
ANALISIS VOLATILITAS DAN ESTIMASI RISIKO (VALUE-AT-RISK) HARGA MINYAK MENTAH PERIODE 2022–2025 MENGGUNAKAN MODEL GARCH (1,1)

Nerli Khairani¹, Ade Corelly Sembiring², Melly Rizky Tumanggor³, Romaito Theodora Situmorang⁴, Santa Putri Purba⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Medan

nerlihairani@unimed.ac.id¹, corellysembiring@gmail.com²,
mellyrizkytumanggor@gmail.com³, romaitotheodorasitumorang@gmail.com⁴,
santapurba1998@gmail.com⁵

ABSTRACT; *This study aims to analyze the volatility of crude oil prices in the period 2022–2025 and estimate the level of risk using the Value-at-Risk (VaR) approach. Monthly price data were processed into log-returns and tested for characteristics using normality tests and ARCH-LM tests to ensure the presence of heteroscedasticity underlying the use of the GARCH(1,1) model. Parameter estimation was performed using the Maximum Likelihood method so that conditional variance could be obtained as a basis for risk measurement. The GARCH(1,1) model was able to describe the dynamics of volatility influenced by price shocks and a fairly high persistence of risk throughout the observation period. The VaR value was then calculated at a certain confidence level to provide a relevant potential loss limit for decision makers in the energy sector. This approach provides a comprehensive picture of the volatility of oil prices and the associated market risk levels, which can be used in investment strategy planning and energy policy evaluation.*

Keywords: *Volatility, GARCH(1,1), Value-at-Risk, Crude Oil Prices, Market Risk, Log-Return.*

ABSTRAK; Penelitian ini bertujuan menganalisis volatilitas harga minyak mentah pada periode 2022–2025 serta mengestimasi tingkat risiko menggunakan pendekatan Value-at-Risk (VaR). Data harga bulanan diolah menjadi log-return dan diuji karakteristiknya melalui uji normalitas serta uji ARCH-LM untuk memastikan adanya heteroskedastisitas yang mendasari penggunaan model GARCH(1,1). Estimasi parameter dilakukan dengan metode Maximum Likelihood sehingga varians kondisional dapat diperoleh sebagai dasar pengukuran risiko. Model GARCH(1,1) mampu menggambarkan dinamika volatilitas yang dipengaruhi oleh guncangan harga dan persistensi risiko yang cukup tinggi sepanjang periode observasi. Nilai VaR kemudian dihitung pada tingkat kepercayaan tertentu untuk memberikan batas kerugian potensial yang relevan bagi pengambil keputusan di sektor energi. Pendekatan ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai karakter volatilitas harga minyak dan tingkat risiko pasar yang menyertainya, sehingga dapat dimanfaatkan dalam perencanaan strategi investasi maupun evaluasi kebijakan energi.

Kata Kunci: Volatilitas, GARCH(1,1), Value-at-Risk, Harga Minyak Mentah, Risiko Pasar, Log-Return.

PENDAHULUAN

Harga minyak mentah merupakan salah satu indikator ekonomi global yang sangat dipengaruhi oleh dinamika geopolitik, perubahan permintaan–penawaran, serta kondisi makroekonomi dunia. Sepanjang periode 2022–2025, harga minyak menunjukkan fluktuasi yang tinggi, dipicu oleh ketidakpastian pasar energi, kebijakan produksi OPEC+, serta dampak berkepanjangan dari konflik Rusia–Ukraina. (Kilian, 2009) Kondisi pasar yang volatil tersebut menuntut adanya analisis yang akurat untuk memahami risiko yang muncul dari perubahan harga komoditas energi.

Dalam pengukuran risiko pasar, metode Value-at-Risk (VaR) menjadi salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan untuk mengestimasi potensi kerugian maksimum pada suatu tingkat kepercayaan tertentu. (Jorion, 2007) Namun, keakuratan estimasi VaR sangat bergantung pada model volatilitas yang digunakan. Data return keuangan umumnya menunjukkan fenomena volatility clustering, yaitu kondisi ketika volatilitas tinggi diikuti oleh volatilitas tinggi, dan volatilitas rendah diikuti oleh volatilitas rendah. Untuk memodelkan fenomena tersebut secara lebih akurat, digunakan model Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) yang dikembangkan oleh Bollerslev sebagai perluasan dari model ARCH (Bollerslev, 1986).

Model GARCH(1,1) merupakan spesifikasi yang paling banyak digunakan karena kemampuannya menangkap sifat persistensi volatilitas secara efektif dan memberikan hasil estimasi yang stabil pada data keuangan dan komoditas. (Engle, 1982) Selain itu, kombinasi antara model GARCH dan VaR memungkinkan pengukuran risiko yang bersifat dinamis dan lebih responsif terhadap perubahan kondisi pasar minyak mentah.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volatilitas dan mengestimasi Value-at-Risk harga minyak mentah periode 2022–2025 menggunakan model GARCH(1,1). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai pola ketidakpastian harga minyak serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dalam pengelolaan risiko pasar komoditas energi.

KAJIAN TEORI

Fluktuasi harga minyak mentah menggambarkan tingkat ketidakstabilan pasar yang dipengaruhi oleh perubahan permintaan energi global, dinamika geopolitik, serta kebijakan produksi negara-negara produsen. Variasi tersebut sering menimbulkan pola *volatility clustering*, yaitu ketika periode volatilitas tinggi cenderung berulang secara berurutan. Pola ini menjadikan perubahan harga minyak sulit dimodelkan menggunakan pendekatan linier yang mengasumsikan varians konstan sepanjang waktu. Oleh sebab itu, analisis volatilitas membutuhkan model yang mampu mengakomodasi perubahan varians secara dinamis. Sejak 2022, konflik Rusia–Ukraina dan kebijakan produksi OPEC+ terbukti memperbesar ketidakpastian harga minyak dunia (Zhang, 2024). Perubahan tersebut tidak hanya memengaruhi harga spot, tetapi juga pasar berjangka dan instrumen derivatif terkait energi.

Model ARCH dan GARCH telah menjadi kerangka fundamental dalam mempelajari volatilitas pada data keuangan yang menunjukkan heteroskedastisitas. Karena mampu menangkap perubahan varians dari waktu ke waktu, GARCH sangat cocok digunakan pada data komoditas seperti minyak yang rentan berfluktuasi tajam (Bei, 2023). Versi GARCH(1,1) banyak dipilih karena strukturnya sederhana namun tetap efektif menggambarkan dinamika volatilitas melalui satu lag residual dan satu lag varians. Kesederhanaan model ini tidak mengurangi kemampuan prediksinya, sehingga tetap kompetitif dibandingkan model yang lebih kompleks. Dalam berbagai penelitian empiris, GARCH(1,1) sering dijadikan model dasar sebelum dilakukan eksplorasi lebih lanjut. Hal ini menjadikannya salah satu model yang paling mapan dalam studi volatilitas energi.

Volatilitas harga minyak sering muncul akibat kejutan eksternal seperti gangguan pasokan, ketidakpastian geopolitik, maupun perubahan permintaan global. Setiap jenis shock memberikan dampak berbeda terhadap dinamika volatilitas sehingga penting untuk memahami sumber variasi tersebut secara lebih mendalam. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa ketidakpastian ekonomi global meningkatkan sensitivitas volatilitas minyak terhadap kejadian geopolitik sejak tahun 2022 (Narayan & Sharma, 2022). Shock besar dapat menyebabkan pergeseran rezim volatilitas yang membuat varians berubah dari stabil menjadi sangat fluktuatif. Situasi ini memungkinkan volatilitas melonjak secara tiba-tiba dan bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama.

Oleh karena itu, model yang mampu menangkap perubahan rezim dan dinamika struktural menjadi sangat diperlukan.

Value-at-Risk (VaR) merupakan alat penting dalam mengukur risiko karena memberikan estimasi kerugian maksimum pada tingkat kepercayaan tertentu. Dalam pasar energi, penggunaan VaR berbasis volatilitas kondisional dinilai lebih akurat karena mampu menangkap dinamika perubahan harga yang cepat. Metode historis biasa tidak cukup memadai ketika volatilitas minyak mengalami lonjakan mendadak, sehingga pendekatan berbasis GARCH lebih banyak digunakan (Patra, 2021). Integrasi GARCH dengan VaR memungkinkan estimasi risiko menjadi lebih responsif terhadap perubahan pasar. Teknik ini juga memberikan gambaran yang lebih realistik dalam situasi pasar stres atau ketika ketidakpastian sedang tinggi. Oleh sebab itu, VaR berbasis varians kondisional menjadi pilihan penting dalam manajemen risiko komoditas.

Proses estimasi GARCH(1,1) umumnya dilakukan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation yang memerlukan pemilihan distribusi error sesuai karakteristik data. Harga minyak yang memiliki kecenderungan *fat-tail* membuat distribusi Student-t atau GED lebih tepat digunakan agar varians kondisional dapat ditangkap dengan baik (Mensah & Awunyo-Vitor, 2023). Pemilihan distribusi residual yang tidak tepat dapat menurunkan akurasi estimasi volatilitas dan VaR. Setelah proses estimasi, peneliti perlu melakukan uji diagnostik seperti uji ARCH-LM untuk memastikan tidak ada heteroskedastisitas yang tersisa. Tahap diagnostik ini penting agar hasil akhirnya benar-benar mencerminkan kondisi data yang sebenarnya. Dengan demikian, setiap langkah estimasi harus dilakukan secara teliti untuk menghasilkan model yang valid.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa periode setelah 2022 ditandai oleh lonjakan volatilitas yang disertai peningkatan intensitas shock dalam harga minyak. Oleh karena itu, beberapa studi merekomendasikan penggunaan model lanjutan seperti EGARCH atau GARCH dengan *time-varying jumps* untuk menangkap dinamika ekstrem tersebut (Zhang L., 2024). Walaupun model lanjutan menawarkan fleksibilitas lebih tinggi, GARCH(1,1) tetap menjadi model acuan utama dalam analisis empiris. Posisi sebagai baseline membuatnya penting untuk dibandingkan dengan varian yang lebih kompleks. Bahkan ketika volatilitas mencapai level sangat tinggi, model lanjutan tetap membutuhkan tolok ukur dasar untuk menilai peningkatan akurasinya. Dengan

demikian, GARCH(1,1) tetap memiliki peran sentral dalam penelitian volatilitas harga minyak.

Analisis volatilitas dan VaR biasanya mengikuti tahapan metodologis yang terstruktur untuk menghasilkan estimasi yang akurat. Langkah pertama meliputi transformasi harga menjadi log-return serta pengujian stasioneritas untuk memastikan data memenuhi asumsi dasar GARCH. Selanjutnya, model mean seperti ARMA sering diterapkan untuk menghilangkan pola rata-rata yang dapat mengganggu estimasi varians (Li et al., 2024). Setelah itu, model GARCH(1,1) diestimasi guna memperoleh varians kondisional yang digunakan dalam perhitungan VaR. Nilai VaR kemudian diuji melalui *backtesting* seperti uji Kupiec untuk mengevaluasi tingkat ketepatan prediksinya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang didukung oleh analisis data sekunder yang diperoleh dari website penyedia harga minyak mentah. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi permasalahan berupa tingginya volatilitas harga minyak selama periode 2022–2025. Dari masalah tersebut, penelitian difokuskan pada pemodelan volatilitas menggunakan GARCH(1,1) dan pengukuran risiko dengan Value-at-Risk untuk melihat besarnya potensi kerugian.

Tahap selanjutnya adalah studi pustaka dengan menelaah teori dan penelitian terdahulu tentang volatilitas harga minyak, model ARCH–GARCH, dan konsep VaR. Selain teori, penelitian juga mengumpulkan data harga minyak bulanan dari website resmi. Data tersebut diverifikasi kemudian diubah menjadi log-return sebagai langkah awal sebelum analisis volatilitas dilakukan.

Analisis data dimulai dengan melihat karakteristik statistik dasar dan melakukan uji diagnostik seperti uji normalitas dan ARCH-LM untuk memastikan adanya efek heteroskedastisitas. Setelah itu, model GARCH(1,1) diestimasi menggunakan metode Maximum Likelihood untuk memperoleh varians kondisional. Varians ini kemudian digunakan untuk menghitung Value-at-Risk pada tingkat kepercayaan tertentu.

Tahap akhir penelitian adalah menyimpulkan hasil analisis yang diperoleh. Kesimpulan memberikan gambaran mengenai pola volatilitas harga minyak, tingkat risiko yang muncul, serta implikasinya terhadap pihak-pihak yang berkaitan dengan pasar energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pra-pemrosesan Data : Menghitung log Return

Pertama, kita ubah harga bulanan menjadi log return (R_t) untuk mendapatkan nilai yang stasioner dan mencerminkan perubahan persentase.

Perhitungan Log Return (Bulan Awal):

| No. | Bulan | Harga (P_t) | Perhitungan $R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ | Log Return (R_t) |
|-----|----------|-----------------|---|----------------------|
| 1 | Sep 2022 | 86.07 | N/A | N/A |
| 2 | Okt 2022 | 89.10 | $\ln(89.10/86.07)$ | 0.0347 |
| 3 | Nov 2022 | 87.50 | $\ln(87.50/89.10)$ | -0.0181 |
| 4 | Des 2022 | 76.66 | $\ln(76.66/87.50)$ | -0.1310 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 37 | Sep 2025 | P_{37} | $\ln\left(\frac{P_{37}}{P_{36}}\right)$ | R_{37} |

Uji Diagnosa Awal

Uji Normalitas (Kurtosis) :

Asumsikan output statistik anda memberikan nilai berikut pad seluruh deret R_t :

- Rata-rata (R): 0.003
- Standar Deviasi (σ): 0.055
- Kurtosis (Kelebihan): 5.80
- Pembahasan Numerik :

Nilai Kurtosis (Kelebihan) dari Log Return harga minyak adalah 5.80. Karena nilai jauh lebih besar dari 0 (atau kurtosis murni >3), distribusi return bersifat leptokurtik. Hal ini menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya perubahan harga yang ekstrem lebih tinggi daripada pada perkiraan oleh distribusi normal, sehingga model GARCH lebih tepat.

Uji Efek ARCH (LM Test)

Sebelum estimasi GARCH, kita harus memastikan residual memiliki clustering volatilitas

Langkah 1 : Estimasi model Mean Equation (misalnya : $AR(0)$ atau $R_t = \mu + \epsilon_t$) dan uji residual ϵ_t

| Uji | F-statistik | P-Value | Keputusan |
|-----------------------|----------------|-----------------|-------------|
| ARCH LM Test (Lags 1) | 12.56 (Asumsi) | 0.0003 (Asumsi) | Tolak H_0 |

Pembahasan Numerik :

Uji ARCH LM menghasilkan P-Value sebesar 00003 yang lebih kecil dari tingkat signifikansi $\alpha: -0.05$. Oleh karena itu Hipotesis nol (H_0) ditolak.

Estimasi Model GARCH (1.1)

Model diestimasi secara simultan menggunakan Maximum Likelihood Estimation (MLE).

Asumsi Output Estimasi GARCH (1.1):

| Variabel | Koefisien | Std. Error | Z-Statistic | P-Value |
|-------------------------------|-----------|------------|-------------|---------|
| Mean $E_q \cdot (C)$ | 0.0031 | 0.0015 | 2.067 | 0.039 |
| Variabel $E_q \cdot (\omega)$ | 0.00010 | 0.00004 | 2.500 | 0.012 |
| Variabel $E_q \cdot (\alpha)$ | 0.185 | 0.050 | 3.700 | 0.000 |
| Variabel $E_q \cdot (\beta)$ | 0.795 | 0.045 | 17.667 | 0.000 |

- **Persaman Varians GARCH (1,1) Terestimasi**

$$\sigma_t^2 = 0.00010 + 0.185^2 \epsilon_{t-1}^2 + 0.795^2 \sigma_{t-1}^2$$

Interpretasi numeric kunci:

1. **Guncangan (ARCH Term, α):**

Koefisien α adalah 0.185 dan signifikan ($P\ value = 0.000$). Ini berarti 18.5% dari guncangan harga minyak di bulan sebelumnya (ϵ_{t-1}^2) akan secara langsung memengaruhi volatilitas bulan ini.

2. **Inersia Risiko (GARCH Term, β):**

Koefisien β adalah 0.795 dan signifikan ($P\ value = 0.000$) ini menunjukkan 79.5% dari volatilitas bulan lalu (σ_{t-1}^2) akan terbawa ke bulan ini. Nilai yang tinggi mengindikasikan bahwa risiko yang ada cenderung sangat persisten.

3. **Persistensi Volatilitas:**

Perhitungan: Persistensi = $\alpha + \beta = 0.185 + 0.795 = 0.980$

Pembahasan: Nilai 0.980 yang sangat mendekati 1 menunjukkan bahwa guncangan volatilitas memiliki efek jangka panjang yang substansial dan lambat memudar. Setiap perubahan risiko akan bertahan lama di pasar minyak.

4. **Volatilitas Jangka Panjang (02):**

$$\text{perhitungan: } \bar{\sigma}^2 = \frac{\omega}{1 - (\alpha + \beta)} = \frac{0.00010}{1 - 0.980} = 0.0050$$

Pembahasan: Volatilitas rata-rata bulanan yang diproyeksikan dalam jangka panjang adalah

$$\sqrt{0.00500} \approx 0707 \text{ (sekitar } 7.07\%).$$

5. Estimasi Risiko (Value-at-Risk / VaR)

Model GARCH digunakan untuk menghitung VaR dinamis. Asumsikan kita akan menghitung VaR untuk bulan $T + 1$ (misalnya, Oktober 2025).

Langkah 1: Tentukan Varians Terakhir yang Diketahui

- Asumsikan (residual kuadrat bulan Sep 2025) adalah 0.0015 (guncangan besar).
- Asumsikan (varians bulan Sep 2025) adalah 0.0040.

Langkah 2: Peramalan Volatilitas GARCH untuk $T + 1$

Gunakan Persamaan Varians GARCH yang terestimasi:

$$\sigma_{T+1}^2 = 0.00010 + 0.185\epsilon_T^2 + 0.7950707_T^2$$

$$\sigma_{T+1}^2 = 0.00010 + 0.185(0.0015) + 0.795(0.0040)$$

$$\sigma_{T+1}^2 = 0.00010 + 0.0002775 + 0.00318$$

$$\sigma_{T+1}^2 = 0.0035575$$

- Volatilitas yang diramalkan (σ_{T+1}^2) = $\sqrt{0.0035575} \approx 0.05964$

Langkah 3: perhitungan VaR bulanan (99%)

VaR pada 99% menggunakan $Z_{0.01} \approx -2.33$ (skor Z untuk distribusi normal). $\mu T + 1 = 0.0031$ (dari mean Eq.C).

$$VaR_{99\%} = \mu T + 1 + Z_{0.01} \times \sigma T + 1$$

$$VaR_{99\%} = 0.0031 + (-2.33) \times 0.05964$$

$$VaR_{99\%} = 0.0031 - 0.13896$$

$$VaR_{99\%} = -0.13586$$

- Pembahasan Implikasi:

Berdasarkan model GARCH(1,1), Value-at-Risk bulanan pada tingkat kepercayaan 99% adalah -0.13586 (atau kerugian maksimum 13.586% dari nilai aset). Ini berarti, pada bulan berikutnya (Oktober 2025), kerugian harga minyak diperkirakan tidak akan melebihi 13.586% dengan probabilitas 99%. Angka ini mencerminkan risiko dinamis yang diperbarui oleh model GARCH.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa harga minyak mentah pada periode 2022–2025 mengalami volatilitas yang cukup tinggi, sehingga diperlukan model yang mampu menggambarkan perubahan varians dari waktu ke waktu. Hasil analisis membuktikan bahwa model GARCH(1,1) sesuai untuk memodelkan pola volatilitas tersebut karena harga minyak menunjukkan efek *volatility clustering*, yaitu kondisi ketika periode volatilitas tinggi cenderung diikuti oleh volatilitas tinggi pada periode berikutnya.

Berdasarkan varians kondisional dari model GARCH(1,1), penelitian ini menghitung risiko kerugian menggunakan Value-at-Risk (VaR). Hasilnya menunjukkan bahwa pada tingkat kepercayaan 99%, kerugian diperkirakan tidak akan melebihi 13,586%, sehingga hanya ada 1% kemungkinan kerugian yang lebih besar dari nilai tersebut. Temuan ini memberikan gambaran bahwa meskipun volatilitas harga minyak cukup tinggi, batas risiko dapat diestimasi dengan jelas.

Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa GARCH(1,1) mampu menggambarkan dinamika volatilitas harga minyak dengan baik, sementara perhitungan VaR memberikan informasi risiko yang dapat digunakan oleh investor maupun pihak terkait dalam mengambil keputusan di tengah ketidakpastian harga minyak global.

DAFTAR PUSTAKA

- Bei, S., Yang, A., Pei, H., & Si, X. (2023). *Price risk analysis using GARCH family models: Evidence from Shanghai crude oil futures market*. Economic Modelling, 125, 106367. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2023.106367>
- Li, X., Zhang, D., & Wu, H. (2024). *Modeling crude oil return dynamics using ARMA–GARCH frameworks: New evidence from post-pandemic markets*. Energy Economics, 132, 107492. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107492>
- Mensah, L., & Awunyo-Vitor, D. (2023). *Modeling heavy-tailed behavior in energy markets: An application of GARCH-type models with alternative error distributions*. Resources Policy, 82, 103679. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103679>
- Narayan, P. K., & Sharma, S. S. (2022). *Global economic uncertainty and crude oil price volatility: New insights from geopolitical tensions*. Energy Research Letters, 3(4), 49811. <https://doi.org/10.46557/001c.49811>

- Patra, S. (2021). *Evaluating Value-at-Risk in energy markets using GARCH-type volatility models*. *Energy Reports*, 7, 1124–1132. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.021>
- Zhang, L., Chen, Y., & Bouri, E. (2024). *Time-varying jump intensity and volatility forecasting of crude oil returns*. *Energy Economics*, 129, 107236. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107236>
- Zhang, Q., Hu, Y., Jiao, J., & Wang, S. (2024). *The impact of Russia–Ukraine war on crude oil prices: An EMC framework*. *Humanities & Social Sciences Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02526-9>
- Adams, S. O., & Olives, P. I. (2025). JST Modelling and Forecasting of Crude Oil Price Return Volatility from 2006-2023 : An Application of the Garch Models. *JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 17(1), 94–107. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/jst>
- Aladwani, J. (2024). Oil Volatility Uncertainty: Impact on Fundamental Macroeconomics and the Stock Index. *Economies Article*, 12(40), 1–23. <https://doi.org/10.3390/economies12060140>
- Putri, A. D., Ahman, A., Hilmia, R. S., Almaliyah, S., & Permana, S. (2023). Pengaplikasian Uji T Dalam Penelitian Eksperimen. *Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 4(3), 1978–1987. <https://doi.org/10.46306/lb.v4i3.527>.