

# Penggunaan Quaternion dalam Pemodelan Pergerakan Volatilitas Multidimensi di Pasar Modal

Peter Wongsoredjo - 13523039<sup>1,2</sup>

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

<sup>1</sup>[13523039@itb.ac.id](mailto:13523039@itb.ac.id), <sup>2</sup>[peterwongsoredjo@gmail.com](mailto:peterwongsoredjo@gmail.com)

**Abstrak**—Analisis volatilitas harga instrumen pasar modal melibatkan berbagai macam dimensi parameter, seperti sentimen pasar, kondisi makroekonomi, kebijakan moneter dan sebagainya. Dengan membentuk quaternion dari data instrumen dan menerapkan rotasi terisolasi, penelitian ini mengeksplorasi hubungan antar variabel dan menghasilkan representasi volatilitas yang lebih komprehensif. Penelitian ini menawarkan pemahaman baru tentang hubungan antar dimensi dalam volatilitas saham, yang berguna untuk mengidentifikasi perubahan tren pasar dan mendukung keputusan investasi.

**Keywords**—Multidimensi, Quaternion, Volatilitas, Pasar Modal.

## I. PENDAHULUAN

Volatilitas pasar modal merupakan fluktuasi harga instrumen investasi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti volume perdagangan, sentimen pasar, dan kondisi ekonomi negara. Pemahaman mengenai volatilitas sangatlah penting dalam pengambilan keputusan investasi, dan juga manajemen risiko seorang investor, karena memberikan gambaran mengenai tingkat risiko suatu instrumen.

Pendekatan tradisional yang dilakukan untuk menganalisis volatilitas, seperti *Average True Range* dan juga *Bollinger Bands*, hanya menangkap hubungan linier antar variabel, seperti harga, volume, dan waktu, tanpa faktor kompleks lainnya. Keterbatasan ini menjadi hambatan dalam menemukan pola volatilitas multidimensi yang terdapat di pasar modal.

Quaternion, yang dirancang sebagai alat matematis multidimensi, menawarkan suatu pendekatan baru dalam analisis volatilitas. Dengan merepresentasikan faktor kompleks seperti sentimen investor, berita makroekonomi dan faktor lainnya dalam suatu persamaan, quaternion memungkinkan adanya suatu pendekatan yang dapat menganalisis hubungan kompleks antar variabel secara lebih komprehensif. Penggunaan quaternion juga dapat membantu mengungkapkan suatu pola volatilitas yang sebelumnya tidak terlihat, serta memberikan suatu pandangan baru tentang dinamika pasar modal.

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan konsep quaternion dan relevansinya dalam menganalisis volatilitas multidimensional dalam pasar modal. Dengan mengaplikasikan algoritma quaternion, layaknya pembentukan quaternion, dan rotasi, penulis dapat

memodelkan volatilitas suatu saham pada pasar modal. Penelitian ini akan membandingkan hasil analisis quaternion yang dimodelkan menggunakan *library* pada Python, dengan pendekatan tradisional, yang memberikan wawasan baru tentang hubungan deviasi, sentimen pasar, dan juga faktor eksternal lain terhadap volatilitas pasar.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Bilangan Quaternion

Bilangan Quaternion adalah bentuk perluasan bilangan kompleks di  $R^2$  ke  $R^4$  yang diperkenalkan oleh Sir Rowan Hamilton pada tahun 1843. Bilangan kompleks yang awalnya berupa bilangan dua dimensi dengan komponen real dan skalar, diperluas menjadi bilangan Quaternion yang terdiri dari bilangan skalar ( $a$ ) dan tiga komponen vektor ( $b, c, d$ ) yang masing-masing terhubung dengan basis imajiner  $i, j$ , dan  $k$ .

$$q = a + bi + cj + dk = a + v$$

dengan

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

serta

$$ij = k, jk = i, ki = j \\ ji = -k, kj = -i, ik = -j$$

Dengan menggabungkan dimensi skalar dan vektor menjadi suatu entitas, Quaternion memungkinkan representasi yang efisien dalam ruang dimensi tiga.

### 2.2 Operasi Dasar Bilangan Quaternion

Dengan mengibaratkan suatu bilangan quaternion  $q$  berupa penjumlahan antara komponen skalar dengan vektor, kita dapat melakukan beberapa operasi dasar pada bilangan Quaternion, seperti penjumlahan dan juga pengurangan, yang dilakukan secara individual setiap elemen atau komponennya. Selain itu, terdapat beberapa operasi lain dalam bilangan Quaternion seperti berikut.

#### 2.2.1 Perkalian

Perkalian kedua bilangan quaternion, dilakukan sebagai berikut.

$$q_1 q_2 = (a_1 + v_1)(a_2 + v_2)$$

$$q_1 q_2 = a_1 a_2 - v_1 v_2 + a_1 v_2 + a_2 v_1 + v_1 \times v_2$$

#### 2.2.2 Norma Quaternion

Didapatkan besaran atau norma suatu vektor sebagai berikut.

$$\|q\| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$$

### 2.2.3 Bilangan Quaternion Sekawan (*conjugate*)

Untuk suatu bilangan Quaternion  $q$ , bilangan Quaternion sekawannya berupa:

$$\bar{q} = a - bi - cj - dk$$

### 2.2.4 Invers Quaternion

Invers suatu Quaternion didefinisikan sebagai bilangan yang apabila dikalikan dengan bilangan Quaternion  $q$  menghasilkan satu.

$$q^{-1} = \frac{1}{q} = \frac{\bar{q}}{\|q\|^2}$$

$$qq^{-1} = q^{-1}q = 1$$

### 2.2.5 Rotasi Quaternion

Misalkan  $p$  adalah vektor di  $R^3$ , maka perputaran sejauh  $\theta$  berlawanan arah jarum jam berlawanan arah jarum jam pada sumbu  $u$ , menghasilkan bayangan  $p'$  yang dihitung dengan

$$p' = qpq^{-1}$$

yang dalam hal ini,

$$p = 0 + xi + yj + zk$$

$$q = \cos(\theta/2) + \sin(\theta/2)\hat{u}$$

$$q^{-1} = \cos(\theta/2) + \sin(\theta/2)\hat{u}$$

dimana  $\hat{u}$  adalah vektor satuan dari vektor  $u$ , yang berupa  $\hat{u} = x'i + y'j + z'k$ , dengan  $\|\hat{u}\| = 1$ .

*Gimbal Lock* adalah suatu masalah matematis dan geometris yang terjadi ketika menggunakan rotasi Euler untuk memodelkan perputaran dalam ruang tiga dimensi, dimana ketika salah satu sudut rotasi mencapai  $90^\circ$ , dua sumbu rotasi menjadi sejajar. Hilangnya satu derajat kebebasan menyebabkan tidak semua orientasi dapat direpresentasikan, menghasilkan nilai yang ambigu. Quaternion, yang merepresentasikan suatu rotasi sebagai transformasi dalam ruang multidimensi tanpa mengandalkan sumbu rotasi, mampu memberikan suatu representasi yang mulus tanpa adanya singularitas atau kehilangan derajat kebebasan. Rotasi quaternion memungkinkan representasi hubungan antar dimensinya dalam ruang empat dimensi ( $R^4$ ), memungkinkan adanya penanganan pola kompleks dan nonlinear, serta digunakan untuk mengisolasi dan menganalisis hubungan spesifik antar variabel.

### 2.3 Volatilitas Pasar Modal

Volatilitas dalam pasar modal didefinisikan sebagai ukuran fluktuasi harga suatu aset dalam periode waktu tertentu. *Historical volatility* adalah ukuran statistik yang dihitung berdasarkan data harga historis suatu aset selama

periode waktu tertentu, yang digunakan untuk memberikan gambaran tentang seberapa besar fluktuasi yang telah terjadi di masa lalu. *Historical volatility* umumnya dihitung dengan menentukan rata-rata deviasi harga suatu instrumen keuangan dalam jangka waktu tertentu.

Volatilitas suatu instrumen dalam pasar modal dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, seperti sentimen investor, kondisi makroekonomi, kebijakan fiskal dan moneter, maupun pergerakan pasar global. Volatilitas berkaitan erat dengan risiko investasi, dimana volatilitas tinggi menunjukkan risiko yang lebih besar, menawarkan peluang keuntungan yang lebih besar, namun dengan ketidakpastian akan adanya potensi kerugian. Sedangkan volatilitas rendah menunjukkan stabilitas harga.

### 2.4 Analisis Multidimensional Pasar Modal

Quaternion, sebagai bilangan empat dimensi dengan satu komponen skalar dan tiga komponen vektor mampu merepresentasikan analisis pasar modal dengan data multidimensi yang mencakup harga, volume perdagangan, dan juga waktu dalam bentuk,

$$q = a + bi + cj + dk$$

Dimana setiap komponen merepresentasikan

$a$  : Nilai rata-rata deviasi ( $P_t - P_{t-1}$ ), sebagai pusat distribusi data.

$b$  : Deviasi harga ( $P_t - P_{t-1}$ ), yang mencerminkan fluktuasi terhadap nilai rata-rata.

$c$  : Sentimen pasar ( $S_t$ ), yang menggambarkan persepsi publik terhadap instrumen

$d$  : Faktor eksternal ( $M_t$ ), berupa gabungan berita makroekonomi, dan kebijakan moneter.

Dengan demikian, quaternion memungkinkan penggabungan dimensi ke dalam suatu kerangka analisis, memberikan fleksibilitas untuk menangkap hubungan kompleks antar variabel. Intensitas keseluruhan hubungan multidimensi dalam quaternion dirumuskan melalui norma, sebagai berikut.

$$\|q\| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$$

### 2.5 Rotasi Quaternion dalam Volatilitas Pasar

Rotasi quaternion memungkinkan penyorotan hubungan tertentu antar variabel, layaknya sentimen pasar, dan juga faktor eksternal sehingga pola volatilitas dapat lebih mudah diidentifikasi dan dianalisis. Dengan  $q$  sebagai quaternion yang merepresentasikan volatilitas suatu instrumen investasi, rotasi quaternion  $q$  berupa,

$$p' = qpq^{-1}$$

$$q = \cos(\theta/2) + \sin(\theta/2)(v_x i + v_y j + v_z k)$$

akan menghasilkan komponen  $p'$  yaitu

$$p' = b'i + c'j + z'k$$

dimana setiap komponennya merepresentasikan

$b'$  : deviasi harga yang dipengaruhi sentimen pasar dan faktor eksternal.

$c'$  : sentimen pasar yang dipengaruhi deviasi harga dan faktor eksternal.

$d'$  : faktor eksternal yang dipengaruhi deviasi harga dan sentimen pasar.

### III. IMPLEMENTASI

#### 3.1 Pengolahan Data

Untuk melakukan analisis volatilitas multidimensi pasar modal, penulis mengerucutkan implementasi penelitian menjadi salah satu instrumen pasar modal berupa saham Bank Central Asia (IDX: BBCA). Data historis harga saham diambil dari situs *Investing.com* untuk periode 13 Desember hingga 30 Desember 2024, di hari dimana pasar IHSG terbuka. Data yang diambil berupa harga penutupan harian saham BBCA.

Selanjutnya, data sentimen pasar dikumpulkan dari forum *Stream* saham BBCA yang terdapat di platform *Stockbit*. Proses pengambilan data dilakukan dengan mengekstraksi seluruh postingan yang secara eksplisit membahas saham BBCA, dan menghindari adanya “tag random”. Sentimen dari setiap postingan dianalisis untuk menentukan apakah sentimen yang ditulis bersifat positif, netral, atau negatif terhadap saham BBCA. Penilaian dilakukan dengan memberikan nilai (+1) untuk sentimen positif, (0) untuk sentimen netral, dan (-1) untuk sentimen negatif. Hasil kemudian dihitung secara rata-rata untuk mendapatkan skor sentimen harian.

Selain data sentimen pasar, untuk mempertimbangkan adanya pengaruh faktor eksternal terhadap saham BBCA, dilakukan analisis makroekonomi, dan berita keuangan yang berasal dari berbagai kanal berita seperti *Investing.com*, *CNBC*, dan berita global. Berita dan kebijakan yang dianalisis kemudian dihitung efeknya terhadap kondisi saham BBCA, dan dilakukan penilaian sebagai berikut. Sama seperti sentimen pasar, penilaian terhadap berita dilakukan berdasarkan interpretasi mayoritas positif (+1), netral (0), atau negatif (-1) terhadap prospek saham BBCA.

Keseluruhan data yang menyangkut parameter untuk saham BBCA ini kemudian dimodelkan ke dalam bentuk aljabar quaternion, diintegrasikan ke jupyter notebook, dan diringkas dalam satu array data.

```
from pyquaternion import Quaternion
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression

data = {
    "Tanggal": ["13/12/2024", "16/12/2024", "17/12/2024", "18/12/2024", "19/12/2024",
               "20/12/2024", "23/12/2024", "24/12/2024", "27/12/2024", "30/12/2024"],
    "Terakhir": [10050, 10100, 9900, 9800, 9675, 9650, 9775, 9750, 9800, 9675],
    "Sentimen": [0.0313, -0.2353, -0.3125, -0.2326, -0.3765, -0.3939, 0.4211, -0.2778,
                0.0313, -0.2353, -0.3125, -0.2326, -0.3765, -0.3939, 0.4211, -0.2778],
    "Faktor_Eksternal": [0, 1, -1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1]
}

df = pd.DataFrame(data)
```

**Gambar 3.1** Inisialisasi Utama Program  
Sumber: Dokumen Penulis

```
# Normalisasi Data
df["Deviasi"] = df["Terakhir"].diff()
baseline = df["Deviasi"].mean()
df["Baseline"] = baseline
df = df.dropna() #Drop semua data NaN
df["Baseline_Norm"] = 0
df["Deviasi_Mutlak"] = df["Deviasi"].abs()
df["Sentimen_Mutlak"] = df["Sentimen"].abs()
df["Faktor_Eksternal_Mutlak"] = df["Faktor_Eksternal"].abs()
df["Deviasi_Norm"] = (df["Deviasi_Mutlak"] - df["Deviasi_Mutlak"].min()) / (df["Deviasi_Mutlak"].max() - df["Deviasi_Mutlak"].min())
df["Sentimen_Norm"] = (df["Sentimen_Mutlak"] - df["Sentimen_Mutlak"].min()) / (df["Sentimen_Mutlak"].max() - df["Sentimen_Mutlak"].min())
df["Faktor_Eksternal_Norm"] = (df["Faktor_Eksternal_Mutlak"] - df["Faktor_Eksternal_Mutlak"].min()) / (df["Faktor_Eksternal_Mutlak"].max() - df["Faktor_Eksternal_Mutlak"].min())
```

**Gambar 3.2** Normalisasi Data  
Sumber: Dokumen Penulis

Data yang telah dibentuk kemudian dimutlakkan terlebih dahulu untuk merepresentasikan magnitudo atau intensitas dari masing masing parameter yang kemudian dinormalisasikan untuk memastikan skala setiap variabel seragam dan tidak mendistorsi hasil analisis

#### 3.2 Pembentukan dan Operasi Quaternion

Quaternion dibentuk dari data yang telah dinormalisasi. Komponen a merepresentasikan baseline deviasi harga, b merepresentasikan deviasi harga harian, komponen c merepresentasikan sentimen pasar, dan d merepresentasikan faktor eksternal berupa berita makroekonomi maupun kebijakan moneter. Implementasi pembentukan bilangan quaternion dilakukan sebagai berikut.

```
quaternions = []
for index, row in df.iterrows():
    # Create quaternion with normalized values
    q = Quaternion(
        row["Baseline"], # a (baseline normalized (0))
        row["Deviasi_Norm"], # b (deviation normalized)
        row["Sentimen_Norm"], # c (sentiment normalized)
        row["Faktor_Norm"] # d (external factor normalized)
    )
    quaternions.append(q)
df["Norm"] = [q.norm for q in quaternions]
```

**Gambar 3.3** Pembentukan Bilangan Quaternion  
Sumber: Dokumen Penulis

Data yang telah dinormalisasi memungkinkan analisis lebih lanjut melalui norm quaternion maupun rotasi quaternion. Perhitungan norm quaternion dilakukan secara langsung menggunakan library numpy.

Rotasi quaternion digunakan untuk menganalisis hubungan antara deviasi harga (b) dengan sentimen pasar (c), maupun faktor eksternal (d), dalam implementasi ini, dilakukan rotasi terhadap b [1,0,0] untuk menjaga nilai deviasi, sejauh sudut rotasi  $\theta = \arctan2(-d, c)$  untuk meminimalkan nilai d, dan mendapatkan korelasi hubungan b dengan c melalui komponen rotasi. Implementasi serupa juga dilakukan untuk mendapatkan korelasi nilai b terhadap d.

Pendekatan ini memungkinkan hubungan murni antara b dan c dapat terlihat melalui b' dan c'. Karena parameter d telah diminimalkan, komponen c' sekarang hanya terpengaruhi oleh deviasi b', tanpa intervensi faktor eksternal d'. Hal ini memberikan gambaran lebih jelas tentang bagaimana sentimen pasar berhubungan langsung dengan volatilitas atau perubahan harga yang direpresentasikan oleh b'.

```

# Hitung sudut rotasi untuk meminimalkan d'
angles = []
rotated_quaternions = []
for _, row in df.iterrows():
    c = row["Sentimen_Norm"]
    d = row["Faktor_Eksternal_Norm"]

    # Hitung sudut optimal
    if c == 0 and d == 0:
        theta = 0
    else:
        theta = np.arctan2(-d, c)
    angles.append(theta)

# Rotasi quaternion
q = Quaternion(0, row["Devisi_Norm"], row["Sentimen_Norm"], row["Faktor_Eksternal_Norm"])
r = Quaternion(axis=[1, 0, 0], angle=theta)
q_rotated = r * q * r.inverse
rotated_quaternions.append(q_rotated)

# Tambahkan hasil rotasi ke DataFrame
df["Rotated_b"] = [q.elements[1] for q in rotated_quaternions]
df["Rotated_c"] = [q.elements[2] for q in rotated_quaternions]
df["Rotated_d"] = [q.elements[3] for q in rotated_quaternions]
df["Theta"] = angles

```

**Gambar 3.4** Rotasi Quaternion Isolasi  
Sumber: Dokumen Penulis

### 3.3 Visualisasi Data

Visualisasi data digunakan untuk secara lebih jelas menunjukkan relasi yang dimiliki parameter deviasi dengan sentimen pasar, dan juga faktor eksternal, berbagai macam plotting digunakan untuk menunjukkan grafik, dengan implementasi kode seperti berikut.

```

df["Rotated_b"] = pd.to_numeric(df["Rotated_b"], errors="coerce")

# Reconstruct price using rotated deviation and baseline price
df["Quaternion_Price"] = price_baseline + (df["Rotated_b"] * (df["Terakhir"].max() - df["Tanggal"]))

# Plot Original Price vs Quaternion Price Movement
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(df["Tanggal"], df["Terakhir"], marker="o", label="Original Price (Terakhir)")
plt.plot(df["Tanggal"], df["Quaternion_Price"], marker="x", linestyle="--", label="Quat")
plt.xlabel("Date")
plt.ylabel("Price")
plt.title("Original Price vs Quaternion-Inspired Price Movement")
plt.xticks(rotation=45)
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

```

**Gambar 3.5** Plot Diagram Pergerakan Harga  
Sumber: Dokumen Penulis

```

# Plot Quaternion Norms Over Time to Represent Volatility
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(df["Tanggal"], df["Norm"], marker="o", color="purple", label="Quaternion Norm")
plt.xlabel("Date")
plt.ylabel("Quaternion Norm (Volatility)")
plt.title("Volatility Representation Using Quaternion Norms")
plt.xticks(rotation=45)
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

```

**Gambar 3.6** Plot Diagram Volatilitas Quaternion  
Sumber: Dokumen Penulis

```

rotated_c = df["Rotated_c"].values.reshape(-1, 1) # X (independen)
rotated_b = df["Rotated_b"].values # Y (dependen)

# Regresi Linear
reg_model = LinearRegression()
reg_model.fit(rotated_c, rotated_b)

# Prediksi nilai y berdasarkan x (Rotated_c)
predicted_b = reg_model.predict(rotated_c)

# Plot dengan garis regresi
plt.figure(figsize=(8, 6))
scatter = plt.scatter(rotated_c, rotated_b, c=df["Rotated_d"], cmap="coolwarm", edgecol="green")
plt.plot(rotated_c, predicted_b, color="green", linestyle="--", linewidth=2, label="Lin")

# Elemen visual
plt.colorbar(scatter, label="Rotated Faktor_Eksternal (d')")
plt.title("Hubungan Antara Sentimen Terisolasi dan Deviasi Harga")
plt.xlabel("Rotated Sentimen (c')")
plt.ylabel("Rotated Deviasi (b')")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

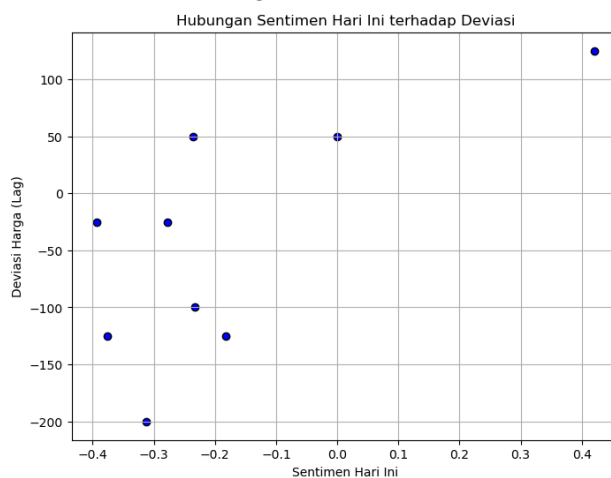
```

**Gambar 3.7** Plot Diagram Rotasi Isolasi  
Sumber: Dokumen Penulis

Keseluruhan file python beserta plotting hasil dapat dilihat secara lebih lanjut pada link berikut ...

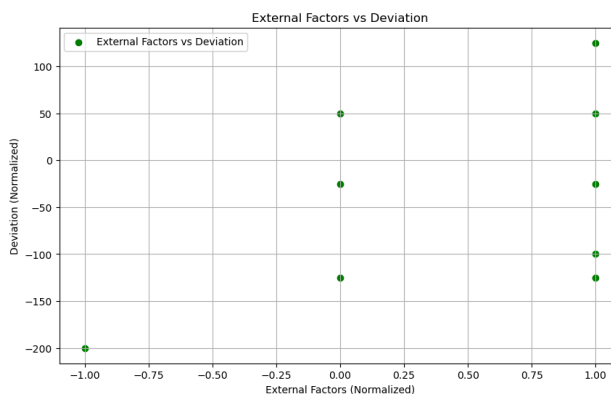
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Hubungan Multivariat Pasar



**Gambar 4.1** Hubungan Sentimen dengan Deviasi  
Sumber: Dokumen Penulis

Grafik di atas menunjukkan hubungan sentimen pasar dengan deviasi harga saham BCA. Dengan pengelompokan menggunakan *clustering visual*, dapat terlihat bahwa sentimen positif cenderung menunjukkan deviasi harga yang positif, sedangkan sentimen negatif cenderung menunjukkan penurunan harga. Dengan koefisien korelasi sebesar 0.6952, terindikasi secara langsung bahwa sentimen pasar mempengaruhi volatilitas harga.



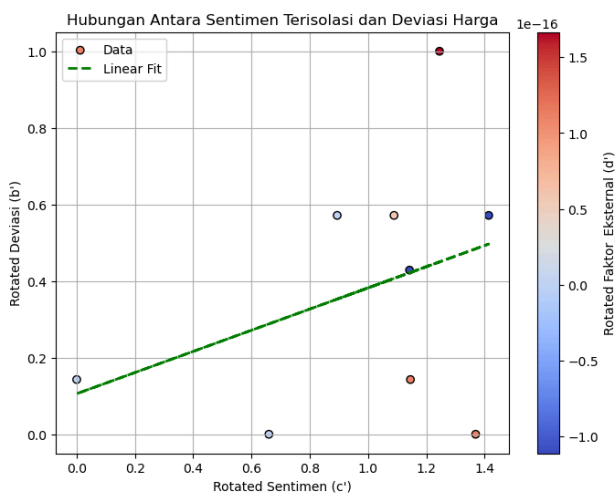
**Gambar 4.2** Hubungan Faktor Eksternal dengan Deviasi  
Sumber: Dokumen Penulis

Grafik kedua menggambarkan hubungan antara faktor eksternal dengan deviasi harga saham BCA. Menggunakan metode yang serupa, pola distribusi menunjukkan faktor eksternal tampaknya memiliki efek yang lebih sporadis, dengan distribusi yang lebih lebar. Dengan koefisien korelasi sebesar 0.2699, dapat disimpulkan bahwa berita makroekonomi seperti kebijakan pasar, tidak secara spontan memberikan pengaruh terhadap fluktuasi harga pasar.

Dengan menganalisis kedua grafik ini, dapat disimpulkan bahwa sentimen pasar memainkan peran lebih konsisten dalam mempengaruhi deviasi harga saham BBCA secara spontan dibandingkan faktor eksternal. Namun, gabungan kedua variabel ini tetap diperlukan untuk memodelkan volatilitas secara lebih komprehensif.

#### 4.2 Analisis Rotasi Isolasi

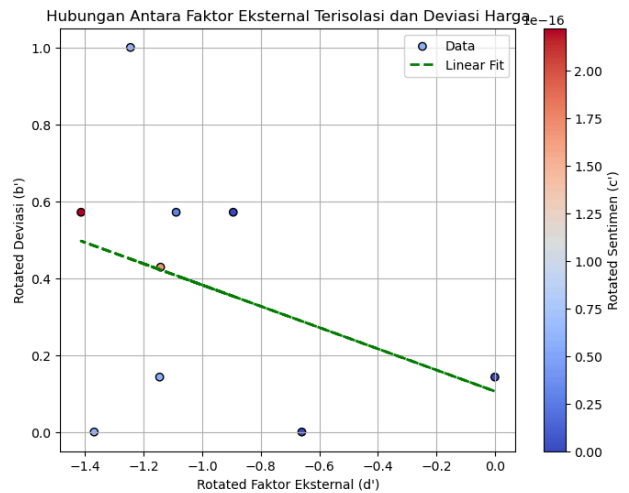
Untuk menggambarkan hubungan murni yang telah diisolasi antara deviasi harga saham BBCA ( $b'$ ), dengan masing masing sentimen pasar ( $c'$ ), dan juga faktor eksternal ( $d'$ ), metode quaternion dapat memberikan gambaran dengan meminimalkan pengaruh dimensi lain. Kedua grafik berikut memberikan representasi fungsionalitas rotasi quaternion dalam memodelkan analisis multidimensi.



**Gambar 4.3** Hubungan Sentimen Pasar dengan Deviasi Melalui Rotasi Isolasi  
Sumber: Dokumen Penulis

Grafik pertama menunjukkan hubungan langsung sentimen pasar terisolasi ( $c'$ ), dengan deviasi harga ( $b'$ ). Menggunakan metode clustering, dapat terlihat bahwa intensitas sentimen pasar mempengaruhi deviasi sedemikian sehingga semakin sentimen pasar didominasi suatu opini, dengan peningkatan intensitas sentimen pasar, deviasi harga akan cenderung bergerak secara lebih fluktuatif.

Analisis linear grafik menghasilkan garis regresi dengan kemiringan positif yang menunjukkan bahwa sentimen pasar, secara terisolasi memiliki pengaruh yang besar terhadap volatilitas harga saham. Koefisien korelasi ( $b'$ ) dengan ( $c'$ ) sebesar 0.3624 menunjukkan adanya penurunan koefisien korelasi yang berarti bahwa sentimen pasar secara murni berkorelasi dengan deviasi harga tidak sebesar ketika berhubungan juga dengan faktor eksternal lainnya.

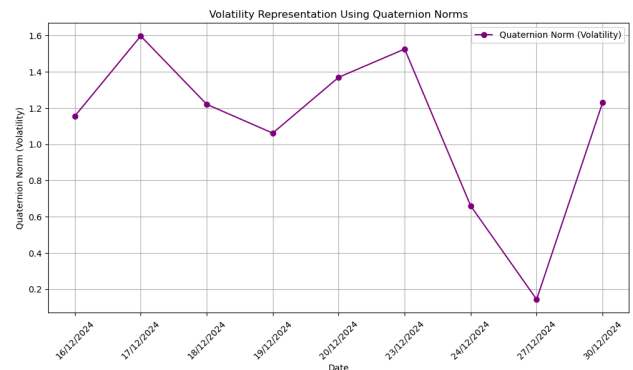


**Gambar 4.4** Hubungan Faktor Eksternal dengan Deviasi Melalui Rotasi Isolasi  
Sumber: Dokumen Penulis

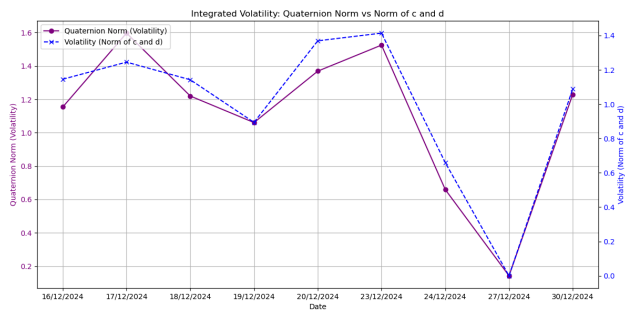
Grafik kedua menunjukkan hubungan langsung faktor eksternal terisolasi ( $d'$ ), dengan deviasi harga ( $b'$ ). Dengan slope yang berkebalikan dengan rotasi isolasi sentimen pasar, dapat terlihat bahwa pada rotasi isolasi di axis  $[1,0,0]$ , berarti bahwa isolasi yang dilakukan berlaku sebaliknya terhadap parameter lawan. Melihat koefisien korelasi ( $d'$ ) dengan ( $b'$ ) sebesar 0.2638 menunjukkan adanya peningkatan korelasi yang menunjukkan bahwa faktor eksternal, tanpa adanya pengaruh dari sentimen pasar memiliki pengaruh yang sama terhadap deviasi harga saham BBCA.

Secara keseluruhan, analisis yang dilakukan terhadap kedua grafik menunjukkan bahwa hubungan yang dimiliki oleh sentimen pasar dan juga faktor eksternal dengan deviasi melalui rotasi isolasi secara murni, memiliki perbedaan yang cukup signifikan, menunjukkan pengaruh adanya isolasi pada rotasi secara quaternion dibandingkan dengan grafik langsung. Melalui pemahaman ini, kita dapat menjadikan quaternion sebagai acuan untuk memodelkan volatilitas pasar, dengan parameter sentimen pasar, dan juga faktor eksternal.

#### 4.3 Pemodelan Volatilitas Pasar

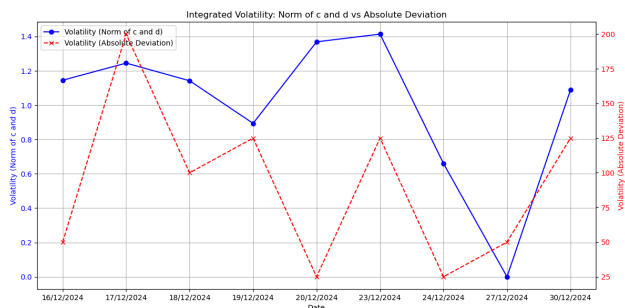


**Gambar 4.5** Volatilitas Keseluruhan dengan Metode Quaternion  
Sumber: Dokumen Penulis

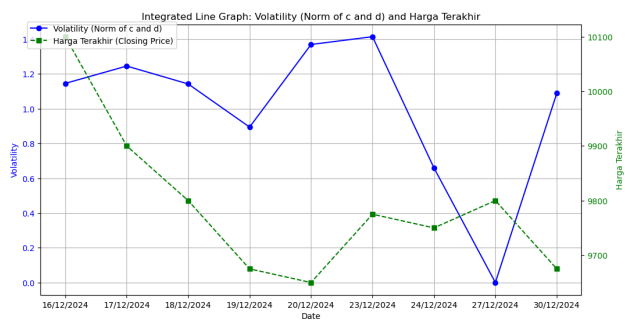


**Gambar 4.6** Perbandingan Volatilitas Sentimen Pasar dan Faktor Eksternal dengan Keseluruhan  
Sumber: Dokumen Penulis

Grafik pertama menggambarkan volatilitas saham BBCA secara keseluruhan menggunakan norm quaternion yang mencakup deviasi, sentimen pasar, dan faktor eksternal. Norm ini menangkap intensitas perubahan dalam dimensi multidimensi, memberikan representasi “true volatility”. Grafik ini berbanding lurus dengan intensitas sentimen pasar dan faktor eksternal, terlihat melalui perbandingan volatilitas di grafik kedua yang menunjukkan bahwa deviasi harga tidak jauh bertolak belakang dengan kedua parameter tersebut.



**Gambar 4.7** Perbandingan Volatilitas Sentimen Pasar dan Faktor Eksternal dengan Deviasi  
Sumber: Dokumen Penulis



**Gambar 4.8** Perbandingan Volatilitas Sentimen Pasar dan Faktor Eksternal dengan Harga  
Sumber: Dokumen Penulis

Analisis lebih dalam mengenai perbedaan keduanya dapat terlihat pada grafik di atas, dimana bentuk volatilitas berdasarkan sentimen pasar dan faktor eksternal memiliki jeda ketertinggalan terhadap volatilitas secara langsung, layaknya “lagging indicator”. Adanya

lag menandakan bahwa pasar bereaksi terhadap pergerakan harga.

#### 4.4 Perbandingan dengan Indikator Tradisional



**Gambar 4.9** Grafik Average True Range  
Sumber: Dokumen Penulis

Grafik di atas merupakan indikator *Average True Range 20 Exponential Moving Average* dari saham BBCA pada periode 11 Desember hingga 30 Desember 2024, yang menggambarkan tren volatilitas pasar melalui rentang harga harian (*true range*) selama 20 periode dengan menggunakan *Exponential Moving Average* untuk memperhalus data. *Average True Range* mampu mengidentifikasi volatilitas suatu saham, serta mengidentifikasi kekuatan pergerakan harga dan potensi *breakout* ataupun konsolidasi.

Pendalaman lebih lanjut menunjukkan volatilitas, baik keseluruhan maupun hanya sentimen pasar dan faktor eksternal, menyerupai pergerakan ATR, dengan adanya suatu jeda ketertinggalan seperti pada volatilitas. Perbandingan dengan indikator tradisional kembali lagi menunjukkan adanya kemiripan dengan “lagging indicator” dari grafik ATR.

#### 4.5 Implikasi Pemodelan

Pemodelan volatilitas pasar menggunakan pendekatan quaternion, dimana sentimen pasar dan faktor eksternal diproyeksikan sebagai komponen multidimensi menghasilkan representasi layaknya suatu lagging indicator yang signifikan. Dipicu oleh deviasi, pemodelan ini menggambarkan dampak psikologis reaksi market terhadap fluktuasi harga suatu instrumen. Sebagai lagging indicator, model ini mampu memberikan gambaran volatilitas yang bertindak untuk mengonfirmasi tren yang sudah berlangsung, dan mengidentifikasi perubahan sentimen pasar secara bertahap.

Grafik volatilitas yang berupa pergeseran temporal pergerakan deviasi harga saham dapat digunakan untuk memastikan bahwa tren bullish atau bearish yang sedang terjadi memiliki dukungan dari dinamika pasar, baik dari sentimen maupun faktor eksternal. Selain itu, letika volatilitas sentimen pasar (c) dan faktor eksternal (d) mengalami lonjakan atau penurunan drastis, ini dapat menjadi tanda awal adanya perubahan dalam persepsi pasar terhadap saham.

Ketika pemodelan volatilitas ini dibandingkan dengan

indikator teknikal seperti ATR 20 EMA, model ini memberikan perspektif tambahan untuk mengkonfirmasi volatilitas dengan pengaruh sentimen pasar. ATR 20 EMA cenderung memberikan konfirmasi tren harga berdasarkan volatilitas harga historis, sedangkan model quaternion menyoroiti aspek multidimensi, seperti dampak berita atau sentimen pasar terhadap pergerakan harga. Dengan menggabungkan keduanya, investor dapat memperoleh pandangan yang lebih komprehensif untuk mengantisipasi risiko atau peluang.

## V. KESIMPULAN

Pemodelan volatilitas pasar modal multidimensi menggunakan pendekatan quaternion mampu memberikan perspektif baru terkait relasi antar harga saham, sentimen pasar, dan faktor eksternal lainnya melalui rotasi terisolasi. Dengan mengisolasi komponen sentimen pasar dan faktor eksternal, model ini mampu memproyeksikan adanya analisis yang lebih mendalam yang juga sekaligus bertindak sebagai *lagging indicator* untuk mengkonfirmasi tren yang sudah berlangsung. Secara keseluruhan, pendekatan ini menegaskan pentingnya memahami dinamika sentimen pasar dan faktor eksternal dalam konteks volatilitas saham, untuk membantu investor mengambil keputusan investasi yang strategis.

Untuk penelitian selanjutnya, dapat digunakan metode ini untuk instrumen pasar modal lainnya, dengan database yang lebih luas untuk lebih memahami volatilitas keseluruhan instrumen-instrumen pasar modal.

## VI. APPENDIX

Keseluruhan kode python yang tercantum di penelitian ini dapat dilihat secara penuh di <https://github.com/PeterWongsoredjo/Pemodelan-Volatilitas-Quaternion>. Penjelasan lebih lanjut penelitian tercantum dalam link video <https://youtu.be/qDquhJ6Lg4>.

## VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan yang maha Esa, atas rahmat-Nya yang melimpah dalam penulisan makalah sehingga dapat menyelesaikan makalah ini tepat waktu. Selain itu penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ir. Rila Mandala, M.Sc, Ph.D sebagai dosen mata kuliah IF2123 Aljabar Geometri kelas K01 atas segala bimbingan dan ilmu pengetahuan yang telah diberikan untuk menyelesaikan makalah ini. Penulis juga ingin berterima kasih kepada seluruh teman dan keluarga yang telah memberikan dorongan moral untuk menyelesaikan penulisan makalah.

## REFERENSI

- [1] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/2023-2024/Algeo-25-Aljabar-Quaternion-Bagian1-2023.pdf> (Diakses pada 29 Desember 2024)

- [2] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/2023-2024/Algeo-26-Aljabar-Quaternion-Bagian2-2023.pdf> (Diakses pada 29 Desember 2024)
- [3] <https://stockbit.com/symbol/BBCA> (Diakses pada 29 Desember 2024)
- [4] <https://id.investing.com/equities/bnk-central-as-historical-data> (Diakses pada 29 Desember 2024)
- [5] <https://id.investing.com/equities/bnk-central-as-news> (Diakses pada 30 Desember 2024)
- [6] <https://www.cnbcindonesia.com/market-data/quote/BBCA.JK> (Diakses pada 30 Desember 2024)
- [7] <https://www.forexfactory.com/> (Diakses pada 30 Desember 2024)
- [8] <https://www.investopedia.com/terms/h/historicalvolatility.asp> (Diakses pada 28 Desember 2024)

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 27 Desember 2024



Peter Wongsoredjo  
13523039