

Pengembangan Algoritma Sharpe Ratio dengan Integrasi Filter Tren SMA dalam Strategi Portofolio Aset Kripto

Andri Fauzan Adziima^{1,*}, Shindi Shella May Wara¹, Muhammad Nasrudin¹, Alfian Rizaldy Pratama¹

¹Fakultas Ilmu Komputer, Prodi Sains Data, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

Email: ^{1,*}andri.fauzan.fasilkom@upnjatim.ac.id, ²shindi.shella.fasilkom@upnjatim.ac.id, ³nasrudin.fasilkom@upnjatim.ac.id,

⁴alfian.rizaldy.fasilkom@upnjatim.ac.id

(*Email Corresponding Author: andri.fauzan.fasilkom@upnjatim.ac.id)

Received: 14 Juni 2025 | Revision: 14 Juni 2025 | Accepted: 15 Juni 2025

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan sebuah strategi alokasi aset kripto yang bersifat dinamis, dengan menggabungkan pembobotan berdasarkan Sharpe Ratio dan penyaringan tren menggunakan indikator Simple Moving Average (SMA) dari Bitcoin (BTC). Model ini melakukan alokasi ulang modal setiap tiga hari pada tujuh aset kripto utama (BTC, ETH, BNB, SOL, TON, TRX, XRP), dengan ketentuan bahwa harga BTC berada di atas ambang SMA tertentu (50 hari, 100 hari, atau 200 hari). Apabila BTC berada di bawah nilai SMA tersebut, seluruh portofolio secara otomatis dialihkan ke USDT untuk menekan risiko penurunan nilai. Studi ini menggunakan data historis dari 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025 dan menguji performa model dalam tiga konfigurasi SMA, lalu dibandingkan dengan strategi dasar buy-and-hold. Hasil menunjukkan bahwa strategi dengan parameter SMA 50 hari menghasilkan return kumulatif tertinggi (+231,51%) serta rasio Sharpe terbaik (2,51), jauh melampaui model dengan SMA yang lebih panjang maupun rata-rata return dari strategi dasar (+132,14%). Analisis risiko mengindikasikan bahwa jendela SMA yang lebih pendek memberikan respons yang lebih cepat terhadap tren naik pasar, meskipun disertai dengan peningkatan volatilitas jangka pendek. Secara keseluruhan, temuan ini menguatkan efektivitas strategi hibrida yang mengombinasikan penyaringan tren dengan alokasi berbasis risiko dalam pengelolaan portofolio kripto di tengah kondisi pasar yang fluktuatif.

Kata Kunci: cryptocurrency, alokasi aset, Sharpe Ratio, Simple Moving Average, penyaringan tren, optimisasi portofolio, strategi perdagangan kripto.

Abstract

This paper proposes a dynamic cryptocurrency asset allocation strategy that combines Sharpe Ratio-based weighting with trend filtering using the Simple Moving Average (SMA) of Bitcoin (BTC). The model reallocates capital among a portfolio of seven major cryptocurrencies (BTC, ETH, BNB, SOL, TON, TRX, XRP) every three days, conditional on BTC trading above its respective SMA threshold (50-day, 100-day, or 200-day). When BTC trends below the SMA, the strategy shifts fully to USDT to minimize downside risk. Using historical data from January 1, 2024, to January 1, 2025, the study evaluates performance across three SMA configurations and benchmarks against a buy-and-hold baseline. Results show that the SMA-50 strategy achieved the highest cumulative return (+231.51%) and Sharpe Ratio (2.51), significantly outperforming both the longer SMA-based models and the baseline average return (+132.14%). Risk analysis indicates that shorter SMA windows allow more responsive exposure during market uptrends but increase short-term volatility. Overall, the findings support the use of hybrid strategies combining trend-following filters and risk-adjusted allocation for managing crypto portfolios in volatile environments.

Keywords: cryptocurrency, asset allocation, Sharpe Ratio, Simple Moving Average, trend filtering, portfolio optimization, crypto trading strategies.

1. PENDAHULUAN

Aset kripto telah berkembang menjadi kelas aset tersendiri dengan karakteristik volatilitas tinggi dan profil risiko-imbal hasil yang berbeda dibandingkan instrumen keuangan konvensional. Liu dan Tsyvinski [1] menunjukkan bahwa pergerakan harga aset kripto lebih banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor spesifik pasar seperti perhatian investor dan momentum, dibandingkan indikator ekonomi makro tradisional. Perilaku unik ini menimbulkan tantangan bagi pendekatan klasik dalam optimisasi portofolio, sehingga diperlukan strategi yang lebih adaptif dan kontekstual terhadap sifat dinamis aset digital. Dalam menghadapi fluktuasi harga yang ekstrem di pasar kripto, alat analisis teknikal—terutama strategi berbasis moving average (MA)—semakin banyak digunakan oleh pelaku pasar. Sejumlah studi menyimpulkan bahwa aturan perdagangan berbasis MA dapat menghasilkan imbal hasil berlebih, terutama pada aset kripto dengan fitur privasi yang kuat [4], [9]. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi indikator teknikal dapat berperan penting dalam meningkatkan kinerja perdagangan aset digital. Di sisi lain, kemajuan dalam bidang machine learning dan metode statistik yang tangguh telah membuka cakrawala baru dalam manajemen portofolio. Pendekatan yang menggabungkan pembatasan Conditional Value-at-Risk (CVaR) serta teknik estimasi kovarians yang lebih stabil telah diajukan untuk mengelola risiko ekstrem secara lebih efektif [5], [6]. Tujuan utamanya adalah untuk memaksimalkan imbal hasil yang disesuaikan dengan risiko, terutama dalam konteks pasar kripto yang sangat tidak stabil.

Penelitian ini memperkenalkan strategi alokasi aset dinamis yang mengombinasikan optimisasi berbasis Sharpe Ratio dengan penyaringan tren menggunakan Simple Moving Average (SMA) pada Bitcoin. Strategi ini secara berkala mengalokasikan ulang modal ke dalam aset kripto terpilih berdasarkan nilai Sharpe Ratio masing-masing, dengan

mempertimbangkan sinyal tren pasar dari posisi harga Bitcoin terhadap garis SMA-nya. Dengan menggabungkan metrik performa yang disesuaikan risiko dan indikator tren teknikal, pendekatan ini bertujuan untuk memaksimalkan imbal hasil sambil meminimalkan potensi kerugian dalam lingkungan pasar kripto yang sangat fluktuatif. Sejumlah penelitian telah menyoroiti dinamika risiko dan imbal hasil unik dari aset kripto. Liu dan Tsyvinski [1] menegaskan bahwa return aset kripto lebih dipengaruhi oleh variabel pasar seperti atensi dan momentum dibandingkan variabel ekonomi tradisional. Corbet et al. [2] bahkan menyimpulkan bahwa karakteristik unik ini membuat aset kripto layak dikategorikan sebagai kelas aset baru yang membutuhkan pendekatan manajemen risiko yang berbeda.

Dalam praktik perdagangan, strategi teknikal berbasis MA telah terbukti efektif di pasar kripto. Grobys et al. [4] dan Ahmed et al. [9] menunjukkan bahwa aturan perdagangan MA sederhana dapat memberikan hasil signifikan, terutama untuk aset dengan fitur privasi tinggi. Corbet et al. [10] turut mendukung efektivitas strategi teknikal lain seperti oscillator MA dan breakout dari rentang harga sebagai pendekatan yang dapat meningkatkan performa perdagangan. Namun, pendekatan klasik dalam optimisasi portofolio seperti mean-variance framework sering kali tidak efektif untuk aset kripto, mengingat tingginya volatilitas dan distribusi return yang tidak normal. Untuk itu, pendekatan yang lebih tangguh seperti yang diusulkan Zhou [5] dengan integrasi CVaR dan estimasi kovarians lanjutan, serta pendekatan oleh Butler dan Kwon [6] yang menekankan efisiensi estimasi risiko, menjadi sangat relevan. Belakangan ini, pendekatan berbasis machine learning juga mulai diterapkan dalam pengelolaan portofolio. Bianchi et al. [7] menggunakan model pembelajaran mesin untuk memprediksi premi risiko obligasi dan berhasil meningkatkan akurasi prediksi. Shu et al. [8] mengembangkan kerangka kerja alokasi dinamis berbasis prediksi rezim pasar dengan teknik pembelajaran terawasi maupun tidak terawasi, yang menunjukkan hasil menjanjikan.

Akhirnya, integrasi antara indikator teknikal dan pembelajaran mesin menjadi arah pengembangan strategi yang lebih unggul. Kang et al. [13] menunjukkan bahwa penggabungan model deep learning dengan indikator teknikal dapat meningkatkan performa perdagangan aset kripto. Brauneis dan Sahiner [11] juga menunjukkan bahwa sentimen pasar yang dihasilkan oleh AI dapat digunakan bersama model tradisional untuk meramalkan volatilitas pasar kripto. Kemajuan ini mempertegas pentingnya pendekatan hibrida—menggabungkan analisis teknikal dan teknik komputasi modern—untuk mengelola kompleksitas pasar aset digital secara lebih adaptif dan efektif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data historis harga penutupan harian dari tujuh aset kripto utama, yaitu Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Solana (SOL), Toncoin (TON), TRON (TRX), dan Ripple (XRP). Seluruh data diambil dari API Yahoo Finance, dengan kode ticker sebagai berikut:

Tabel 1. Pemetaan Aset Kripto Terpilih ke Kode Ticker Yahoo Finance

Aset	Kode Ticker Yahoo Finance
BTC	BTC-USD
ETH	ETH-USD
BNB	BNB-USD
SOL	SOL-USD
TON	TON11419-USD
TRX	TRX-USD
XRP	XRP-USD

Ruang lingkup data mencakup periode satu tahun penuh, yakni dari 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025, agar strategi berbasis tren jangka pendek dapat dievaluasi secara komprehensif.

2.2 Pembentukan Sinyal

Untuk masing-masing aset, return dan volatilitas dihitung setiap tiga hari dengan rumus berikut:

- Return 3-hari:

$$R_{i,t}^{(3D)} = \frac{P_{i,t} - P_{i,t-3}}{P_{i,t-3}} \quad (1)$$

- Volatilitas 3-hari (simpangan baku return harian):

$$\sigma_{i,t}^{(3D)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^3 (r_{i,t-j} - \bar{r}_{i,t})^2} \quad (2)$$

Di mana:

- $R_{i,t}^{(3D)}$ adalah return kumulatif aset i selama 3 hari terakhir, dan
- $\sigma_{i,t}^{(3D)}$ adalah standar deviasi return harian pada jendela waktu tersebut.
- Sharpe Ratio 3-hari (dengan asumsi risk-free rate, $r_f = 0$):

$$SR_{i,t}^{(3D)} = \frac{R_{i,t}^{(3D)}}{\sigma_{i,t}^{(3D)}} \quad (3)$$

Secara paralel, filter tren dihitung menggunakan Simple Moving Average (SMA) dari harga Bitcoin dengan tiga parameter: SMA-50, SMA-100, dan SMA-200 hari. SMA n-hari untuk BTC:

$$SMA_n(t) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} P_{BTC,t-j} \quad (4)$$

Dimana $n \in 50,100,200$, dan $P_{BTC,t}$ adalah harga penutupan BTC pada waktu t

2.2 Strategi Alokasi

Setiap tiga hari, dilakukan rebalancing berdasarkan kondisi tren sebagai berikut:

- Kondisi Filter Tren:
 - Jika $P_{BTC,t} < SMA_n(t)$:
100% modal dialihkan ke USDT (tidak ada eksposur kripto).
 - Jika $P_{BTC,t} > SMA_n(t)$:
Modal didistribusikan secara proporsional ke aset-aset kripto yang memiliki Sharpe Ratio positif.
- Alokasi Berdasarkan Sharpe Ratio: Untuk setiap aset dengan $SR_{i,t}^{(3D)} > 0$ bobot dihitung sebagai:

$$w_{i,t} = \frac{SR_{i,t}^{(3D)}}{\sum_{j \in A_t} SR_{j,t}^{(3D)}} \quad (5)$$

Di mana A_t adalah himpunan aset dengan Sharpe Ratio positif pada waktu t ,

- Rebalancing dilakukan setiap tiga hari dan return di kompaun untuk mensimulasikan pertumbuhan portofolio dari waktu ke waktu.

2.4 Strategi Pembanding (Baseline)

Untuk menilai efektivitas strategi dinamis, dibuat model pembanding berupa strategi buy-and-hold, yaitu dengan menghitung total return masing-masing aset selama periode penelitian.

$$R^{baseline} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_{i,end} - P_{i,start}}{P_{i,start}} \right) \quad (6)$$

Di mana:

- $N = 7$ adalah jumlah aset, dan
- $P_{i,start}$ dan $P_{i,end}$ adalah harga awal dan akhir dari aset i

Perhitungan Return Masing-Masing Aset dan Rata-Rata Return Portofolio Ditampilkan Berikut Ini:

Tabel 2. Return Strategi Buy-and-Hold untuk Setiap Aset Kripto dari 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025

Aset	Kode Ticker Yahoo Finance	Return (%)
BTC	BTC-USD	118.05%
ETH	ETH-USD	50.74%

BNB	BNB-USD	121.37%
SOL	SOL-USD	91.96%
TON	TON11419-USD	147.87%
TRX	TRX-USD	137.96%
XRP	XRP-USD	257.05%

Rata-rata Return Buy-and-Hold: 132.14%

Nilai rata-rata ini digunakan sebagai acuan (benchmark) dalam mengevaluasi performa ketiga skenario strategi dinamis: SMA-50, SMA-100, dan SMA-200.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Metode Evaluasi Kinerja

Untuk mengukur efektivitas strategi alokasi dinamis yang mengandalkan filter tren berbasis SMA, penelitian ini membandingkan tiga model utama:

- SMA-50: Alokasi berdasarkan Sharpe Ratio dengan filter tren SMA 50 hari
- SMA-100: Alokasi berdasarkan Sharpe Ratio dengan filter tren SMA 100 hari
- SMA-200: Alokasi berdasarkan Sharpe Ratio dengan filter tren SMA 200 hari

Setiap model melakukan simulasi pertumbuhan portofolio dengan skema rebalancing setiap tiga hari, dimulai dari tanggal 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025. Modal awal simulasi ditetapkan sebesar USD 10.000. Sebagai pembandingan, digunakan strategi dasar buy-and-hold, di mana portofolio berisi tujuh aset kripto tersebut dialokasikan secara merata dan dipertahankan tanpa perubahan selama satu tahun penuh.

3.2 Nilai Akhir Portofolio

Pada akhir periode evaluasi, nilai kumulatif portofolio dari masing-masing strategi adalah sebagai berikut:

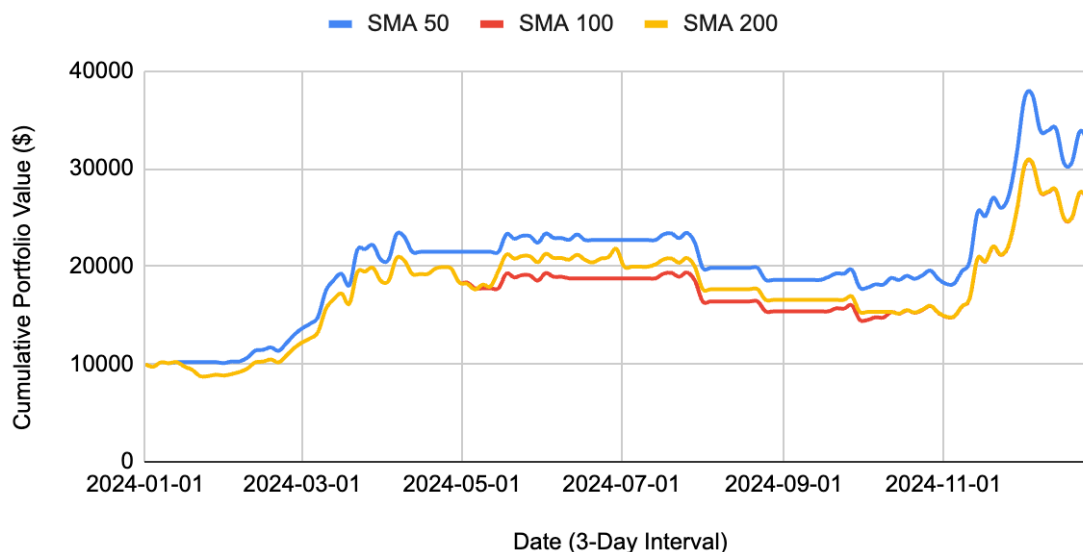
Tabel 3. Nilai Akhir Portofolio dan Return Kumulatif dari Strategi Berbasis SMA vs. Strategi Dasar Buy-and-Hold

<i>Strategy</i>	<i>Final Value (USD)</i>	<i>Growth (%)</i>
SMA-50	33,150.87	+231.51%
SMA-100	26,268.68	+162.69%
SMA-200	26,311.40	+163.11%
Baseline	-	+132.14% (avg)

Catatan: Strategi baseline buy-and-hold dihitung dari rata-rata return tahunan tujuh aset kripto: BTC, ETH, BNB, SOL, TON, TRX, dan XRP, dengan hasil rata-rata sebesar +132,14%.

Dari hasil tersebut, model SMA-50 secara signifikan mengungguli strategi lainnya, termasuk SMA-100, SMA-200, maupun strategi buy-and-hold. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan jendela tren yang lebih pendek memungkinkan model untuk merespons kondisi pasar dengan lebih cepat dan menangkap peluang pertumbuhan selama fase bullish secara lebih optimal.

Selama simulasi, strategi SMA-50 memperlihatkan performa unggul, terutama pada kuartal keempat tahun 2024 yang diwarnai oleh reli pasar kripto. Dalam periode tersebut, kemampuan SMA-50 untuk masuk lebih awal ke dalam tren naik terbukti menjadi kunci peningkatan nilai portofolio yang signifikan dibandingkan dua strategi lainnya yang lebih konservatif.



Gambar 1. Perbandingan Pertumbuhan Portofolio antara Model SMA-50, SMA-100, dan SMA-200 yang Menggunakan Alokasi Dinamis Berbasis Sharpe Ratio dari 1 Januari 2024 hingga 1 Januari 2025. Model SMA-50 Secara Signifikan Mengungguli, Terutama Selama Reli Pasar pada Kuartal IV 2024.

3.3 Perbandingan Trajektori Portofolio

Trajektori pertumbuhan strategi SMA-50 menunjukkan kecenderungan naik yang lebih tajam sejak sekitar Maret 2024. Kenaikan ini bertepatan dengan munculnya sejumlah sinyal Sharpe Ratio yang positif, disertai pergerakan harga BTC yang secara konsisten berada di atas garis SMA 50 hari. Sebaliknya, strategi SMA-100 dan SMA-200 menunjukkan pola masuk yang lebih konservatif, yang menyebabkan keterlambatan dalam memperoleh eksposur ke pasar yang sedang naik dan, akibatnya, menghasilkan akumulasi keuntungan yang lebih rendah.

Mulai kuartal kedua 2024, strategi SMA-100 dan SMA-200 mulai menunjukkan deviasi yang jelas dari SMA-50. Khususnya, strategi SMA-200 mempertahankan pendekatan paling defensif karena membutuhkan konfirmasi tren yang lebih panjang, yang sering kali membuat modal tetap berada dalam USDT. Meskipun pendekatan ini efektif dalam menghindari risiko saat volatilitas tinggi, ia juga membatasi potensi keuntungan selama periode bullish yang berkelanjutan.

3.4 Tinjauan Risiko dan Volatilitas

Meskipun fokus utama studi ini adalah pada imbal hasil, dimensi volatilitas juga memberikan wawasan penting:

- Strategi SMA-50 memiliki tingkat eksposur dan potensi penurunan (drawdown) tertinggi, namun berhasil menangkap momentum pasar lebih awal.
- SMA-100 menyajikan profil yang lebih seimbang, dengan keterlambatan masuk yang menghindari sebagian noise jangka pendek.
- SMA-200 merupakan yang paling konservatif, lebih mengutamakan konfirmasi tren daripada partisipasi awal, sehingga kehilangan sejumlah peluang dalam reli pasar yang cepat.

Temuan ini sejalan dengan teori yang telah ada, bahwa SMA dengan jangka waktu lebih pendek memang lebih responsif terhadap perubahan pasar, namun cenderung menghasilkan sinyal palsu yang lebih sering. Sebaliknya, SMA jangka panjang mengurangi frekuensi sinyal, tetapi dengan konsekuensi keterlambatan dalam merespons perubahan tren.

3.5 Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam pasar yang sangat volatil dan digerakkan oleh momentum seperti kripto, penggunaan filter tren jangka pendek seperti SMA-50 dapat meningkatkan imbal hasil secara signifikan apabila dikombinasikan dengan strategi alokasi dinamis berbasis Sharpe Ratio. Namun, bagi investor yang lebih mengutamakan kestabilan pertumbuhan portofolio, penggunaan SMA yang lebih panjang mungkin lebih sesuai untuk mengurangi eksposur selama periode ketidakpastian.

Lebih lanjut, seluruh strategi dinamis berbasis SMA terbukti memberikan imbal hasil yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan buy-and-hold yang bersifat statis. Hal ini memperkuat hipotesis inti bahwa penggabungan antara optimisasi Sharpe Ratio dan filter tren mampu mengungguli strategi investasi pasif dalam konteks aset kripto.

3.6 Ringkasan Statistik dan Analisis Risiko

Sebagai pelengkap evaluasi return kumulatif, tabel berikut menyajikan ringkasan statistik dari ketiga strategi dinamis, meliputi nilai akhir portofolio, total return, volatilitas tahunan, deviasi negatif (downside deviation), serta Sharpe Ratio tahunan. Seluruh metrik dihitung berdasarkan return 3-harian selama periode simulasi satu tahun penuh (1 Januari 2024 – 1 Januari 2025).

Tabel 3. Ringkasan Kinerja Strategi Berbasis SMA (Rebalancing Setiap 3 Hari)

<i>Strategy</i>	<i>Final Value (USD)</i>	<i>Total Return (%)</i>	<i>Annualized Volatility (%)</i>	<i>Downside Deviation (%)</i>	<i>Annualized Sharpe Ratio</i>
SMA-50	33,150.87	231.51%	61.12%	35.53%	2.51
SMA-100	26,268.68	162.69%	61.34%	33.86%	1.98
SMA-200	26,311.40	162.69%	61.34%	33.86%	1.98

Strategi SMA-50 unggul dalam hal performa absolut maupun risiko-terkoreksi. Dengan nilai akhir portofolio sebesar USD 33.150,87 dan return total +231,51%, strategi ini juga mencatat Sharpe Ratio tahunan tertinggi sebesar 2,51. Performa tersebut disertai dengan sedikit peningkatan volatilitas dan deviasi negatif dibanding dua strategi lainnya.

Sebaliknya, baik strategi SMA-100 maupun SMA-200 menunjukkan nilai akhir dan return yang identik, yakni +162,69%, namun dengan efisiensi risiko yang lebih rendah. Hal ini tercermin dari Sharpe Ratio yang lebih kecil (1,98), yang menunjukkan bahwa return yang dihasilkan per unit risiko relatif kurang optimal. Kemungkinan besar, hasil ini dipengaruhi oleh keterlambatan mereka dalam kembali masuk pasar saat tren positif muncul, akibat jendela konfirmasi tren yang lebih panjang.

Ketiga model dinamis berhasil mengungguli return baseline buy-and-hold sebesar +132,14%, yang kembali menegaskan efektivitas strategi alokasi berbasis Sharpe Ratio jika digabungkan dengan filter tren dalam menghadapi pasar kripto yang bergerak cepat. Temuan ini juga memperlihatkan bahwa SMA jangka pendek, seperti 50 hari, mampu memberikan pertumbuhan modal yang lebih unggul, meskipun dengan risiko jangka pendek yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memperkenalkan sebuah strategi alokasi aset kripto dinamis yang memadukan pembobotan berdasarkan Sharpe Ratio dengan penyaringan tren menggunakan indikator SMA. Dengan frekuensi rebalancing setiap tiga hari dan menggunakan data historis sepanjang tahun 2024, studi ini mengevaluasi tiga konfigurasi SMA: SMA-50, SMA-100, dan SMA-200. Seluruh strategi tersebut menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan pendekatan pasif buy-and-hold, dengan SMA-50 mencatatkan return tertinggi (+231,51%) serta performa risiko-terkoreksi terbaik (Sharpe Ratio: 2,51). Hasil ini mengonfirmasi bahwa filter tren jangka pendek dapat secara signifikan meningkatkan pertumbuhan portofolio dalam pasar yang bergejolak seperti kripto, karena memungkinkan entri yang lebih cepat ke tren bullish. Meski demikian, filter jangka pendek juga membawa konsekuensi berupa peningkatan volatilitas dalam jangka pendek. Sebaliknya, SMA dengan periode lebih panjang memang memberikan eksposur yang lebih stabil, namun cenderung tertinggal saat pasar bergerak cepat, akibat keterlambatan dalam mengenali perubahan arah tren. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini mendukung efektivitas pendekatan hibrida yang menggabungkan metode pengukuran risiko statistik dan teknik trend-following dalam pengelolaan portofolio kripto. Pendekatan ini menawarkan keseimbangan antara optimalisasi imbal hasil dan perlindungan terhadap risiko, menjadikannya cocok diterapkan oleh investor yang menghadapi dinamika pasar dengan volatilitas tinggi.

REFERENCES

- [1]. Y. Liu and A. Tsyvinski, "Risks and Returns of Cryptocurrency," *Rev. Financ. Stud.*, vol. 34, no. 6, pp. 2689–2727, May 2021, doi: 10.1093/rfs/hhaa113.
 - [2]. S. Corbet, B. Lucey, A. Urquhart, and L. Yarovaya, "Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis," *Int. Rev. Financ. Anal.*, vol. 62, pp. 182–199, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.irfa.2018.09.003.
 - [3]. R. Auer et al., "Crypto Trading and Bitcoin Prices: Evidence from a New Database of Retail Adoption," *SSRN Electron. J.*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4357559.
 - [4]. K. Grobys, S. Ahmed, and N. Sapkota, "Technical trading rules in the cryptocurrency market," *Finance Res. Lett.*, vol. 32, p. 101396, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.frl.2019.101396.
 - [5]. Q. Zhou, "Portfolio Optimization with Robust Covariance and Conditional Value-at-Risk Constraints," Jun. 02, 2024, arXiv: arXiv:2406.00610. doi: 10.48550/arXiv.2406.00610.
- A. Butler and R. Kwon, "Covariance estimation for risk-based portfolio optimization: an integrated approach," *J. Risk*, 2021, doi: 10.21314/JOR.2021.020.

- [6]. D. Bianchi, M. Büchner, and A. Tamoni, "Bond Risk Premiums with Machine Learning," *Rev. Financ. Stud.*, vol. 34, no. 2, pp. 1046–1089, Jan. 2021, doi: 10.1093/rfs/hhaa062.
- [7]. Y. Shu, C. Yu, and J. M. Mulvey, "Dynamic Asset Allocation with Asset-Specific Regime Forecasts," Aug. 16, 2024, arXiv: arXiv:2406.09578. doi: 10.48550/arXiv.2406.09578.
- [8]. S. Ahmed, K. Grobys, and N. Sapkota, "Profitability of technical trading rules among cryptocurrencies with privacy function," *Finance Res. Lett.*, vol. 35, p. 101495, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.frl.2020.101495.
- [9]. S. Corbet, V. Eraslan, B. Lucey, and A. Sensoy, "The effectiveness of technical trading rules in cryptocurrency markets," *Finance Res. Lett.*, vol. 31, pp. 32–37, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.frl.2019.04.027.
- [10]. Brauneis and M. Sahiner, "Crypto Volatility Forecasting: Mounting a HAR, Sentiment, and Machine Learning Horserace," *Asia-Pac. Financ. Mark.*, Dec. 2024, doi: 10.1007/s10690-024-09510-6.
- [11]. V. Dobrynskaya, "Cryptocurrency Momentum and Reversal," *J. Altern. Invest.*, vol. 26, no. 1, pp. 65–76, Jun. 2023, doi: 10.3905/jai.2023.1.189.
- [12]. M. Kang, J. Hong, and S. Kim, "Harnessing technical indicators with deep learning based price forecasting for cryptocurrency trading," *Phys. Stat. Mech. Its Appl.*, vol. 660, p. 130359, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.physa.2025.130359.
- [13]. D. Ardia, K. Bluteau, and K. Boudt, "Questioning the news about economic growth: Sparse forecasting using thousands of news-based sentiment values," *Int. J. Forecast.*, vol. 35, no. 4, pp. 1370–1386, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.ijforecast.2018.10.010.