

RESEARCH ARTICLE

Optimasi Portofolio Saham Menggunakan Metode Stock Network Portofolio Allocation Berbasis Return History (SNPAr)

Mega Silvia Desvi, Deni Saepudin* and Isman Kurniawan

Fakultas Komunikasi dan Bisnis, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding author: denisaepudin@telkomuniversity.ac.id

Received on 05 November 2024; accepted on 03 December 2024

Abstrak

Penelitian ini fokus pada optimasi portofolio dengan menekankan pada pencapaian return tinggi dan risiko rendah. Dibandingkan dengan metode equal weight yang hanya diberikan bobot yang sama tanpa memandang ukuran atau nilai pasar saham tersebut. Penelitian ini mengusulkan metode Stock Network Portofolio Allocation berbasis Return History (SNPAr). SNPAr memanfaatkan algoritma untuk menghitung probabilitas transisi berdasarkan akumulasi kekayaan dengan mengalokasikan saham dalam network, mempertimbangkan keterkaitan antar saham. Dengan menggunakan data LQ45 dari Oktober 2008 hingga Agustus 2023, eksperimen menunjukkan bahwa nilai Threshold 0.4 memberikan kinerja terbaik dengan pertumbuhan nilai return portofolio rata-rata 0,017 dan standar deviasi 0,062. Saat dibandingkan dengan portofolio equal weight, SNPAr menunjukkan superioritas, dengan return lebih tinggi dan risiko lebih rendah. Ini menegaskan bahwa SNPAr merupakan metode yang lebih efektif untuk optimasi portofolio jangka panjang.

Key words: Potofolio, SNPAr, Return History, Treshold, Equal Weight.

Pendahuluan

Portofolio merupakan sekumpulan aset yang dimiliki oleh seseorang dan biasanya berkaitan dengan bagaimana mengalokasikan sejumlah kekayaan ke beberapa saham dengan tujuan untuk mendapatkan return yang maksimal dengan risiko yang kecil [1]. Untuk meminimalkan risiko dilakukan pembentukan portofolio, metode pembentukan portofolio yang paling sederhana yaitu portofolio equal weight dan mudah di implementasikan karena portofolio equal weight didasarkan dengan memberi bobot yang sama kepada setiap perusahaan. Tetapi karena memberikan bobot yang sama maka tidak ada strategi yang baik secara konsisten [?]. Munculah metode yang lebih terkenal yaitu metode portofolio Mean-Variance yang diusulkan oleh Markowitz. Di mana Markowitz ini mempertimbangkan dua hal yaitu return dan risiko. Namun, terdapat juga kekurangannya yaitu hanya mempertimbangkan return dan risiko berdasarkan data historisnya saja, yang mana di masa depan bisa jadi berbeda dengan masa lalu [2]. Setelah dianalisis, metode ini masih menghasilkan performa yang kurang memuaskan dalam memprediksi return dan juga menghasilkan out-of-sample portofolio yang buruk [3]. Adapun metode yang lain yaitu mempertimbangkan prediksi menggunakan *Machine Learning* atau *Deep Learning* yang sering dikenal dengan menggunakan *LSTM*. Maka ketika membentuk portofolio saham – saham yang mempertimbangkan peluang bahwa saham itu akan mengalami kenaikan berdasarkan prediksi yang dilakukan *Machine Learning*. Tetapi, prediksinya hanya sendiri atau tidak mempertimbangkan dengan saham-saham yang lainnya [4]. Maka

munculah pendekatan baru yang mempertimbangkan dengan saham-saham yang lainnya, salah satunya yang menggunakan network. Yang terkini adalah dengan menggunakan *Stock Network Portofolio Allocation* (SNPA). Metode (SNPA) menggunakan algoritma yang menghitung probabilitas transisi berdasarkan akumulasi kekayaan selama periode terakhir dengan mengalokasikan portofolio saham dalam sebuah network saham dengan menggunakan keterkaitan antara saham-saham dalam sebuah network [5]. Untuk penelitian pembentukan portofolio dalam tugas akhir ini akan membahas bagaimana membentuk portofolio dengan menggunakan *Stock Network Portofolio Allocation* berbasis return history [5]. Metode *Stock Network Portofolio Allocation* berbasis return history (SNPAr) merupakan suatu pendekatan atau metode yang menggunakan data historis return saham untuk melakukan alokasi portofolio yang baik [5].

Tinjauan Pustaka

Penelitian Terkait

Pada tahun 2020, Y. Ma, R. Han, dan W. Wang mengusulkan di gunakannya Jaringan saraf mendalam (Deep Neural Networks) untuk membangun model optimasi portofolio berbasis prediksi. Tujuannya adalah untuk mengembangkan model yang dapat memprediksi kinerja saham dan mengoptimalkan portofolio berdasarkan prediksi tersebut [4].

Pada tahun 2021, Y. Chou et al. mengusulkan penggunaan rasio tren dan GNQTS (*General Net Quality Trend Score*) untuk mengevaluasi kinerja portofolio di pasar saham Amerika Serikat. Tujuannya adalah untuk mengembangkan metode yang memberikan indikator akurat dan dapat diandalkan tentang kinerja portofolio saham [6].

Pada tahun 2022, M. Mahadi et al. memperkenalkan pendekatan estimasi kesalahan kuadrat rata-rata (*Mean Squared Error/MSE*) berbasis vektor yang konsisten untuk optimasi portofolio. Tujuannya adalah untuk mengembangkan metode yang dapat mengoptimalkan alokasi aset dalam portofolio berdasarkan estimasi kesalahan prediksi yang konsisten [7].

Pada tahun 2023, Freitas, Washington Burkat, dan Joao Roberto Bertini Junior. Mengusulkan penggunaan *random walk* dalam jaringan saham dan analisis prediktif untuk optimasi portofolio. Tujuan penelitian ini adalah untuk menggunakan pendekatan *random walk* melalui jaringan saham dan analisis prediktif optimasi portofolio agar meningkatkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan metode tradisional [5].

Stock Network Portofolio Allocation (SNPA)

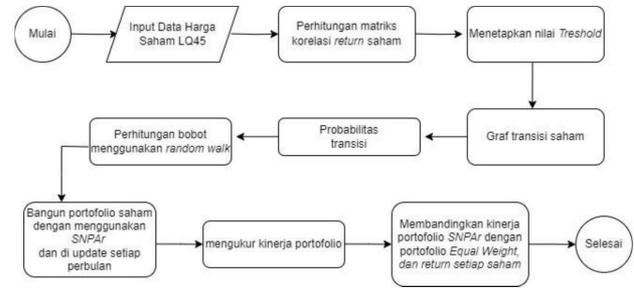
SNPA (*Stock Network Portofolio Allocation*) adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk mengalokasikan portofolio saham dalam sebuah jaringan saham. Algoritma ini menggunakan informasi tentang keterkaitan antara saham-saham dalam jaringan, seperti korelasi harga atau hubungan lainnya, untuk mengoptimalkan alokasi aset dalam portofolio. Tujuan utama dari algoritma SNPA adalah mencapai kombinasi optimal dari saham yang dapat memberikan hasil terbaik. Untuk menggunakan SNPA dalam optimasi portofolio saham, data historis harga saham dan parameter lainnya yang mempengaruhi kinerja saham akan dikumpulkan [5].

Stock Network Portofolio Allocation berbasis Return History (SNPAr)

Stock Network Portofolio Allocation berbasis Return History (SNPAr) adalah suatu metodologi yang mengintegrasikan analisis jaringan saham dengan return historis untuk mengoptimalkan alokasi portofolio. Pendekatan ini dimulai dengan memasukkan data harga saham historis, menghitung matriks korelasi return saham, menetapkan nilai threshold untuk menentukan hubungan signifikan antara saham yang ada dalam jaringan. Dengan menggunakan graf transisi saham, yang dibangun berdasarkan probabilitas transisi yang dihitung dari matriks korelasi, SNPAr menerapkan proses *random walk* untuk menghitung bobot alokasi aset. Ini memungkinkan penentuan bobot yang mencerminkan kinerja historis dan keterkaitan antara aset yang berbeda dalam portofolio. Setelah bobot ditentukan, portofolio saham dibangun dan diperbarui secara berkala (misalnya setiap bulan) dengan menggunakan SNPAr. Kinerja portofolio ini kemudian diukur dan dibandingkan dengan portofolio yang dibangun dengan alokasi *Equal Weight* [5].

Equal Weight Portofolio

Portofolio *Equal Weight* adalah pendekatan yang paling sederhana dan mudah. Portofolio *Equal Weight* merupakan strategi alokasi saham di mana setiap saham dalam portofolio diberikan bobot yang sama tanpa memandang ukuran atau nilai pasar saham tersebut. Pendekatan ini memperlakukan setiap saham dengan bobot yang sama, tidak peduli seberapa besar atau kecilnya perusahaan yang mewakili aset tersebut. Dengan memberikan bobot yang sama kepada setiap saham, portofolio *equal weight* mengurangi pengaruh saham individual terhadap kinerja portofolio secara keseluruhan. Ini berarti bahwa penurunan nilai pada satu saham hanya memiliki dampak terbatas pada keseluruhan portofolio [8].



Gambar 1. Flowchart Design System

Table 1. Dataset

| DATE | Close Price ADRO | Close Price TELKOM | Close Price ASII | Close Price BBKA |
|------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| 2008-10-01 | 680 | 1080 | 935 | 540 |
| 2008-11-01 | 520 | 1170 | 1020 | 540 |
| 2008-12-01 | 485 | 1380 | 1055 | 650 |
| 2009-01-01 | 740 | 1260 | 1300 | 550 |
| | | | | |

Metodologi Penelitian

Design System

Alur dari algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

Data Harga Saham LQ45

Data harga saham LQ45 adalah informasi mengenai harga saham dari perusahaan-perusahaan yang tergabung dalam indeks LQ45, dengan jangka waktu 16 tahun dari 1 Oktober 2008 sampai 1 Agustus 2023 dengan mengambil rute waktu perhitungan bulanan yang dapat diakses di <https://finance.yahoo.com/>.

Hanya menggunakan 4 saham yaitu ADRO, TELKOM, ASII dan BBKA, karena ingin melihat korelasi yang berbeda. ADRO merupakan perusahaan tambang, TELKOM adalah perusahaan penyedia layanan telekomunikasi terbesar, ASII beroperasi di berbagai sektor seperti otomotif, finansial, pertambangan, agribisnis, dan infrastruktur. BBKA adalah salah satu bank terbesar di Indonesia dan fokus pada layanan perbankan. Maka dari itu, portofolio yang adaptif berdasarkan sektor yang berbeda dipilih.

Untuk metode SNPAr, digunakan data harga penutupan (*close price*) bulanan dari saham-saham. Harga penutupan adalah harga saham terakhir yang tercatat ketika pasar saham tutup pada hari itu. Ini adalah nilai yang digunakan untuk menghitung return dan menganalisis kinerja historis saham dalam konteks alokasi portofolio.

Kalkulasi Return Harga Saham

Menghitung tingkat return bulanan atau periode tertentu untuk setiap saham dalam portofolio dengan persamaan berikut:

$$R_{t,i} = \frac{P_{t,i} - P_{t-1,i}}{P_{t-1,i}} \quad (11)$$

Table 2. Return Saham

| Date | Return ADRO | Return TELKOM | Return ASII | Return BBCA |
|------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| 2008-10-01 | - | - | - | - |
| 2008-11-01 | 0.514285714 | 0.244755245 | 0.453216374 | 0.142857143 |
| 2008-12-01 | - | 0.083333333 | 0.090909091 | 0 |
| 2009-01-01 | 0.235294118 | 0.179487179 | 0.034313725 | 0.203703704 |
| | 0.067307692 | - | 0.232227488 | - |
| | 0.525773196 | 0.086956522 | - | 0.153846154 |
| | | | | |

Keterangan:

- $R_{t,i}$: return
- i : aset
- t : waktu, t dapat mewakili hari, minggu, bulan, atau tahun.
- $P_{t,i}$: harga penutup saham ke- i pada waktu t
- $P_{t-1,i}$: harga penutup saham ke- i pada waktu $t - 1$

Di mana $P_{t,i}$ dan $P_{t-1,i}$ mewakili harga penutup aset ke- i pada waktu tertentu t dan $t - 1$, berturut-turut.

Selanjutnya akan menghitung kekayaan kumulatif dari aset tertentu i selama periode yang dianalisis t yang dilambangkan sebagai $cw_{t,i}$.

Perhitungan Matriks Korelasi Saham

Untuk menghitung matriks korelasi, terdapat hubungan linear antara aset yang diadopsi dengan korelasi Pearson. Korelasi Pearson adalah metode yang digunakan untuk mengukur hubungan linear antara dua variabel. Koefisien korelasi berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan hubungan positif, sedangkan nilai negatif menunjukkan hubungan negatif.

Koefisien korelasi Pearson antara aset i dan j berdasarkan rangkaian waktu pengembalian aset dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$c_{ij} = \frac{\sum(R_{t,i} - \mu_i)(R_{t,j} - \mu_j)}{\sqrt{\sum(R_{t,i} - \mu_i)^2} \sqrt{\sum(R_{t,j} - \mu_j)^2}} \quad (2)$$

Keterangan:

- c_{ij} : koefisien korelasi Pearson antara aset i dan j
- $R_{t,i}$ dan $R_{t,j}$: return aset i dan j pada tanggal penutupan periode yang diamati
- μ_i dan μ_j : rata-rata aritmatika dari return aset i dan j masing-masing

Di mana $R_{t,i}$ dan $R_{t,j}$ adalah return aset i dan j pada waktu t , dan μ_i serta μ_j adalah rata-rata return masing-masing saham. Nilai korelasi berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan hubungan positif dan nilai negatif menunjukkan hubungan negatif.

Stock Network

Pembuatan network setelah matriks korelasi dibangun, di mana network saham dibuat dengan aset sebagai node dan korelasi sebagai edgennya. Batasan korelasi positif (λ_p) dan negatif (λ_n) ditetapkan untuk menentukan hubungan antar aset dalam network.

Threshold

Korelasi antar dua aset harus memenuhi batas threshold ($\lambda_p \leq c_{ij}$) atau ($\lambda_n \geq c_{ij}$) untuk dianggap memiliki hubungan dalam network. Ini hanya memastikan hubungan yang signifikan yang termasuk, membantu dalam memodelkan korelasi yang efektif untuk meningkatkan return portofolio.

Probabilitas Transisi

Probabilitas transisi adalah ukuran probabilitas terpilihnya suatu simpul (node) dalam network. Setelah membangun network, pertimbangan network didefinisikan sebagai $G = (V, E, Z)$, di mana V adalah himpunan dengan n simpul, E adalah himpunan m , dan Z adalah himpunan dari bobot simpul, yang digunakan untuk menghitung probabilitas transisi.

Membiarkan Λ_i adalah himpunan titik-titik tetangga dari ν_i , dan menganggap $u_j \in \Lambda_i$, peluang terpilihnya ν_j , dinyatakan dengan P_{ij} , dihitung berdasarkan bobot dari ν_i pada waktu t , $z_{t,i}$, melalui fungsi softmax seperti pada persamaan berikut:

$$P_{ij} = \frac{e^{z_{t,i}}}{\sum_{u_j \in \Lambda_i} e^{z_{t,i}}} \quad (3)$$

Keterangan:

- P_{ij} : probabilitas terpilihnya simpul u_j , merupakan probabilitas transisi dari simpul ν_i ke simpul ν_j
- e : bilangan eksponensial
- $z_{t,i}$: bobot simpul ν_i pada waktu t
- Λ_i : himpunan titik-titik tetangga dari simpul ν_i
- u_j : simpul tetangga dari ν_i
- $\sum_{u_j \in \Lambda_i}$: penjumlahan dilakukan terhadap simpul u_j yang termasuk dalam himpunan tetangga Λ_i
- $\sum_{u_j \in \Lambda} e^{z_{t,i}}$: penjumlahan eksponensial dari bobot setiap simpul tetangga u_j pada waktu t

Dari rumus ini, perhitungan probabilitas transisi berdasarkan bobot simpul, di mana simpul dengan bobot yang lebih tinggi akan memiliki probabilitas transisi yang lebih besar.

Random Walk

Proses random walk menggunakan probabilitas transisi yang dihitung. Proses random walk dilakukan untuk menentukan bobot portofolio. Langkah random walk memilih node berikutnya berdasarkan probabilitas transisi, yang mencerminkan preferensi terhadap aset dengan kinerja historis yang baik.

Penetapan Portofolio Saham dengan menggunakan SNPAR dengan Bobot Aset

Untuk perhitungan bobot dalam metode Stock Network Portofolio Allocation berbasis Return History (SNPAR), jumlah kunjungan (η_j) ke masing-masing node dalam proses random walk digunakan sebagai dasar untuk menentukan bobot (ω_j) dari setiap aset dalam portofolio. Setelah menyelesaikan proses random walk dan memiliki data jumlah kunjungan ke setiap node (aset) dalam network, bobot aset dalam portofolio dapat dihitung dengan total kunjungan ke semua node yang dipilih sebagai bagian dari portofolio, dilakukan dengan menjumlahkan semua nilai η_j untuk aset yang termasuk dalam portofolio S .

$$\text{Total Kunjungan} = \sum_{i \in S} \eta_i \quad (4)$$

Untuk setiap aset j dalam portofolio S , bobot (ω_j) dihitung sebagai rasio dari jumlah kunjungan ke aset tersebut (η_j) terhadap total kunjungan ke semua aset dalam portofolio. Ini memberikan bobot

yang proporsional berdasarkan frekuensi pemilihan aset selama proses random walk:

$$\omega_j = \frac{\eta_j}{\text{Total Kunjungan}} = \frac{\eta_j}{\sum_{i \in S} \eta_i} \quad (5)$$

Di mana:

- ω_j adalah bobot dari setiap aset j dalam portofolio.
- η_j adalah jumlah kunjungan ke node (aset) j selama proses random walk.
- S adalah himpunan aset yang dipilih berdasarkan q node teratas yang paling sering dikunjungi, yang mencakup semua aset yang telah dikunjungi.

Mengukur Kinerja Portofolio

Setelah membangun portofolio, selanjutnya mengukur kinerja portofolio dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi. Untuk menghitung rata-rata menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

Keterangan:

- n : jumlah data
- x_i : nilai return dari masing-masing saham data ke- i

Standar deviasi adalah keseluruhan risiko sebuah portofolio. Risiko keseluruhan yang disebutkan mencakup risiko saham dan risiko portofolio itu sendiri. Untuk menghitung standar deviasi menggunakan rumus berikut:

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \text{mean})^2} \quad (7)$$

Keterangan:

- n : jumlah data
- x_i : nilai return dari masing-masing saham data ke- i

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian

Pada pengujian ini dilakukan eksperimen dengan nilai threshold 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8 untuk menunjukkan portofolio yang baik pada setiap threshold.

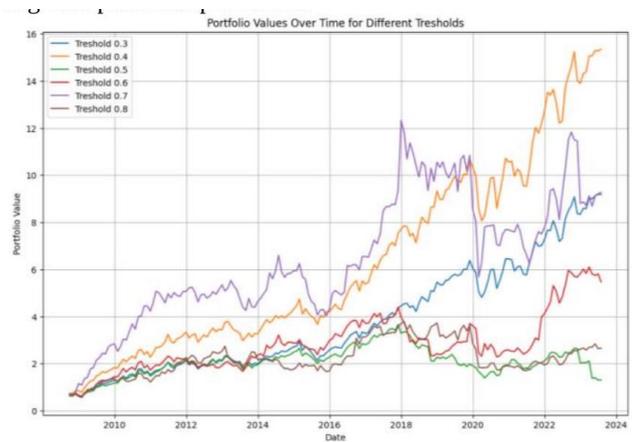
Dari gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa threshold 0.4 mengalami kenaikan yang signifikan dan menunjukkan bahwa pengujian yang dilakukan berhasil menemukan nilai threshold yang memberikan kinerja yang lebih baik.

Analisis Hasil Pengujian

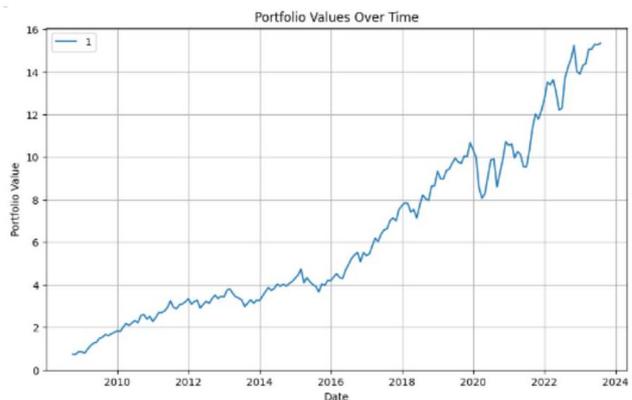
Dari hasil pengujian bisa dilihat bahwa pertumbuhan portofolio yang baik yaitu pada pengujian nilai threshold 0.4.

Grafik menunjukkan bahwa pada periode dari tahun 2010 hingga 2023, nilai portofolio yang awalnya dimulai dari nilai 1, kemudian meningkat seiring waktu, yang mengindikasikan bahwa pengembalian investasi secara keseluruhan positif. Grafik ini menunjukkan fluktuasi yang terjadi dari bulan ke bulan, dengan beberapa periode mengalami kenaikan yang signifikan.

Pada diagram batang rata-rata menunjukkan bahwa nilai rata-rata portofolio lebih tinggi dibandingkan ADRO, TELKOM, ASII, dan BBKA.

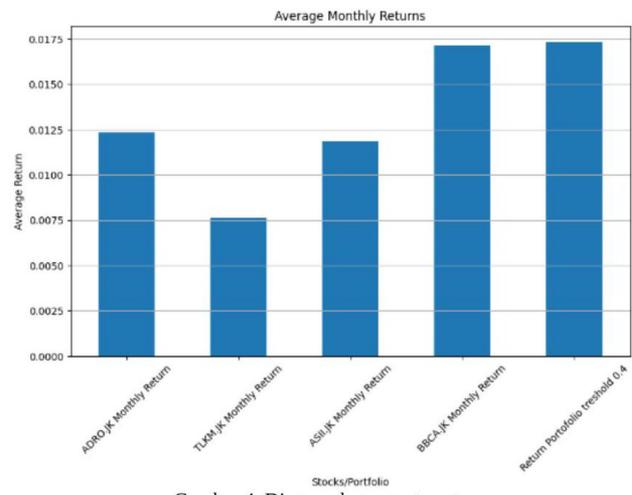


Gambar 2. Grafik perbandingan setiap pengujian threshold



Gambar 3. Pertumbuhan portofolio

Gambar 3. Pertumbuhan Portofolio

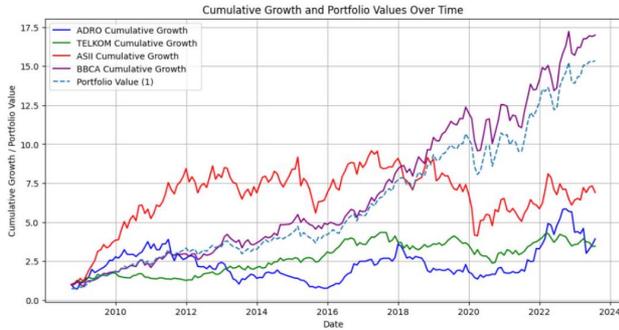


Gambar 4. Diagram Batang Rata-rata

Pada tabel tersebut, berdasarkan standar deviasi return, urutannya yang tertinggi dimulai dari ADRO (0.131129), ASII (0.091629), TELKOM (0.067440), BBKA (0.065049), dan Portofolio (0.062360). Berdasarkan nilai, ADRO yang paling tinggi sehingga dianggap sebagai yang

Table 3. Standar Deviasi

| Aset | Standar Deviasi |
|------------|-----------------|
| ADRO | 0.131129 |
| TELKOM | 0.067440 |
| ASII | 0.091629 |
| BBCA | 0.065049 |
| Portofolio | 0.062360 |



Gambar 5. grafik pertumbuhan portofolio dengan saham

paling berfluktuatif karena semakin tinggi nilai standar deviasi maka semakin besar fluktuasinya.

Perbandingan Portofolio SNPAr dengan Masing-masing Saham

Saham yang digunakan untuk pengujian diambil berdasarkan sektor yang berbeda-beda, di mana setiap sektor diwakili oleh satu saham. Pemilihan saham yang digunakan untuk mewakili setiap sektor adalah berdasarkan kapitalisasi tertinggi di setiap sektor, yaitu ADRO, TELKOM, ASII, dan BBCA. Kami ingin melihat korelasi yang berbeda, di mana ADRO berasal dari perusahaan tambang, TELKOM dari perusahaan penyedia layanan telekomunikasi terbesar, ASII dari perusahaan yang beroperasi di berbagai sektor seperti otomotif, finansial, pertambangan, agribisnis, dan infrastruktur. Pada pengujian ini dilakukan dengan nilai threshold 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, dan 0.8, dan didapat threshold 0.4 yang terbaik untuk dibandingkan dengan saham-saham tersebut.

Grafik menunjukkan bahwa portofolio mengalami kenaikan, tetapi jika dibandingkan dengan BBCA, portofolio tidak lebih tinggi dari BBCA.

Equal Weight Portofolio

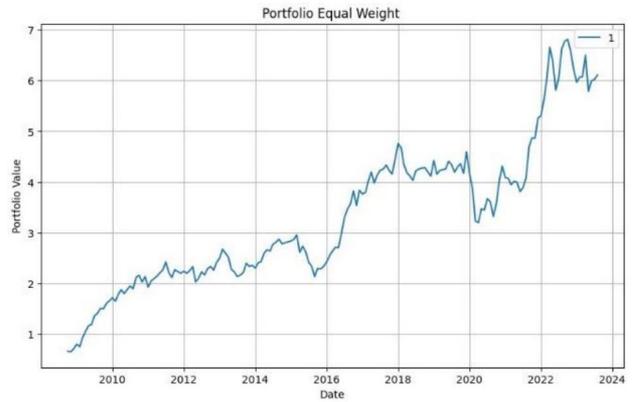
Dalam Equal Weight Portofolio, tidak ada perbedaan dalam perlakuan atau penekanan terhadap aset-aset tertentu. Setiap aset diberikan bobot yang sama. Pada pengujian tugas akhir ini, bobot untuk portofolio equal weight sendiri adalah 0.25.

Dari diagram, terlihat bahwa nilai portofolio mengalami pertumbuhan dari tahun 2010 hingga 2023, di mana terdapat beberapa fluktuasi dan penurunan nilai, tetapi secara umum trennya meningkat.

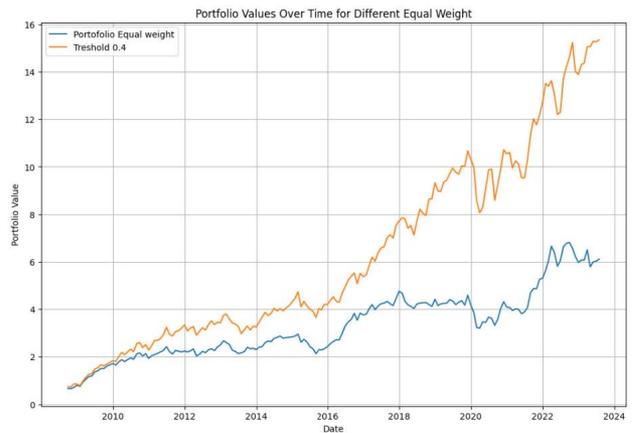
Dari diagram batang tersebut, disimpulkan bahwa saham BBCA memiliki rata-rata return tertinggi dibandingkan dengan saham-saham yang lainnya.

Perbandingan Portofolio SNPAr dengan Equal Weight Portofolio

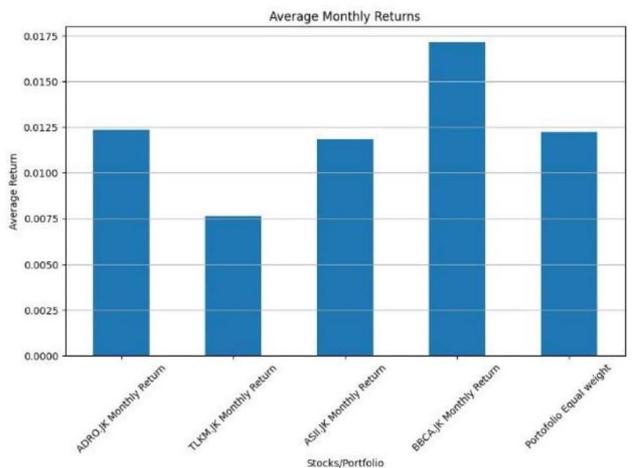
Grafik pertumbuhan portofolio Equal Weight dengan portofolio SNPAr menunjukkan bahwa pertumbuhan portofolio Equal Weight tidak lebih tinggi dibandingkan portofolio SNPAr.



Gambar 6. Pertumbuhan portofolio Equal Weight



Gambar 7. Diagram batang rata-rata



Gambar 8. Grafik perbandingan portofolio SNPAr dengan Equal Weight

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan implementasi dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dari pengujian eksperimen menggunakan bobot tidak lebih dari 1 dan tidak kurang dari -1, serta menggunakan nilai threshold 0.3 sampai 0.8, didapatkan nilai terbaik yaitu nilai threshold 0.4 dengan rata-rata return 0.0173 dan standar

deviasi 0.062. Kinerja portofolio metode *Stock Network Portofolio Allocation* berbasis return history (SNPAr) lebih baik dibandingkan dengan portofolio *equal weight*, karena portofolio *equal weight* diberikan bobot yang sama pada setiap saham dengan rata-rata return sebesar 0.0122.

Daftar Pustaka

1. Patel J, Chawda B. Stock Market Portfolio Management: A Walk-through. *Journal of Finance and Investment Analysis*. 2015;3:4136-43.
2. Dai Z, Kang J. Some new efficient mean–variance portfolio selection models. *International Journal of Finance & Economics*. 2021.
3. Dai Z, Wang F. Sparse and robust mean–variance portfolio optimization problems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2019;523:1371-8.
4. Ma Y, Han R, Wang W. Prediction-Based Portfolio Optimization Models Using Deep Neural Networks. *IEEE Access*. 2020;8:115393-405.
5. Freitas WB, Bertini JR. Random walk through a stock network and predictive analysis for portfolio optimization. *Expert Systems with Applications*. 2023 May;218:119597.
6. Chou YH, Lai YT, Jiang YC, Kuo SY. Using Trend Ratio and GNQTS to Assess Portfolio Performance in the U.S. Stock Market. *IEEE Access*. 2021;9:88348-63.
7. Mahadi M, Ballal T, Moinuddin M, Al-Saggaf UM. Portfolio Optimization Using a Consistent Vector-Based MSE Estimation Approach. *IEEE Access*. 2022;10:86636-46.
8. Putri RADkk. Pembentukan Portofolio Saham Optimal pada kondisi bearish tahun 2015. *Jurnal Manajemen dan Organisasi*. 2017.
9. Eom C, Park JW. Effects of common factors on stock correlation networks and portfolio diversification. *International Review of Financial Analysis*. 2017 January;49:1-11.
10. Li Y, Jiang XF, Tian Y, Li SP, Zheng B. Portfolio optimization based on network topology. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2019 February;515:671-81.
11. Shapira Y, Kenett DY, Ben-Jacob E. The Index cohesive effect on stock market correlations. *European Physical Journal B*. 2009 December;72(4):657-69.
12. Brandel S. Markov Regime Switching Model Implementation to the Stockholm Stock Market, Comparison with Equal Weight Portfolio. 2017.