Optimal	Alokasi Dana Investasi Optimal (%)	Ekspektasi Return Hasil Investasi (%)
1	Barang Baku	MDKA	0.1086	10.86	1.6294
2	Non-Primer	AMRT	0.1696	16.96	2.0707
3	Primer	ACES	0.0064	0.64	-0.0117
4	Energi	ADRO	0.1020	10.20	1.1260
5	Keuangan	ARTO	0.1118	11.18	6.0804
6	Industri	ASII	0.2400	24	0.9363
7	Kesehatan	SIDO	0.1595	15.95	0.7932
8	Transportasi	MAPI	0.0882	8.82	0.7130
9	Teknologi	EMTK	0.0138	1.38	0.0125
Total					13.3498

Berdasarkan Tabel 8 hasil alokasi dana investasi optimal dengan $\tau = 1$ diperoleh bahwa alokasi dana investasi optimal yang terdapat pada sektor barang baku 10.86%. Kemudian sektor non-primer 16.96%, sektor primer 0.64%, sektor energi 10.20%, sektor keuangan 11.18%, sektor industri 24%, sektor kesehatan 15.95%, sektor transportasi 8.82%, dan sektor teknologi 1.38%. Artinya setiap sektor memiliki alokasi dana investasi optimal sebesar yang terdapat pada Tabel 8.



Gambar 3. Hubungan antara μ_p , τ , dan VaR

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara μ_p (ekspektasi return portofolio), τ (parameter yang mungkin terkait dengan risiko atau strategi portofolio), dan VaR (Value at Risk) dalam bentuk plot tiga dimensi (3D). Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa seiring dengan peningkatan nilai τ ,

nilai μ_p dan Var_p juga mengalami kenaikan. Warna pada plot menunjukkan variasi nilai, di mana warna yang lebih gelap menunjukkan nilai yang lebih rendah, sedangkan warna yang lebih terang menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Interpretasi dari grafik ini mengindikasikan adanya hubungan positif antara τ , μ_p , dan Var_p . Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tingkat risiko atau ketidakpastian (τ) berkorelasi dengan peningkatan ekspektasi return portofolio dan Value at Risk. Dalam konteks manajemen portofolio, grafik ini mengimplikasikan bahwa semakin tinggi tingkat risiko yang diambil (yang diukur melalui τ), semakin besar return yang diharapkan. Namun, di sisi lain, potensi kerugian yang diwakili oleh VaR juga semakin besar. Dengan demikian, grafik ini memberikan gambaran tentang trade-off antara risiko dan return dalam pengelolaan portofolio.

PEMBAHASAN

Model optimasi yang dikembangkan menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi dalam strategi alokasi dana investasi. Keandalan tersebut tercermin dari hasil yang ditampilkan pada Tabel 9, di mana model ini menghasilkan tingkat pengembalian investasi (return) yang optimal, yaitu sebesar 13%. Nilai return yang dicapai menunjukkan bahwa pendekatan optimasi yang diterapkan mampu meningkatkan keuntungan investasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang memengaruhi kinerja portofolio secara efektif. Selain itu, model optimasi ini secara konsisten menunjukkan kinerja yang baik dalam menghasilkan total return yang relatif tinggi untuk berbagai profil risiko (τ). Hal ini dapat diamati pada Gambar 3, yang menggambarkan tren peningkatan return pada berbagai tingkat toleransi risiko investor. Konsistensi dalam perolehan return yang tinggi menunjukkan bahwa model ini dapat digunakan secara luas dalam berbagai kondisi pasar dan preferensi risiko. Kemampuan model untuk menghasilkan return yang optimal di seluruh profil risiko menunjukkan efektivitasnya dalam mengakomodasi preferensi investor, baik yang memiliki toleransi risiko rendah maupun tinggi. Oleh karena itu, model ini memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam praktik investasi guna meningkatkan efisiensi dan profitabilitas portofolio secara keseluruhan.

Secara matematis, model optimisasi portofolio investasi yang mempertimbangkan volatilitas spillover dengan strategi hedging telah dibuktikan memiliki solusi optimal global, sebagaimana tercantum dalam Teorema 3. Model ini dirancang untuk mengatasi kompleksitas dalam pengelolaan portofolio, terutama dalam situasi di mana terdapat interdependensi atau spillover volatilitas antar aset. Volatilitas spillover merujuk pada fenomena di mana fluktuasi atau ketidakstabilan harga suatu aset dapat memengaruhi volatilitas aset lainnya, baik dalam pasar yang sama maupun lintas pasar. Hal ini menciptakan tantangan tersendiri dalam mengelola risiko portofolio, terutama dalam konteks pasar keuangan yang semakin terintegrasi dan dinamis. Strategi hedging dalam model ini berfungsi sebagai mekanisme untuk mengurangi risiko yang timbul akibat volatilitas spillover. Hedging dilakukan dengan menggunakan instrumen keuangan derivatif, seperti opsi atau futures, untuk melindungi nilai portofolio dari potensi kerugian akibat pergerakan harga yang tidak menguntungkan. Menggabungkan pendekatan hedging ke dalam model optimisasi, investor tidak hanya meminimalkan risiko tetapi juga memastikan bahwa portofolio yang dibangun dapat mencapai tingkat pengembalian yang optimal. Keunggulan utama dari model ini terletak pada kemampuannya untuk menghindari solusi optimal lokal, yang sering kali menjadi masalah dalam berbagai model optimisasi konvensional. Solusi optimal lokal adalah titik di mana fungsi objektif mencapai nilai optimal dalam rentang tertentu, tetapi bukan yang terbaik secara global. Dalam konteks investasi, terjebak pada solusi optimal lokal dapat menyebabkan pembentukan portofolio yang kurang efisien, sehingga tidak mampu memaksimalkan pengembalian atau meminimalkan risiko secara optimal. Teorema 3 menjamin bahwa model ini mampu mencapai solusi optimal global, yaitu titik di mana portofolio mencapai kinerja terbaik secara keseluruhan, baik dari segi pengembalian maupun pengelolaan risiko.

Implikasi dari model ini sangat signifikan bagi praktisi investasi, terutama dalam lingkungan pasar yang penuh ketidakpastian dan risiko. Adanya solusi optimal global, investor dapat lebih percaya diri dalam mengambil keputusan investasi, karena model ini memberikan jaminan bahwa

portofolio yang dibangun telah melalui proses optimisasi yang komprehensif dan akurat. Selain itu, integrasi strategi hedging ke dalam model memastikan bahwa portofolio tetap tangguh terhadap guncangan pasar yang mungkin terjadi akibat volatilitas spillover. Secara keseluruhan, model optimisasi portofolio yang mempertimbangkan volatilitas spillover dengan strategi hedging ini tidak hanya memberikan kerangka kerja teoretis yang kuat tetapi juga memiliki aplikasi praktis yang luas. Kemampuan untuk mencapai solusi optimal global, model ini menjadi alat yang sangat berharga bagi investor yang ingin mencapai keseimbangan optimal antara risiko dan pengembalian dalam portofolio investasi.

SIMPULAN

Proses optimisasi portofolio dilakukan dengan memaksimalkan fungsi objektif yang mempertimbangkan return portofolio dan VaR, sambil memenuhi berbagai kendala seperti batasan alokasi dana, batasan risiko, dan preferensi investor terhadap risiko. Hasil optimisasi menunjukkan bahwa model ini mampu menghasilkan bobot alokasi dana yang optimal untuk setiap saham sektoral, dengan mempertimbangkan preferensi risiko investor. Semakin tinggi nilai τ (toleransi risiko), semakin besar alokasi dana pada saham-saham dengan return tinggi namun berisiko, dan sebaliknya.

Berdasarkan hasil numerik, model ini menghasilkan portofolio dengan tingkat pengembalian (return) yang optimal, yaitu sebesar 13% untuk $\tau = 1$. Hal ini menunjukkan bahwa model optimisasi yang dikembangkan mampu meningkatkan keuntungan investasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor risiko secara efektif. Grafik hubungan antara τ dengan return portofolio (μ_p) dan Mean-VaR menunjukkan bahwa peningkatan toleransi risiko (τ) berdampak langsung pada peningkatan return dan risiko portofolio. Hal ini memberikan fleksibilitas bagi investor untuk menyesuaikan portofolio sesuai dengan profil risiko mereka. Secara matematis, model optimisasi ini telah dibuktikan memiliki solusi optimal global, yang menjamin bahwa portofolio yang dihasilkan mencapai kinerja terbaik secara keseluruhan, baik dari segi pengembalian maupun pengelolaan risiko. Hal ini menghindari terjebaknya model pada solusi optimal lokal, yang sering kali menjadi masalah dalam model optimisasi konvensional.

Model ini memiliki implikasi praktis yang signifikan bagi investor, terutama dalam lingkungan pasar yang penuh ketidakpastian dan risiko. Dengan integrasi strategi hedging dan pertimbangan volatilitas spillover, investor dapat lebih percaya diri dalam mengambil keputusan investasi, karena portofolio yang dibangun telah melalui proses optimisasi yang komprehensif dan akurat. Model ini juga dapat diterapkan secara luas dalam berbagai kondisi pasar dan preferensi risiko, sehingga memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan profitabilitas portofolio investasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Abuselidze, G., & Slobodanyk, A. (2019, September). Investment of the Financial Instruments And Their Influence On The Exchange Stock Market Development. In *Economic Science For Rural Development Conference Proceedings* (No. 52).
- Ahlawat, S. (2024). Sector Investing Risks in Different Market Conditions. *Wilmott*. <https://doi.org/10.54946/wilm.12024>
- Alonso, M. N. i. (2025). Conformal Portfolio Optimization. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5011129>
- Balcı, N. (2024). Volatility spillover effects between stock markets during the crisis periods: diagonal bekk approach. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1462608>
- Basile, I. G., Ferrari, P., & Abate, G. (2019). The impact of sectorial and geographical segmentation on risk-based asset allocation techniques. *Investment Management & Financial Innovations*, 16(3), 260–274. [https://doi.org/10.21511/IMFI.16\(3\).2019.24](https://doi.org/10.21511/IMFI.16(3).2019.24)

- Cebrián, F. J., García-Abadillo, M. T., & Negrut, L. (2016). A straightforward analysis of sector portfolios in the US stock market. *Applied Econometrics and International Development*, 16(1), 105–114. https://ideas.repec.org/a/eea/aeinde/v16y2016i1_9.html
- Diwekar, U. M. (2020)., *Introduction to applied optimization (Vol. 22)*. Springer Nature.
- Erceg, Ž., & Mularifović, F. (2019). Integrated MCDM model for processes optimization in supply chain management in wood company. *Operational research in engineering sciences: Theory and applications*, 2(1), 37-50.
- Gaivoronski, A. A., & Pflug, G. (2005)., ‘Value-at-risk in portfolio optimization: properties and computational approach’, *Journal of risk*, 7(2), 1-31.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics*. McGraw-hill.
- Hu, Y. (2024). Portfolio Optimization Using Machine Learning Method and Monte Carlo Simulation. *Highlights in Business, Economics and Management*, 41, 214–220. <https://doi.org/10.54097/farx3k44>
- Lin, B., Wesseh Jr, P. K., & Appiah, M. O. (2014). Oil price fluctuation, volatility spillover and the Ghanaian equity market: Implication for portfolio management and hedging effectiveness. *Energy Economics*, 42, 172-182.
- Liu, F. (2024). Risk Management in Derivatives Markets: Integrating Advanced Hedging Strategies with Empirical Analysis. *SHS Web of Conferences*, 188, 01008. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418801008>
- Mendonça, G. H., Ferreira, F. G., Cardoso, R. T., & Martins, F. V. (2020)., ‘Multi-attribute decision making applied to financial portfolio optimization problem’, *Expert Systems with Applications*, 158, p(1-9).
- Narani, R., & Rikumahu, B. (2019)., ‘Analisis Volatility Spillover Harga Emas Dan Harga Bitcoin Tahun 2013-2018’, *eProceedings of Management*, 6(2).
- Niteshbhai, F. S., Sultornsanee, S., & Angkawisittpan, N. (2024). Hybrid Approaches to Portfolio Optimization: Deep Neural Networks and Statistical Methods. 202–207. <https://doi.org/10.1109/icpei61831.2024.10748751>
- Rao, S. S. (2020)., *Engineering Optimization: Theory and Practice*. John Wiley & Sons.
- Roy, S., & Gupta, A. (2020). Safety investment optimization in process industry: A risk-based approach. *Journal of loss prevention in the process industries*, 63, 104022.
- Sari, L. K., Palupiningrum, A. W., & Nuraisyah, A. (2024). Dampak Spillover Antara Harga Komoditas dan Dinamika Pasar Keuangan. *Jurnal Aplikasi Bisnis Dan Manajemen*. <https://doi.org/10.17358/jabm.10.2.585>
- Vercellis, C. (2011)., *Business intelligence: data mining and optimization for decision making*. John Wiley & Sons.
- Xu, W. (2024). Spillover effects between economic indicators. *Highlights in Business, Economics and Management*, 44, 235–243. <https://doi.org/10.54097/crsx6d43>
- Zourmba, B. T., Claver, J. H., Cyrille Audrey, N. T., Tchoua, P., & Nguéack-Tsagué, G. (2024). Selection and Analysis of Optimized Portfolio Sectors of Johannesburg Stock Markets. *Advances in Computational Intelligence and Robotics Book Series*, 295–338. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6215-0.ch012>