



Pengoptimalan Portofolio Saham dengan *Capital Asset Pricing Model* dan Algoritma *Simulated Annealing*

Rizky Ahmad Subagja, Kartika Yulianti*, dan Fitriani Agustina

Program Studi Matematika, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

* Corresponding Author Email: kartika.yulianti@upi.edu

Article Information

Article History:

Submitted: 12 November 2025

Accepted: 30 January 2026

Published: 30 January 2026

Key Words:

Investasi Saham

Optimasi Portofolio

Capital Asset Pricing Model

Simulated Annealing

Graphical User Interface

DOI:

<https://doi.org/10.33369/diophantine.v4i2.45880>

Abstract

Stock investment has become increasingly popular in Indonesia, and the construction of an optimal portfolio is essential for effective risk and return management. This study integrates the Capital Asset Pricing Model (CAPM) with the Simulated Annealing algorithm to optimize stock portfolios. The Simulated Annealing algorithm enables flexible and realistic portfolio management by addressing non-linear complexities and market constraints. In addition, this study develops a Graphical User Interface (GUI)-based application using Python to assist investors in calculating and determining optimal portfolio allocations. The application utilizes stock data and investment parameters as inputs and produces optimal allocation outputs based on CAPM and heuristic solutions generated by the Simulated Annealing algorithm. This research offers an efficient and adaptive solution for portfolio optimization in a fluctuating market environment.

1. PENDAHULUAN

Investasi saham telah menjadi salah satu metode populer untuk memperoleh penghasilan pasif, dan kini semakin merambah ke berbagai lapisan masyarakat, termasuk generasi milenial [1]. Di Indonesia, investasi saham memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dengan menawarkan potensi pengembalian yang tinggi, meskipun tidak terlepas dari risiko yang besar [2, 3]. Dalam investasi saham, pembentukan portofolio merupakan strategi penting untuk mencapai keseimbangan antara risiko dan *return* [4].

Optimasi portofolio saham menjadi tantangan yang kompleks, terutama dalam mempertimbangkan variabel seperti harga saham, korelasi antar saham, dan risiko [5]. Markowitz mengembangkan teori portofolio modern yang menganjurkan efisiensi dalam pengelolaan portofolio melalui kurva pengembalian-risiko (*efficient frontier*) [6, 7]. *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), yang diperkenalkan oleh Treynor [8] dan dikembangkan lebih lanjut oleh Sharpe [9] dan Lintner [10], sering digunakan untuk mengestimasi *return* yang diharapkan dari aset berisiko serta mengelola risiko non-sistematis [11].

CAPM memiliki keterbatasan dalam praktik, terutama terkait asumsi bahwa semua investor memiliki portofolio pasar yang sama [12]. Untuk mengatasi kelemahan ini, metode heuristik seperti *Simulated Annealing* (SA) dapat digunakan untuk menangani kompleksitas non-linier dalam optimasi portofolio [13]. SA merupakan algoritma optimasi yang efektif dalam mengeksplorasi ruang solusi, terutama untuk masalah optimasi dengan batasan praktis [14]. Dalam konteks optimasi portofolio, SA dapat membantu mengidentifikasi alokasi aset yang mendekati efisiensi portofolio.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengeksplorasi berbagai metode optimasi dan model pengelolaan portofolio. Zhu, dkk. [15] memperkenalkan perbaikan pada algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang memungkinkan penyesuaian alokasi portofolio dengan lebih akurat. Selain itu, Doerner [16] mengeksplorasi peningkatan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk optimasi portofolio, yang mampu menangani masalah kompleks secara adaptif. Penelitian Gao, dkk. [17] juga menyoroti perbaikan pada algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) yang meningkatkan efisiensi dan hasil optimasi portofolio. Selanjutnya, pada Crama & Schyns [18] ditunjukkan bahwa penerapan *Simulated Annealing* (SA) memiliki keunggulan dalam menyelesaikan model optimisasi portofolio yang kompleks, terutama dalam mengatasi solusi lokal dan menjelajahi ruang solusi dengan lebih efektif.

Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini mengintegrasikan model *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) dengan algoritma *Simulated Annealing* dalam sebuah aplikasi berbasis *Graphical User Interface* (GUI), yang dirancang untuk memudahkan investor dalam menentukan alokasi portofolio saham yang optimal, memberikan solusi yang lebih komprehensif dalam menghadapi dinamika pasar saham. Dengan menggabungkan dasar teoritis CAPM, metode heuristik SA, dan antarmuka yang interaktif, penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan alat yang lebih efektif dan mudah digunakan bagi investor untuk menghadapi dinamika pasar saham di Indonesia.

Dengan menerapkan teknik optimasi yang kuat dan algoritma heuristik yang efektif, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan lebih mendalam tentang cara investor dapat mengelola portofolio mereka dengan lebih efisien serta membuat keputusan investasi yang lebih berbasis informasi dalam pasar saham Indonesia yang dinamis dan kompleks.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini dirancang untuk mengoptimalkan portofolio saham dengan mengintegrasikan *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) dan algoritma *Simulated Annealing* (SA). Langkah-langkah penelitian melibatkan pengumpulan data saham, perhitungan return yang diharapkan dengan CAPM, dan optimasi portofolio menggunakan SA.

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan optimasi multi-objektif dalam manajemen portofolio dengan mengintegrasikan CAPM dan algoritma *Simulated Annealing*. CAPM digunakan untuk menghitung *expected return* dan risiko dari portofolio, sementara SA digunakan untuk mengoptimalkan alokasi portofolio guna memaksimalkan *return* dan meminimalkan risiko. Pendekatan ini memungkinkan investor untuk mencapai keseimbangan yang optimal antara risiko dan *expected return*.

2.2 Capital Asset Pricing Model

Capital Asset Pricing Model (CAPM) digunakan untuk menghitung return yang diharapkan pada masing-masing saham dalam portofolio. Model ini memperhitungkan tingkat bebas risiko, beta saham, dan return pasar untuk memberikan estimasi return yang sepadan dengan tingkat risiko yang ditanggung oleh investor. Rumus dasar CAPM sesuai dengan rekomendasi yang diajukan oleh Liadi, dkk. [19] adalah sebagai berikut:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i(E(R_m) - R_f), \quad (1)$$

dengan $E(R_i)$ adalah *expected return* dari saham ke- i , yang mewakili tingkat pengembalian yang diharapkan dari investasi dalam saham tersebut. R_f adalah tingkat *return* bebas risiko, yaitu pengembalian yang dapat diperoleh dari investasi bebas risiko seperti obligasi pemerintah. β_i adalah risiko sistematis saham ke- i , yang mengukur sensitivitas pengembalian saham terhadap pergerakan pasar secara keseluruhan. $E(R_m)$ adalah *expected return* dari pasar, yang merupakan pengembalian yang diharapkan dari portofolio pasar yang mencerminkan keseluruhan pasar saham. Menurut Liadi, dkk. [19] untuk menghitung nilai risiko sistematis saham ke- i (β_i) digunakan formula sebagai berikut:

$$\beta_i = \frac{\sigma(R_{it}, R_{mt})}{\sigma^2(R_{mt})}. \quad (2)$$

Pada penelitian ini, optimasi portofolio bertujuan memaksimalkan *expected return* dan meminimalkan risiko, yang secara matematis, dirumuskan pada Persamaan (3):

$$F(X) = w \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i - (1 - w) \sum_{i=1}^n E(R_i) \cdot x_i. \quad (3)$$

Parameter w menentukan bobot antara kedua komponen ini, dengan w yang berkisar antara 0 dan 1. Komponen pertama, $w \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i$ mewakili risiko portofolio. Komponen kedua, $(1 - w) \sum_{i=1}^n E(R_i) \cdot x_i$, merepresentasikan jumlah *expected return* dari seluruh saham. Fungsi tujuan tersebut dibatasi dengan kendala jumlah proporsi alokasi saham ke- i dalam portofolio bernilai satu, yang memastikan seluruh dana diinvestasikan secara total, yaitu:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (4)$$

2.3 Simulated Annealing (SA)

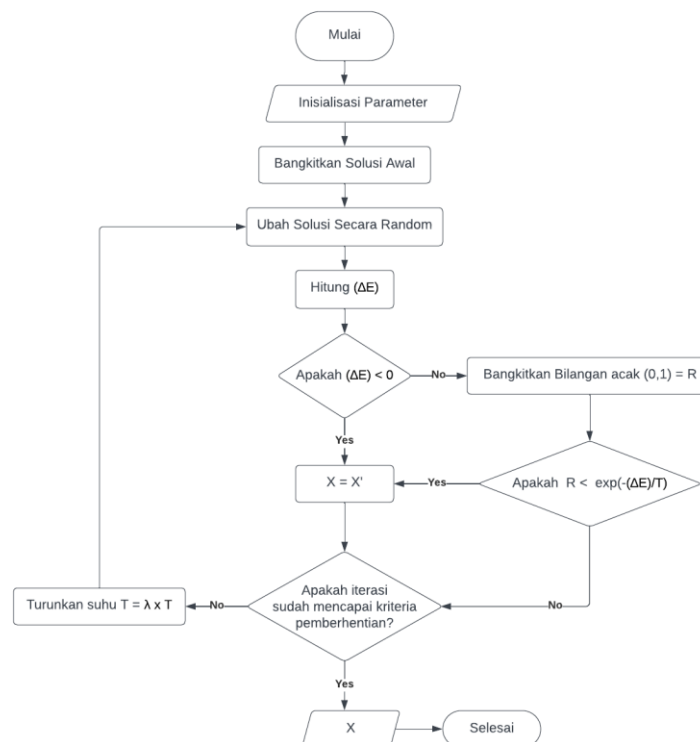
Algoritma *Simulated Annealing* adalah metode probabilistik yang digunakan untuk mendekati solusi optimal dari masalah optimasi [14]. Algoritma ini meniru proses fisik annealing, di mana material dipanaskan dan kemudian didinginkan perlahan untuk mencapai keadaan energi minimum [20]. Dalam konteks optimasi portofolio, SA secara iteratif mengubah bobot alokasi saham untuk menemukan komposisi portofolio yang optimal [21]. Berikut proses algoritma *Simulated Annealing* sebagaimana dijelaskan oleh Kirkpatrick, dkk. [14]:

1. Inisialisasi parameter Algoritma *Simulated Annealing*
2. Bangkitkan solusi awal
3. Ubah solusi secara acak
4. Hitung perubahan energi (ΔE)
5. Terima atau tolak kandidat solusi
6. Pertimbangkan probabilitas penerimaan
7. Turunkan suhu T sesuai dengan laju penurunan suhu (λ) yang ditentukan menggunakan rumus:

$$T_{n+1} = \lambda \cdot T_n \quad (5)$$

8. Kembali ke Langkah 2:
Ulangi proses dari Langkah 2 dengan solusi baru sebagai titik awal, sampai kriteria berhenti terpenuhi, yaitu telah mencapai jumlah iterasi yang ditentukan, atau ketika tingkat penurunan suhu menjadi sangat kecil, atau jika tidak ada perubahan signifikan dalam solusi selama beberapa iterasi berturut-turut.

Adapun proses SA dinyatakan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Proses Algoritma *Simulated Annealing*

Implementasi keseluruhan proses perhitungan dengan CAPM tersebut akan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan dukungan *library* seperti *Pandas*, *Numpy*, dan *Tkinter* untuk membuat aplikasi berbasis *Graphical User Interface* (GUI). Aplikasi yang dikembangkan memungkinkan pengguna untuk menginput data saham, kemudian menghitung alokasi portofolio optimal berdasarkan CAPM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengimplementasikan algoritma *Simulated Annealing* untuk optimasi portofolio saham menggunakan model *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari harga penutupan bulanan saham dari 28 perusahaan yang terdaftar dalam indeks IDX 30, dari Januari 2018 hingga Januari 2023, yang diperoleh dari *Yahoo Finance*. Indeks IDX 30 dipilih karena IDX30 terdiri dari saham-saham yang memiliki likuiditas tinggi dan kapitalisasi pasar yang besar. Data *Risk-free Rate* diperoleh dari rata-rata *BI-7Day-RR*, Bank Indonesia.

Setelah data diperoleh, selanjutnya dihitung nilai beta (β) untuk setiap saham menggunakan rumus (2), dan menghitung nilai *expected return* ($E(R_i)$) menggunakan rumus (1). Nilai beta dan *expected return* yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *Expected Return* dan Beta Setiap Saham

No	Saham	Expected Return	Beta
1	ADRO	-0,00865	1,228859
2	AKRA	-0,03515	1,812493
3	ANTM	-0,06465	2,462228
4	AMRT	0,022365	0,54597
⋮	⋮	⋮	⋮
26	TOWR	0,00594	0,907652
27	UNTR	0,010078	0,816544
28	UNVR	0,038835	0,183263

Berdasarkan hasil perhitungan pada Table 1, dipilih saham-saham yang memiliki nilai *expected return* positif. Saham yang terpilih, selanjutnya akan dioptimalkan dengan Algoritma SA. Saham yang terpilih ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Saham-saham dengan Nilai *Expected Return* positif

No	Saham	Expected Return	Beta
1	AMRT	0,022365	0,54597
2	BBCA	0,006801	0,888699
3	CPIN	0,02602	0,465477
4	EMTK	0,012117	0,771632
5	INDF	0,03196	0,334673
6	KLBF	0,022058	0,552719
7	PTBA	0,007146	0,88111
8	TLKM	0,009124	0,837536
9	TOWR	0,00594	0,907652
10	UNTR	0,010078	0,816544
11	UNVR	0,038835	0,183263

Selanjutnya akan dilakukan pengoptimisasian portofolio menggunakan algoritma SA menggunakan bantuan program python. Parameter yang digunakan yaitu jumlah iterasi (IN) sebesar 10.000, suhu awal (T_0) 10.000, dan faktor penurunan suhu (λ) 0,95. Eksperimen dilakukan dengan variasi bobot w dari 0 hingga 1 dengan interval 0,02. Selanjutnya dibangkitkan bobot alokasi awal secara acak, menggunakan rumus:

$$x_i^j = lb_j + rand(0,1) * (ub_j - lb_j),$$

dengan x_i^j adalah bobot asset portofolio- i ke- j , lb_j adalah batas bawah bobot asset ke- j , dan ub_j adalah batas atas bobot asset ke- j . Lalu, normalisasi setiap bobot asset sesuai dengan total bobot agar memenuhi kendala (4). Perubahan nilai energi dihitung menggunakan formula:

$$\Delta E = F_{i+1} - F_i$$

dengan F_i adalah nilai fungsi objektif pada iterasi i . Jika $\Delta E \geq 0$ maka solusi baru dapat diterima dengan probabilitas tertentu berdasarkan fungsi distribusi probabilitas Boltzmann, dan sebaliknya. Selanjutnya, turunkan suhu dan dilakukan iterasi. Proses perhitungan dilakukan dengan program python. Koding program ditampilkan pada Gambar 2.

```
for iteration in range(iterations):
    # Ubah solusi secara acak
    random_index = random.randint(0, n - 1) # Pilih indeks secara acak
    neighbor_portfolio = portfolio.copy() # Salin portofolio saat ini
    neighbor_portfolio[random_index] = random.uniform(0, 1 - sum(neighbor_portfolio)) # Ubah bobot secara acak

    # Menghitung perubahan fungsi tujuan
    neighbor_objective = self.combined_objective(neighbor_portfolio, expected_returns, betas, w) # Hitung nilai fungsi tujuan tetangga
    delta = neighbor_objective - current_objective # Hitung perubahan fungsi tujuan

    # Penerimaan atau penolakan solusi
    if delta > 0 or (Initial_temperature != 0 and random.random() < math.exp(delta / Initial_temperature)):
        portfolio = neighbor_portfolio # Terima solusi tetangga
        current_objective = neighbor_objective # Perbarui nilai fungsi tujuan saat ini

    # Menyimpan solusi terbaik
    if current_objective > best_objective:
        best_portfolio = portfolio.copy() # Perbarui solusi terbaik
        best_objective = current_objective # Perbarui nilai fungsi tujuan terbaik

    # Penurunan Suhu
    Initial_temperature *= cooling_rate # Kurangi Suhu

return best_portfolio # Munculkan solusi terbaik yang ditemukan
```

Gambar 2. Kode Program Algoritma *Simulated Annealing*

Pada penelitian ini juga dibangun antarmuka pengguna (GUI) menggunakan modul tkinter. Antarmuka pengguna dibangun untuk memudahkan pengguna dalam memasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menjalankan optimisasi portofolio. Pengguna diminta untuk memasukkan data saham dan nilai risk-free rate. output Aplikasi tersebut adalah alokasi saham yang optimal. Hasil yang diberikan oleh aplikasi tersebut disajikan pada Gambar 3.

Portfolio Optimizer

Data Saham Data Risk-Free Rate Run Portfolio Optimization Save Results

Alokasi Portofolio Optimal untuk w=0.0:

AMRT: 1.03%
BBCA: 2.57%
CPIN: 9.86%
ENTK: 14.91%
INDF: 0.14%
KLBF: 9.65%
PTBA: 4.25%
TLKM: 23.02%
TOWR: 18.39%

Index	Weight (w)	Fitness	Expected Return	Beta
0	0.0	-0.00014202194150975377	0.00014202194150975377	0.008701159201515693
1	0.02	0.008595347206622778	0.007254677520609745	0.7852465598410164
2	0.04	0.02406259599446176	0.007939616392502473	0.7921156932816033
3	0.06	0.03913217754152379	0.009268489925967297	0.7974093011988841
4	0.08	0.05641241385071364	0.007555035521223471	0.7920380816279904
5	0.1	0.06832578440101061	0.009615593936518054	0.7697981894387685
6	0.12	0.0896597352656062	0.007931755671912177	0.8053306688074076
7	0.14	0.08877531457099154	0.01155851151218109	0.7051116747961947
8	0.16	0.11096934238216977	0.012015901068736953	0.75664187049943
9	0.18	0.12385800760056248	0.01007698123870962	0.7340062900905798

Oleh Rizky Akhmad Subagja (2003629)
Prodi Matematika Universitas Pendidikan Indonesia

Gambar 2. Tampilan Akhir GUI Aplikasi dengan Hasil

Hasil optimasi menunjukkan bahwa nilai fitness meningkat seiring dengan kenaikan bobot w yang diterapkan pada *expected return* yang diharapkan. Hal ini sesuai dengan ekspektasi mengingat fungsi tujuan yang dirancang untuk memaksimalkan *expected return* sambil mengendalikan risiko. Dengan peningkatan nilai w , prioritas terhadap *expected return* semakin tinggi, yang menyebabkan peningkatan nilai fitness portofolio. Ini menunjukkan bahwa portofolio dengan bobot w yang lebih tinggi cenderung memberikan *expected return* yang lebih besar, meskipun dengan risiko yang mungkin lebih besar pula.

Sebagai ilustrasi, dipilih portofolio dengan bobot $w = 0,5$. Nilai ini dipilih karena mencerminkan keseimbangan antara fokus pada *expected return* dan risiko, yang sangat relevan bagi investor dengan profil risiko moderat. Hasil portofolio saham dengan $w = 0,5$ ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Optimasi Portofolio Saham dengan $w = 0,5$

Saham	Alokasi
AMRT	3,96%
BBCA	27,55%
CPIN	10,29%
EMTK	9,63%
INDF	0,72%
KLBF	19,28%
PTBA	8,47%
TLKM	4,99%
TOWR	5,46%
UNTR	6,98%
UNVR	2,68%
Total	100%

Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan $w = 0,5$, portofolio yang dioptimalkan memberikan *expected return* sebesar 1,10% dan nilai resiko sebesar 0,7442. Ini berarti jika seorang investor menginvestasikan Rp 1.000.000.000, mereka diharapkan memperoleh keuntungan sebesar Rp 11.000.000. Nilai beta di bawah 1,0 menunjukkan risiko portofolio lebih rendah dibandingkan pasar, yang berarti bahwa portofolio ini tidak terlalu mengikuti pergerakan pasar. Alokasi saham dalam portofolio dengan $w = 0,5$ menunjukkan bahwa saham seperti BBCA (27,55%) dan KLBF (19,28%) mendapatkan porsi lebih besar karena kombinasi optimal antara *expected return* yang kompetitif dan risiko yang rendah. BBCA, dengan harga saham yang meningkat dari 4.545 menjadi 8.475, menunjukkan pertumbuhan stabil dan volatilitas rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk portofolio ini. KLBF juga menunjukkan pola kenaikan stabil, dari 1.665 menjadi 2.090, dengan risiko relatif rendah dan *expected return* yang menarik.

Sebaliknya, saham seperti UNVR (2,68%) dan INDF (0,72%) mendapatkan alokasi lebih rendah karena volatilitas yang lebih tinggi, meskipun mungkin menawarkan *expected return* yang tinggi. Misalnya, harga saham UNVR turun dari 10.880 menjadi 4.660, sementara INDF menurun dari 7.750 menjadi 6.725, mencerminkan risiko lebih besar. Pendekatan ini mencerminkan strategi diversifikasi yang hati-hati, mengoptimalkan portofolio untuk memberikan keseimbangan antara *expected return* dan risiko.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menerapkan model *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) untuk mengoptimalkan portofolio saham dengan menyeimbangkan antara *expected return* dan risiko. Model CAPM memungkinkan penyesuaian alokasi aset berdasarkan preferensi investor. Algoritma *Simulated Annealing* diterapkan untuk mengoptimalkan portofolio dengan menginisialisasi parameter seperti suhu awal, laju pendinginan, dan jumlah iterasi, serta menilai dan memperbaiki alokasi portofolio secara iteratif hingga solusi optimal ditemukan. Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan Python dan memanfaatkan *library* seperti *Tkinter* untuk antarmuka pengguna. Aplikasi ini mempermudah pengguna dalam memasukkan parameter, menjalankan optimisasi, dan menyimpan hasil, sehingga menyediakan solusi yang efisien dan praktis untuk perhitungan optimasi portofolio saham.

REFERENSI

- [1] Putra, I. R. N., & Moelyani, I. A. (2021). Analisis Metode Dollar Cost Averaging Sebagai Strategi Investasi Paling Efektif Untuk Investor Pemula. In *Prosiding Seminar Nasional Riset Pasar Modal* (Vol. 1, No. 1).
- [2] Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2018). *Investments* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- [3] Parendra, A., Firmansyah, A., & Prakosa, D. K. (2020). Ukuran perusahaan, leverage, risiko saham di perusahaan perbankan. *Dinamika Akuntansi Keuangan dan Perbankan*, 9(2), 119-132.
- [4] Silalahi, P. R. (2023). *Teori Portofolio Dan Analisis Investasi: Integrasi Syariah*.
- [5] Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- [6] Sudarsana, I. M. B., Sedana, I. B. P., & Artini, L. G. S. (2014). Pembentukan Portofolio Optimal Pada Saham-Saham Indeks IDX30 Di PT Bursa Efek Indonesia. *E-Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Universitas Udayana*, 3(2), 81-89.
- [7] Adnyana, I. M. (2020). *Buku: Manajemen Investasi dan Portofolio*.

- [8] Treynor, J. L. (1961). Market value, time, and risk. *Time, and Risk* (August 8, 1961).
- [9] Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The journal of finance*, 19(3), 425-442.
- [10] Lintner, J. (1969). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets: A reply. *The review of economics and statistics*, 222-224.
- [11] Hidayati, R. S. (2018). Analisis Portofolio Optimal Perusahaan Terdaftar di IHSG dengan Metode CAPM dan Markowitz. *Academica: Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(2), 269-279.
- [12] Jayaprana, O. (2014). Perbandingan Return Saham LQ45 Di Bursa Efek Indonesia Dengan Menggunakan Capital Asset Pricing Model (CAPM) dan Arbitrage Pricing Theory (APT) (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia).
- [13] Buseti, F. (2005). Metaheuristic approaches to realistic portfolio optimization. *arXiv preprint cond-mat/0501057*.
- [14] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- [15] Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., & Chen, Y. (2011). Particle Swarm Optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10161-10169.
- [16] Doerner, K., Gutjahr, W. J., Hartl, R. F., Strauss, C., & Stummer, C. (2004). Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection. *Annals of operations research*, 131, 79-99.
- [17] Gao, W., Sheng, H., Wang, J., & Wang, S. (2018). Artificial bee colony algorithm based on novel mechanism for fuzzy portfolio selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(5), 966-978.
- [18] Crama, Y., & Schyns, M. (2003). Simulated Annealing for complex portfolio selection problems. *European Journal of operational research*, 150(3), 546-571.
- [19] Liadi, E., Dharmawan, K., & Nilakusmawati, DPE (2020). Determining Efficient Stocks Using the Capital Asset Pricing Model (Capm) Method. *E-Journal of Mathematics*, 9(1), 23.
- [20] Husen, M., Masudin, I., & Utama, D. M. (2015). Penjadwalan job shop statik dengan metode simulated annealing untuk meminimasi waktu makespan. *Spektrum Industri*, 13(2), 115.
- [21] Setiawan, E. P., & Rosadi, D. (2019). Model Pengoptimuman Portofolio Mean-Variance dan Perkembangan Praktisnya. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 18(1), 25-36.