

DINAMIKA PERUBAHAN STRUKTUR MULTIFRAKTAL DAN EFISIENSI PASAR: ANALISIS KOMPARATIF INDEKS SAHAM GLOBAL DAN ASET KRIPTO DENGAN PENDEKATAN MFDFA-EMD

DYNAMICS OF MULTIFRACTAL STRUCTURE CHANGES AND MARKET EFFICIENCY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL STOCK INDICES AND CRYPTO ASSETS USING THE MFDFA-EMD APPROACH

Roja Putera Mahyudin^{1*}, Alfrin Ernest Marthen Usmany²

¹Departemen Manajemen Universitas Islam Kalimantan

²Program Studi Akuntansi Universitas Pattimura

¹Jalan Adhyaksa Nomor 2 (70123), Kayu Tangi, Banjarmasin, Indonesia

²Jalan Ir. M. Putuhena, Poka Ambon, Maluku, Indonesia

*Email: mrojaputera@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika efisiensi pasar dan kompleksitas struktural pada pasar modal tradisional dan pasar aset digital melalui pendekatan ekonofisika. Menggunakan metode Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) dengan integrasi Empirical Mode Decomposition (EMD), penelitian ini menguji data harian indeks S&P 500, NASDAQ, Bitcoin, dan Ethereum dari tahun 2010 hingga 2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh aset berada dalam status tidak efisien secara struktural, yang ditandai dengan variasi eksponen Hurst ($h(q)$) yang drastis pada berbagai orde fluktuasi. Meskipun indeks saham menunjukkan nilai Hurst mendekati 0.5 secara rata-rata, lebar spektrum singulari yang ekstrem ($\Delta\alpha > 0.8$) membuktikan adanya ketergantungan skala non-linear yang menolak Efficient Market Hypothesis (EMH). Aset kripto, khususnya Bitcoin, menunjukkan tingkat multifraktalitas tertinggi ($\Delta\alpha = 0.9352$) dan sifat persistensi yang kuat ($H = 0.5581$), yang mengindikasikan dominasi memori jangka panjang dan sensitivitas tinggi terhadap spekulasi. Temuan ini mengonfirmasi eksistensi irrational exuberance sesuai tesis Robert Shiller, di mana mekanisme harga lebih banyak digerakkan oleh perilaku herding dan guncangan informasi daripada nilai fundamental. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pasar keuangan modern, terutama sektor kripto, memiliki struktur fraktal yang kompleks yang memerlukan pendekatan manajemen risiko non-linear.

Kata kunci: Hipotesis pasar efisien, pasar keuangan, manajemen risiko

Abstract

This study aims to analyze the dynamics of market efficiency and structural complexity in traditional capital markets and digital asset markets through an econophysics approach. Using the Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) method with the integration of Empirical Mode Decomposition (EMD), this study examines daily data of the S&P 500, NASDAQ, Bitcoin, and Ethereum indices from 2010 to 2024. The analysis results show that all assets are in a structurally inefficient state, characterized by drastic variations in the Hurst exponent ($h(q)$) at various fluctuation orders. Although the stock index shows a Hurst value close to 0.5 on average, the extreme width of the singular spectrum ($\Delta\alpha > 0.8$) proves the existence of a non-linear scale dependence that rejects the Efficient Market Hypothesis (EMH). Crypto assets, particularly Bitcoin, exhibit the highest degree of multifractality ($\Delta\alpha = 0.9352$) and strong persistence ($H = 0.5581$), indicating the dominance of long-term memory and high sensitivity to speculation. These findings confirm the existence of irrational exuberance, as proposed by Robert Shiller, where price mechanisms are driven more by herding behavior and information shocks than by fundamental values. This study concludes that modern financial markets, particularly the crypto sector, possess a complex fractal structure that requires a non-linear risk management approach.

Keywords: Efficient Market Hypothesis, Financial Markets, Risk Management

How to cite : Mahyudin R.P., & Usmany A. E. M. (2025). DINAMIKA PERUBAHAN STRUKTUR MULTIFRAKTAL DAN EFISIENSI PASAR: ANALISIS KOMPARATIF INDEKS SAHAM GLOBAL DAN ASET KRIPTO DENGAN PENDEKATAN MFDFA-EMD. *Kupna Akuntansi: Kumpulan Artikel Akuntansi*, 6(2), 56-63.

DOI : <https://doi.org/10.30598/kupna.v6.i1.p56-63>

License :  This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Copyright : ©2025 Author(s)

1. Pendahuluan

Pasar keuangan global dalam paradigma ekonomi klasik dijelaskan melalui Efficient Market Hypothesis (EMH) yang menyatakan bahwa harga aset mencerminkan seluruh informasi tersedia dan bergerak dalam pola random walk yang acak (Fama, 1970). Namun, realitas pasar sering kali menunjukkan anomali seperti volatilitas ekstrem dan herding behavior yang mengindikasikan bahwa pergerakan harga tidak selalu bersifat linear atau acak murni. Keterbatasan EMH dalam menjelaskan dinamika pasar yang kompleks ini mendorong munculnya Fractal Market Hypothesis (FMH), yang memandang pasar sebagai sistem non-linear dengan sifat kemiripan diri (self-similarity) di berbagai skala waktu.

Dalam perspektif fraktal, efisiensi pasar dibedakan melalui dimensi strukturnya; pasar yang bersifat monofraktal dianggap efisien karena memiliki pola scaling yang seragam, sementara pasar multifraktal menunjukkan ketidakefisienan akibat adanya memori jangka panjang dan struktur volatilitas yang kompleks (Shrestha, 2019). Fenomena ini menjadi sangat relevan ketika membandingkan pasar modal tradisional yang telah mapan seperti S&P 500 dan NASDAQ dengan pasar aset digital yang relatif baru dan volatil seperti Bitcoin dan Ethereum. Perbedaan fundamental dalam mekanisme perdagangan dan basis investor antara kedua kelas aset ini memicu pertanyaan besar mengenai sejauh mana derajat irrasionalitas dan kompleksitas fraktal mendominasi masing-masing pasar.

Untuk mendeteksi struktur tersebut secara akurat, penelitian ini menerapkan metode Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) dengan pengembangan terbaru menggunakan teknik Empirical Mode Decomposition (EMD) sebagaimana diusulkan oleh Rydin et al. (2022). Penggunaan EMD sebagai alat detrending memberikan keunggulan adaptif dalam menghilangkan tren non-stasioner pada data finansial dibandingkan metode polinomial standar. Pendekatan ini memungkinkan ekstraksi eksponen Hurst yang digeneralisasi $h(q)$ dan lebar spektrum singulari secara lebih presisi untuk membedakan karakteristik dinamika pasar yang digerakkan oleh hukum deterministik maupun perilaku chaotic.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika perubahan struktur multifraktal pada indeks saham utama dan aset kripto guna mengidentifikasi tingkat efisiensi relatif di antara keduanya. Dengan membedah lebar spektrum multifraktal, studi ini berupaya membuktikan eksistensi irrational exuberance sebagaimana diusulkan oleh Shiller (2015) di tengah guncangan pasar modern. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis bagi literatur ekonofisika serta manfaat praktis bagi pelaku pasar dalam memetakan risiko non-linear pada portofolio aset tradisional maupun digital.

2. Tinjauan Pustaka

Konsep random walk (gerak acak), yang merupakan komponen sentral dari hipotesis pasar efisien (EMH), berasumsi bahwa harga di pasar keuangan bergerak secara acak dan tidak terprediksi (Malkiel & Fama, 1970). Gagasan random walk sering digunakan untuk mendukung ide efisiensi pasar, karena menyarankan bahwa harga sepenuhnya mencerminkan semua informasi yang tersedia, sehingga mustahil untuk memperoleh keuntungan dari ketidakefisienan pasar (Fama, 1970). Oleh karena itu, strategi investasi apa pun yang menggunakan laporan keuangan, laporan berita, harga historis, atau informasi orang dalam tidak akan membantu dalam menemukan aset yang dinilai terlalu rendah (undervalued).

Namun, asumsi pasar efisien mungkin tidak terpenuhi karena berbagai aspek seperti lingkungan yang tidak menguntungkan (Karampinin & Hevas, 2011), volatilitas pasar (Shiller, 2015), dan rasionalitas investor (Tversky & Kahneman, 1992). Faktor-faktor ini mempengaruhi perilaku pasar keuangan sehingga menyimpang dari asumsi pasar efisien. Pasar yang efisien seharusnya stabil, harga berada pada nilai yang wajar, dan nilai intrinsik selaras dengan harga. Meskipun harga dapat menjadi undervalued atau overvalued, hal tersebut diperbolehkan selama kesalahan atau

penyimpangannya bersifat acak. Rasionalitas investor memainkan peran penting dalam teori ini, yang mana banyak studi empiris menemukan masalah di dalamnya.

Teori ini dapat dilihat dari sudut pandang yang berbeda. Fractal Market Hypothesis (FMH/Hipotesis Pasar Fraktal) membawa gagasan bahwa efisiensi pasar dapat diuji melalui keacakan harga. Investor rasional mendapatkan semua informasi yang tersedia untuk berinvestasi secara "rasional" yang menciptakan gerak acak dalam pergerakan harga. Konsep keacakan ini serupa dengan fraktal. Fraktal adalah bentuk geometris yang memiliki kemiripan diri (self-similarity) dalam berbagai skala. Bentuk ini dapat diperbesar atau diperkecil untuk mendapatkan hasil yang persis sama. Fraktal dapat mengandung keacakan atau perilaku kacau (chaotic) di dalam sistemnya. Sistem ini disebut deterministic chaos, yang digunakan untuk menggambarkan pola kacau atau keacakan yang diatur oleh hukum deterministik.

Salah satu dari banyak fraktal menarik yang dapat menjelaskan cara kerja pasar keuangan adalah diagram bifurkasi. Diagram bifurkasi merepresentasikan nilai-nilai stabil dan nilai-nilai tidak stabil (kekacauan/keacakan) dari suatu fungsi matematika. Logistic map dengan fungsi $X_{(n+1)} = rX_n + (1 - X_n)$ menghasilkan tiga fase, yaitu: titik tetap (fixed points/stabil), periode osilasi, dan chaotic attractors (tidak stabil). Ini adalah pola kacau yang muncul dari hukum deterministik atau fungsi matematika. Logistic map rupanya memiliki hubungan dengan Mandelbrot set, fraktal terkenal yang ditemukan oleh Benoit Mandelbrot pada tahun 70-an. Diagram bifurkasi adalah bagian dari Mandelbrot set dengan struktur tiga fase yang sama dalam dua dimensi.

Fractal Market Hypothesis menjelaskan pasar keuangan dari perspektif fraktal. Terdapat beberapa fase dalam pasar keuangan termasuk efisien/random walk yang diindikasikan oleh chaotic attractors. Dalam diagram bifurkasi, chaotic attractors terjadi pada fase ketiga ketika nilai r mencapai 3,57. Dalam konteks efisiensi pasar, efisiensi pasar keuangan dapat dihitung menggunakan deteksi fraktal pada fluktuasi harga. Biasanya, dalam metode tradisional, jika pasar menunjukkan perilaku acak maka ia efisien. Namun, menggunakan metode fraktal, jika pasar menunjukkan sifat monofraktal maka ia efisien, dan jika pasar menunjukkan sifat multifraktal maka ia tidak efisien.

Dalam ranah pasar keuangan, perbedaan antara dimensi monofraktal dan multifraktal sangat penting saat mempertimbangkan efisiensi pasar. Pasar yang dapat dijelaskan oleh dimensi fraktal tunggal disebut sebagai sistem monofraktal dan sebaliknya. Intinya, hal ini menyiratkan bahwa pasar menunjukkan derajat kemiripan diri atau penskalaan (scaling) yang seragam dan konsisten di berbagai kerangka waktu. Pasar monofraktal berarti pergerakan harganya mengikuti pola perilaku tunggal yang konsisten dari waktu ke waktu, sebagaimana diindikasikan oleh eksponen Hurst tunggal dalam konteks analisis fraktal (Shrestha, 2019).

Sebaliknya, ketika suatu pasar tidak dapat didikte oleh dimensi fraktal tunggal, ia disebut sebagai sistem multifraktal (Rydin et al, 2022). Dalam pasar multifraktal, derajat kemiripan diri dan penskalaan bervariasi di berbagai skala waktu atau konteks yang berbeda. Ini menyiratkan bahwa dinamika pasar dicirikan oleh sekumpulan proses yang mendasari, yang masing-masing memiliki sifat penskalaan yang berbeda. Dalam istilah praktis, perilaku multifraktal menunjukkan bahwa efisiensi pasar dapat berfluktuasi secara signifikan di berbagai kerangka waktu atau dalam menanggapi kondisi yang berubah.

Terdapat beberapa studi dengan metode terbaru untuk menguji efisiensi pasar, misalnya studi oleh Kilic et al (2023) yang memberikan bukti menggunakan pendekatan Fourier non-linear quantile unit root (FNQKS), Diniz-maganini et al (2023) yang membandingkan efisiensi nilai tukar mata uang asing di negara-negara BRICS, serta Mensi et al (2022) yang menguji multifraktalitas asimetris pada beberapa kelas aset termasuk mata uang kripto dan komoditas. Namun, efektivitas metode-metode ini masih diperdebatkan. Rydin et al (2022) mengembangkan analisis multifraktal menggunakan Empirical Mode Decomposition (EMD) — dekomposisi deret waktu Hilbert-Huang — sebagai alat detrending dalam Python. Keandalan dan efektivitas metode ini diuji oleh Mahyudin

et al. (2022) melalui sampel data besar yang mencakup lebih dari 23 tahun, meliputi 343 perusahaan AS dan 148 perusahaan Tiongkok. Sebagai kesimpulan, metode tersebut secara efektif menunjukkan ketangguhannya dalam mengevaluasi efisiensi pasar melalui data jangka panjang yang ekstensif dari perusahaan AS dan Tiongkok.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis* (MFDFA) untuk mengidentifikasi efisiensi pasar, kemudian mengintegrasikan analisis multifraktal tersebut ke dalam model relevansi nilai (*value relevance model*). Pengembangan terbaru MFDFA oleh (Rydin et al, 2022) digunakan dalam penelitian ini, yang memanfaatkan *Empirical Mode Decomposition* (EMD) sebagai teknik *detrending* serta kode Python yang efisien untuk proses penghitungan.

1. Indeks Saham (Pasar Tradisional):

- a. S&P 500 (^GSPC) sebagai representasi perusahaan berkapitalisasi besar di AS.
- b. NASDAQ Composite (^IXIC) sebagai representasi sektor teknologi dan pertumbuhan.

2. Mata Uang Kripto (Pasar Digital):

- a. Bitcoin (BTC-USD) sebagai aset kripto utama.
- b. Ethereum (ETH-USD) sebagai aset kripto dengan utilitas kontrak pintar

MFDFA mempelajari varians dari fluktuasi suatu proses tertentu dengan mempertimbangkan peningkatan segmen-segmen dalam deret waktu (Rydin et al., 2022) [hal. 2]. Pertama, lakukan detrending pada data deret waktu untuk menghilangkan tren atau penyimpangan (drifts) yang bersifat tidak stasioner (non-stationary). Metode yang umum digunakan adalah polynomial detrending, di mana Anda mencocokkan fungsi polinomial ke dalam data, lalu mengurangnya untuk mendapatkan nilai sisa (residuals)

$$Y = \sum_{k=1}^i (X_k - \mu_X), \text{ for } i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

$$F(v, s) = 1/2 \sum_{k=1}^i [(Y(v-1)s + i) - (Y(v-1)s + i)]^2 \quad (2)$$

$$F_q(s) = \{1/Ns \sum_{v=1}^{Ns} [F(v, s)]^{q/2}\}^{1/q} \quad (3)$$

Hitung eksponen Hurst yang digeneralisasi $h(q)$ untuk setiap segmen. Eksponen Hurst ditentukan dengan menggunakan 'kemiringan (slope) dari kurva $F_q(s)$ pada plot log-log' [hal. 2]. Jika data memiliki sifat monofraktal, maka nilai $h(q)$ tidak bergantung pada nilai q (tidak menggunakan variasi q). Untuk monofraktal digunakan nilai $q = 2$, sedangkan untuk multifraktal digunakan rentang nilai $q = \{-10; 10\}$

$$F_q(s) \sim s^{h(q)} \quad (4)$$

$$\tau(q) = qh(q) - 1 \quad (5)$$

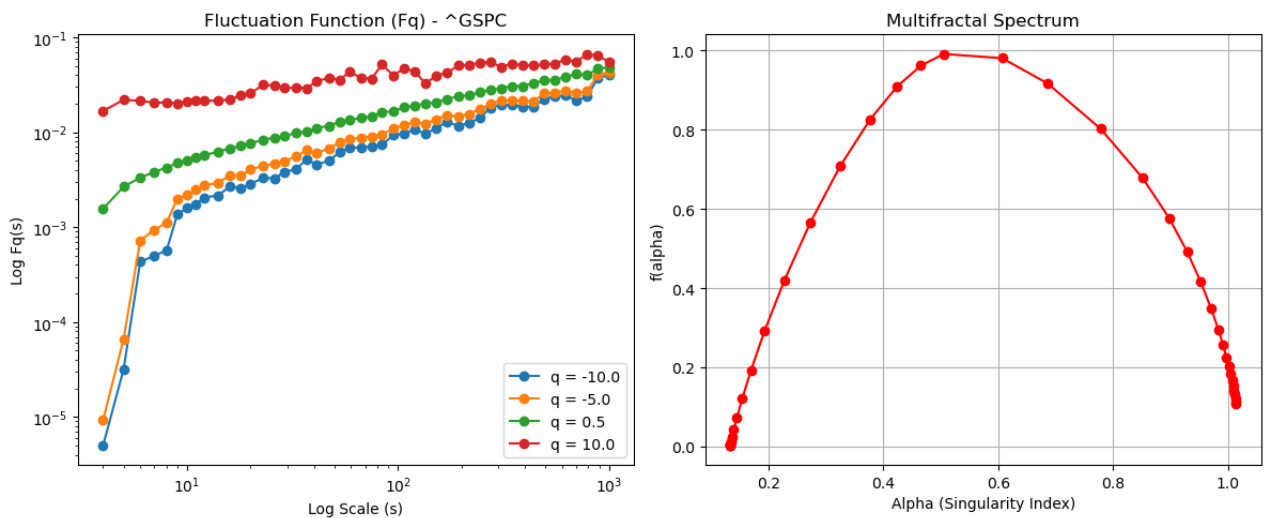
4. Hasil dan Pembahasan

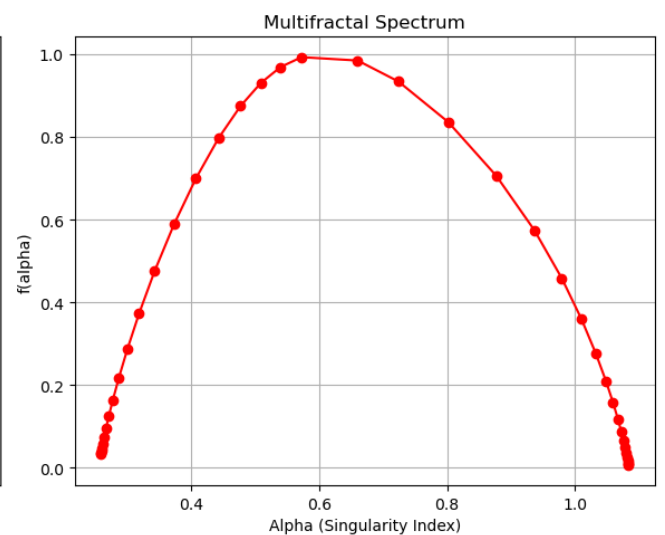
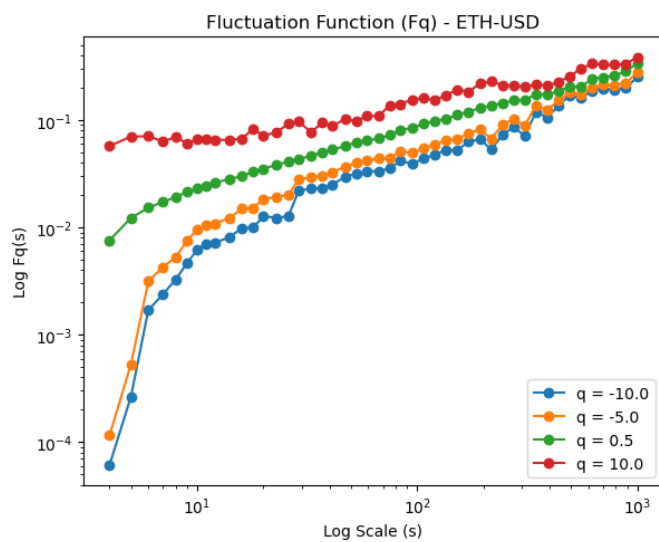
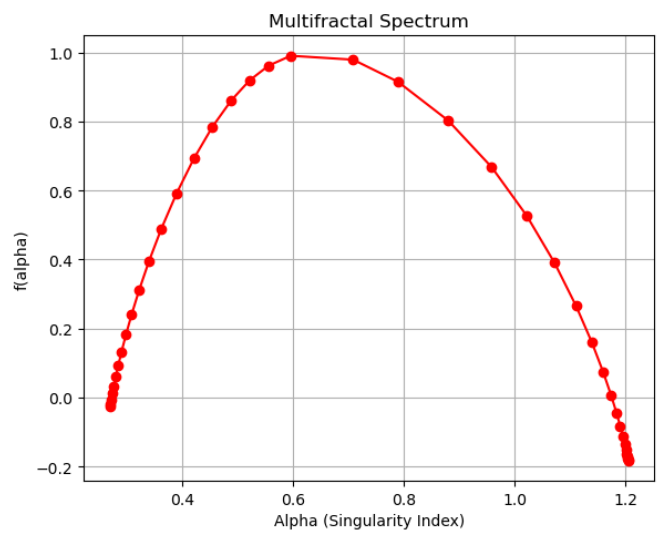
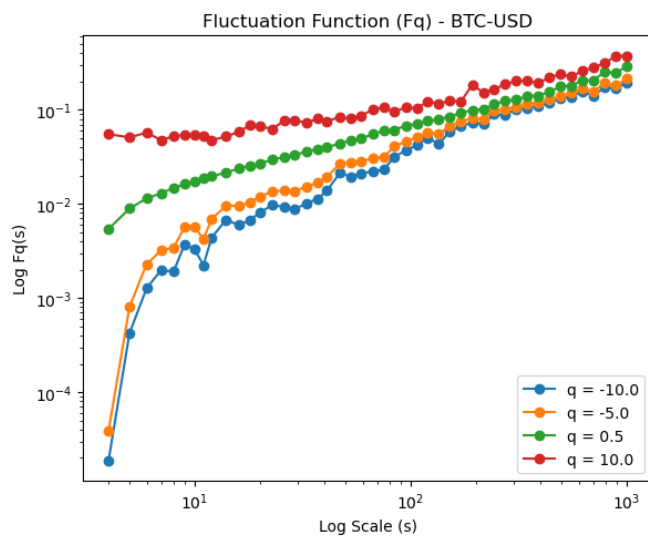
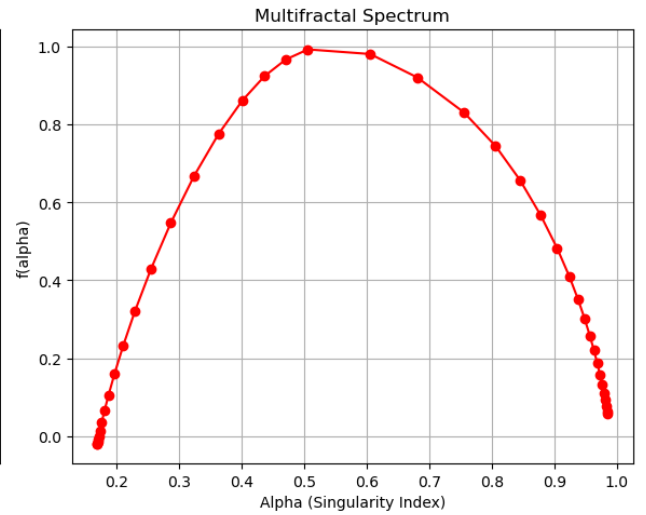
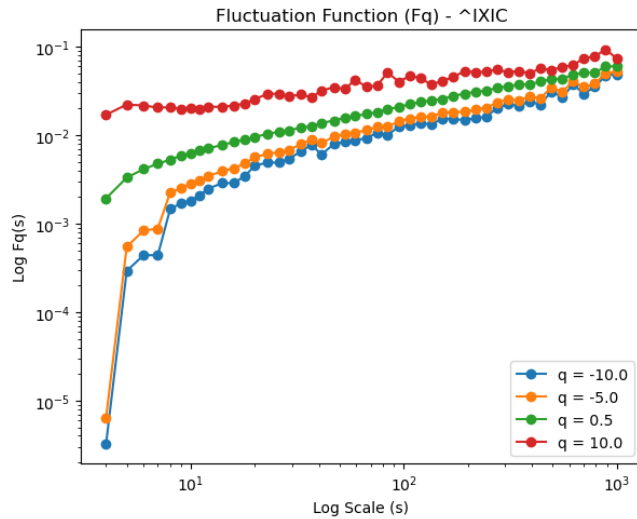
4.1 Hasil Analisis MFDFA

Berdasarkan pengolahan data menggunakan metode Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA), diperoleh parameter statistik utama yang mencakup Hurst Exponent rata-rata (H pada $q=2$), rentang nilai Hurst ($h_{\max} - h_{\min}$), dan lebar spektrum singulari ($\Delta\alpha$). Hasil perhitungan untuk keempat aset disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.1 Ringkasan Parameter MFDFA Aset Keuangan

Aset Analisis	H (q=2)	Rentang h(q)	Diff (h)	Lebar Spektrum ($\Delta\alpha$)	Status Struktur
S&P 500 (^GSPC)	0.4639	0.9255 - 0.2331	0.6924	0.8812	Extreme Multifractality
NASDAQ (^IXIC)	0.4709	0.8912 - 0.2714	0.6198	0.8160	Extreme Multifractality
Bitcoin (BTC-USD)	0.5581	1.0868 - 0.3726	0.7142	0.9352	Extreme Multifractality
Ethereum (ETH-USD)	0.5403	0.9843 - 0.3560	0.6283	0.8242	Extreme Multifractality





4.2 Analisis Efisiensi Pasar (Fama vs Fractal Market Hypothesis)

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh aset yang diuji berada dalam status tidak efisien secara struktural. Meskipun nilai eksponen Hurst (H) pada orde $q=2$ untuk indeks saham ($^{\wedge}\text{GSPC}$: 0.4639 dan $^{\wedge}\text{IXIC}$: 0.4709) terlihat mendekati angka 0.5 yang secara teoretis mendukung asumsi random walk, namun penyebaran garis fluktuasi yang sangat lebar (masing-masing sebesar 0.6924 dan 0.6198) membuktikan adanya ketergantungan skala (scaling laws) yang kuat. Di sisi lain, aset kripto menunjukkan sifat persistensi yang lebih signifikan ($H > 0.5$), dengan Bitcoin mencatatkan angka tertinggi sebesar 0.5581. Temuan ini mengindikasikan bahwa harga aset kripto memiliki 'memori' jangka panjang yang lebih tebal dibandingkan indeks saham konvensional. Secara keseluruhan, variasi nilai $h(q)$ yang drastis pada berbagai orde q memaksa penolakan terhadap Efficient Market Hypothesis (EMH) yang dikemukakan oleh Eugene Fama (1970). Hal ini mengonfirmasi bahwa pasar tidak bergerak secara acak murni, melainkan beroperasi dalam struktur fraktal yang kompleks dan non-linear.

4.3 Analisis Kompleksitas dan Psikologi Pasar (Teori Robert Shiller)

Data hasil penelitian mengonfirmasi bahwa seluruh aset yang dianalisis berada dalam kategori extreme multifractality. Temuan ini ditunjukkan oleh nilai lebar spektrum ($\Delta\alpha$) yang sangat tinggi, terutama pada Bitcoin (0.9352) dan S&P 500 (0.8812), yang menjadi indikator kuat eksistensi fenomena irrational exuberance. Selaras dengan tesis Robert Shiller (2015), lebarnya spektrum ini mencerminkan dominasi perilaku herding (ikut-ikutan) serta volatilitas pasar yang lebih banyak digerakkan oleh sentimen informasi dibandingkan nilai fundamentalnya. Struktur multifraktal yang ekstrem tersebut menegaskan bahwa pasar saat ini didominasi oleh guncangan non-linear dan 'gelembung informasi'. Khusus pada aset kripto, tingginya derajat multifraktalitas menunjukkan sensitivitas yang luar biasa terhadap narasi global dan spekulasi, di mana dinamika harga bergerak jauh melampaui batas kewajaran nilai intrinsiknya.

4.4 Pembahasan Dinamika Perubahan Struktur

Penyebaran nilai Hurst yang lebar ($\text{Diff} > 0.6$) pada semua aset menandakan bahwa pasar merespons guncangan (seperti guncangan geopolitik atau krisis) dengan cara yang tidak seragam. Fluktuasi kecil dan fluktuasi besar memiliki dinamika scaling yang berbeda. Dalam konteks Emas (jika dibandingkan dengan data ini), aset kripto dan indeks saham menunjukkan "kekacauan" fraktal yang serupa, di mana guncangan eksternal meningkatkan kompleksitas spektrum singulari. Hal ini memperkuat argumen bahwa dalam kondisi guncangan global, mekanisme harga di pasar saham maupun kripto kehilangan rasionalitasnya dan terjebak dalam dinamika multifraktal yang ekstrem.

5. Kesimpulan

Keempat aset yang dianalisis ($^{\wedge}\text{GSPC}$, $^{\wedge}\text{IXIC}$, BTC-USD, dan ETH-USD) secara konsisten menunjukkan struktur multifraktal yang kuat dengan nilai Delta Alpha $\Delta\alpha$ di atas ambang batas 0.8. Hal ini membuktikan bahwa pergerakan harga aset-aset tersebut memiliki tingkat kompleksitas yang sangat tinggi dan dipengaruhi oleh berbagai skala volatilitas yang tidak seragam. Penelitian ini berhasil memberikan bukti empiris untuk menolak Efficient Market Hypothesis (EMH) dari Eugene Fama pada seluruh aset. Meskipun nilai Hurst (H) rata-rata untuk indeks saham mendekati 0.5, rentang nilai Hurst yang lebar ($\text{Diff} > 0.6$) menunjukkan adanya "memori" dan ketergantungan skala struktural yang membuat harga tidak bergerak secara acak murni (random walk).

Status Extreme Multifractality pada semua aset mendukung teori Irrational Exuberance dari Robert Shiller. Lebarnya spektrum singulari menunjukkan bahwa pasar didominasi oleh perilaku irrasional, sentimen kepanikan, dan fenomena herding (ikut-ikutan), di mana informasi geopolitik dan sosial sering kali lebih dominan daripada nilai fundamental. Di antara keempat aset tersebut,

Bitcoin (BTC-USD) menunjukkan derajat multifraktalitas tertinggi ($\Delta\alpha = 0.9352$) dan persistensi terkuat ($H = 0.5581$). Hal ini menandakan bahwa Bitcoin adalah aset yang paling tidak efisien dan paling rentan terhadap spekulasi serta guncangan psikologis pasar dibandingkan indeks saham konvensional.

6. Daftar Pustaka

- Diniz-Maganini, N., Rasheed, A.A. and Sheng, H.H., 2023. Price efficiency of the foreign exchange rates of BRICS countries: A comparative analysis. *Latin American Journal of Central Banking*, 4(1), p.100081. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.latab.2022.100081>.
- Fama, E.F., 1970. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), p.383. Available at: <https://doi.org/10.2307/2325486>.
- Kakinaka, S. and Umeno, K., 2022. Cryptocurrency market efficiency in short and long-term horizons during COVID-19: An asymmetric multifractal analysis approach. *Finance Research Letters*, 46.
- Karampinis, N.I. and Hevas, D., 2011. Mandating IFRS in an unfavorable environment: The Greek experience. *The International Journal of Accounting*, 46(3), pp.304–332.
- Kilic E, Yavuz E. Pazarci S. Asim K. 2023. Analyzing the efficient market hypothesis with asymmetric persistence in cryptocurrencies: Insights from the Fourier non-linear quantile unit root approach. *Finance Research Letters*. Volume 58. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612323009005>
- Mahyudin, R.P. and Fuad, G., 2023. The effect of multifractal detrended fluctuation analysis on value relevance: An investigation of the stock market in the US and China. Doctoral thesis, UNIP: Fakultas Ekonomika dan Bisnis. Available at: <https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/23002>.
- Malkiel, B.G. and Fama, E.F., 1970. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), pp.383–417. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1970.tb00518.x>.
- Mensi, W., Sensoy, A., Vo, X.V. and Kang, S.H., 2022. Pricing efficiency and asymmetric multifractality of major asset classes before and during COVID-19 crisis. *North American Journal of Economics and Finance*, 62. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101773>.
- Mnif, E., Salhi, B., Trabelsi, L. and Jarbou, A., 2022. Efficiency and herding analysis in gold-backed cryptocurrencies. *Heliyon*, 8(12). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11982>.
- Nazlioglu, S., Pazarci, S., Kar, A. and Varol, O., 2023. Efficient market hypothesis in emerging stock markets: Gradual shifts and common factors in panel data. *Applied Economics Letters*, pp.1–7.
- Rydin, L., Hassan, G., Kurths, J. and Witthaut, D., 2022. MFDFA: Efficient multifractal detrended fluctuation analysis in Python. *Computer Physics Communications*, 273.
- Shiller, R.J., 2015. Irrational exuberance. Princeton University Press. Available at: <https://doi.org/10.2307/j.ctt1287kz5>.
- Shrestha, K., 2019. Multifractal detrended fluctuation analysis of return on Bitcoin. *International Review of Finance*, 21(1), pp.312–323. Available at: <https://doi.org/10.1111/irfi.12256>.
- Tversky, A. and Kahneman, D., 1992. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), pp.297–323. Available at: <https://doi.org/10.1007/bf00122574>.