

## PEMODELAN VOLATILITAS *RETURN* MENGGUNAKAN MODEL GARCH(1,1) DENGAN *RETURN* DITRANSFORMASI BOX-COX

Kezia Natalia Putri Prasetya<sup>1)\*</sup>, Didit Budi Nugroho<sup>2)</sup>, Bambang Susanto<sup>3)</sup>

Program Studi Matematika,  
Universitas Kristen Satya Wacana,  
Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711, Jawa Tengah, Indonesia  
[662015016@student.uksw.edu](mailto:662015016@student.uksw.edu)

### Abstrak

*Studi ini mengusulkan klas baru dari model GARCH dengan mengaplikasikan keluarga transformasi Extended Box-Cox untuk return, yang selanjutnya dinamakan model EBCR-GARCH. Parameter-parameter model diestimasi utamanya menggunakan alat bantu Solver Excel. Analisis empiris didasarkan pada data simulasi dan data riil. Data riil yang digunakan adalah data kurs beli EUR, JPY dan USD terhadap IDR periode harian dari Januari 2010 sampai Desember 2017. Studi ini memperhatikan model dengan inovasi berdistribusi normal. Dalam kasus data simulasi, hasil estimasi menunjukkan bahwa model EBCR-GARCH(1,1) mengungguli model GARCH(1,1). Kemudian dalam kasus data riil, model EBCR-GARCH(1,1) mengungguli model GARCH(1,1) pada data kurs beli EUR terhadap IDR. Berdasarkan kelemahan dan keunggulan Solver Excel serta perbandingan hasil estimasi dengan metode yang berbeda, studi ini menyatakan bahwa Solver Excel handal dalam mengestimasi parameter-parameter model.*

**Kata Kunci:** GARCH, Matlab, Solver, Transformasi Box-Cox, volatilitas

### 1. PENDAHULUAN

Volatilitas mempunyai peranan penting dalam tingkat pengembalian investasi karena volatilitas di pasar keuangan diartikan sebagai simpangan baku dari perubahan *return* aset dalam jangka waktu yang spesifik. Karena itu volatilitas sering diindikasikan sebagai suatu ukuran risiko berdasarkan fluktuasi nilai *return* aset. Semakin tinggi volatilitas, semakin besar risikonya (Lim & Sek, 2013).

Yang termasuk dalam aset keuangan yaitu antara lain kurs mata uang, saham, dan komoditas. Studi ini mengamati volatilitas dari kurs mata uang asing terhadap IDR (Indonesian Rupiah). Kurs merupakan nilai sebuah mata uang dari suatu negara yang diukur atau dinyatakan dalam mata uang negara lainnya. Kurs berperan penting dalam hubungan antar negara, karena dengan adanya kurs maka suatu negara dapat mengetahui nilai mata uang negara lain yang dapat digunakan dalam perdagangan atau perekonomian. Salah satu jenis kurs yaitu kurs beli. Kurs beli merupakan kurs yang dipakai apabila bank atau *money changer* membeli mata uang asing dari konsumen atau dengan kata lain konsumen menukarkan mata uang asing dengan mata uang lokal. Secara khusus, kurs beli mata uang asing yang diamati dalam studi ini

yaitu EUR (Euro), JPY (Japanese Yen), dan USD (US Dollar) yang merupakan mata uang yang dominan di perdagangan internasional dan diakui oleh PBB.

Volatilitas dari suatu data runtun waktu dapat bersifat heteroskedastik, yang berarti nilai volatilitas berubah-ubah terhadap waktu. Salah satu model yang populer dan dapat digunakan untuk memodelkan volatilitas yang tidak konstan tersebut yaitu model GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*). Model tersebut diusulkan oleh Bollerslev (1986) dengan tujuan memperumum model ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) yang diusulkan oleh Engle (1982). Salah satu perluasan dari model ARCH yaitu model yang diusulkan oleh Sarkar (2000) dan Utami & Subanar (2013). Mereka mentransformasikan *return* menggunakan transformasi Box–Cox (Box & Cox, 1964). Transformasi tersebut digunakan karena tidak semua *return* keuangan mengikuti distribusi normal, sehingga transformasi tersebut diterapkan untuk membuat data mendekati distribusi normal.

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah untuk studi ini adalah apakah keunggulan dan kelemahan dari Solver Excel dalam mengestimasi model EBCR-GARCH(1,1), kemudian apakah model EBCR-GARCH(1,1) lebih baik daripada model dasar GARCH(1,1). Tujuan yang ingin dicapai dari studi ini adalah mengetahui kemampuan Solver Excel dalam mengestimasi model yang diusulkan dan mendapatkan model yang lebih baik antara model EBCR-GARCH(1,1) dengan model GARCH(1,1). Kemudian hal baru yang menjadi kontribusi dalam studi ini adalah model yang diusulkan, penggunaan Solver Excel untuk model yang diusulkan, serta pengaplikasian model pada data kurs beli EUR, JPY dan USD terhadap IDR. Manfaat dari studi ini adalah memberikan rekomendasi atau usulan kepada praktisi keuangan untuk menggunakan model dan alat estimasi yang lebih cocok dalam mengukur volatilitas kurs beli mata uang EUR, JPY dan USD terhadap IDR.

Dalam konteks model GARCH, terdapat beberapa literatur keuangan yang membahas tentang perluasan model GARCH. Salah satu perluasan model GARH yaitu dengan mengaplikasikan transformasi Box–Cox. Sebagai contoh, Sarkar (2000) dan Utami & Subanar (2013) berturut-turut mengaplikasikan transformasi *Extended Box–Cox* (EBC) dan *Shifted Box–Cox* (SBC) untuk *return* dengan volatilitasnya mengikuti model ARCH. Dalam pengestimasi model, Sarkar (2000) menggunakan metode *maximum likelihood estimation* (MLE) untuk data harga harian *Bombay Stock Exchange Sensitive Index* periode Januari 1984 sampai Januari 1996. Hasil empiris menunjukkan bahwa model yang diusulkan lebih baik daripada model ARCH. Sementara itu, Utami & Subanar (2013) mengusulkan metode *second order least square* untuk mengestimasi model. Termotivasi oleh penggunaan transformasi Box–Cox, studi ini mengusulkan suatu klas baru dari model GARCH dengan mengaplikasikan transformasi EBC untuk *return* asset.

## 2. METODE PENELITIAN

Tujuan utama dari studi ini yaitu memperluas model dari Sarkar (2000) dan Utami & Subanar (2013) dengan memperhatikan model GARCH untuk volatilitas. Kasus ini mengasumsikan inovasi mengikuti distribusi normal. Dalam studi ini, model yang diusulkan yaitu model GARCH(1,1) dengan *return* ditransformasi *Extended Box-Cox*, disingkat EBCR-GARCH(1,1), dan diestimasi utamanya menggunakan alat bantu Solver Excel dan selanjutnya dibandingkan dengan hasil estimasi menggunakan metode Markov Chain Monte Carlo (MCMC) di Matlab.

Data yang digunakan pada studi ini adalah data simulasi dan data riil yang merupakan data sekunder yang diambil dari laman Bank Indonesia ([www.bi.go.id](http://www.bi.go.id)) yang tersedia untuk publik. Data tersebut kemudian disusun dalam lembar kerja (*spreadsheet*) Microsoft Excel. Data yang diambil merupakan data harian kurs beli mata uang EUR, JPY, USD terhadap IDR dari Januari 2010 sampai Desember 2017.

Model bertipe GARCH(1,1) sering digunakan pada banyak studi empiris di bidang keuangan karena tipe model tersebut merupakan model yang paling populer dalam keluarga model GARCH. Hansen & Lunde (2005) telah membandingkan 330 model bertipe ARCH dan tidak menemukan bukti empiris bahwa model GARCH(1,1) diungguli oleh model lainnya. Model GARCH(1,1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_t = \sigma_t z_t, \text{ dimana } z_t \sim N(0,1), \quad (1)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha R_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2)$$

dimana syarat syarat positività variansi (volatilitas kuadrat) bersyarat  $\sigma_t^2$  dipenuhi oleh  $\omega > 0$ ,  $\alpha \geq 0$ ,  $\beta \geq 0$ , dan syarat stasioneritas variansi bersyarat dipenuhi oleh  $0 \leq \alpha + \beta < 1$ . Dalam model tersebut, dinotasikan  $\varepsilon_t = \sigma_t z_t$  dan dinamakan inovasi (*innovation/shock*).

Banyak analisis statistik membutuhkan asumsi normalitas. Ketika data diketahui tidak berdistribusi normal, seperti data *return* dari aset keuangan, terdapat beberapa cara untuk membuat data tersebut mendekati distribusi normal sehingga analisis dapat diselesaikan. Termotivasi oleh hal tersebut, Box & Cox (1964) mengusulkan suatu keluarga fungsi yang dapat mentransformasikan data tak berdistribusi normal menjadi mendekati distribusi normal. Untuk suatu variabel  $x > 0$ , transformasi tersebut dinyatakan oleh fungsi berikut:

$$f(x, \lambda) = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} & , \lambda \neq 0, \\ \ln x & , \lambda = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Lebih lanjut, Bickel & Doksum (1981) memodifikasinya menjadi transformasi EBC, sehingga transformasi tersebut berlaku untuk semua nilai riil  $x$  yang tidak sama dengan nol:

$$f(x, \lambda) = \begin{cases} \frac{|x|^\lambda \text{sign}(x) - 1}{\lambda} & , \lambda \neq 0, \\ \text{sign}(x) \ln |x| & , \lambda = 0, \end{cases} \quad (4)$$

dengan nilai  $\lambda = 1$  berkorespondensi dengan tidak ada transformasi.

Sekarang generalisasi dari model GARCH(1,1), seperti yang diusulkan dalam studi ini dan dinamakan model EBCR-GARCH(1,1), dinyatakan seperti berikut:

$$f(R_t, \lambda) = \sigma_t z_t, \text{ dimana } z_t \sim N(0,1), \quad (5)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha R_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2, \quad (6)$$

dengan  $f(R_t, \lambda)$  mengikuti transformasi EBC.

Studi ini menggunakan metode maksimum likelihood yang merupakan salah satu metode yang digunakan dalam mengestimasi parameter dari suatu model yang mengikuti distribusi tertentu. Model EBCR-GARCH(1,1) dengan inovasi  $\varepsilon_t$  mengikuti distribusi normal dengan rata-rata 0 dan variansi  $\sigma_t^2$  mempunyai fungsi total log-likelihood seperti berikut:

$$\log L(\theta) = -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \left[ \log(2\pi\sigma_t^2) + \frac{f^2(R_t, \lambda)}{\sigma_t^2} \right], \quad (7)$$

dengan  $\theta$  adalah vektor dari parameter-parameter model.

Untuk pemilihan model yang memberikan pencocokan terbaik, studi ini menggunakan uji rasio log-likelihood (*Log Likelihood Ratio (LLR) test*). Metode ini belum tentu merupakan suatu uji terbaik, namun pengujian ini mempunyai sifat-sifat yang meminimumkan kesalahan uji (Roussas, 1997). Dimisalkan terdapat model  $M_0$  dan  $M_1$  dengan nilai log-likelihood berturut-turut adalah  $L_{M_0}$  dan  $L_{M_1}$ . Nilai statistik untuk *LLR* dinyatakan sebagai berikut (Casella & Berger, 2002).

$$LLR_{stat} = 2(L_{M_1} - L_{M_0}), \quad (8)$$

dengan nilai-nilai kritis dari distribusi  $\chi^2$  dengan derajat kebebasan 1 pada tingkat signifikansi 1%, 5%, dan 10% masing-masing adalah 6,64, 3,84, dan 2,71. Di sini, derajat kebebasan adalah selisih banyaknya parameter dari model-model yang dibandingkan. Model  $M_1$  secara signifikan akan memberikan pencocokan lebih baik daripada model  $M_0$  apabila  $LLR_{stat}$  lebih besar daripada nilai kritis.

Studi ini utamanya menggunakan alat bantu Solver Excel untuk mengestimasi parameter-parameter model. Solver merupakan salah satu *addin* pada Microsoft Excel yang digunakan untuk menemukan nilai optimal (maksimum atau minimum). Dalam studi ini digunakan metode GRG Non-Linear (tersedia di Solver) untuk mengestimasi parameter-parameter model yang memaksimalkan log-likelihood. Dibandingkan dengan alat bantu yang memerlukan pengetahuan pemrograman, Solver Excel lebih disukai oleh para praktisi keuangan karena ada banyak situasi dimana optimisasi numerik bisa dilakukan pada Microsoft Excel. Penggunaan Solver untuk mengestimasi model GARCH(1,1) sudah dipelajari oleh Alexander (2008), Tung *et al.* (2010), Christoffersen (2012), dan Nugroho *et al.* (2018).

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

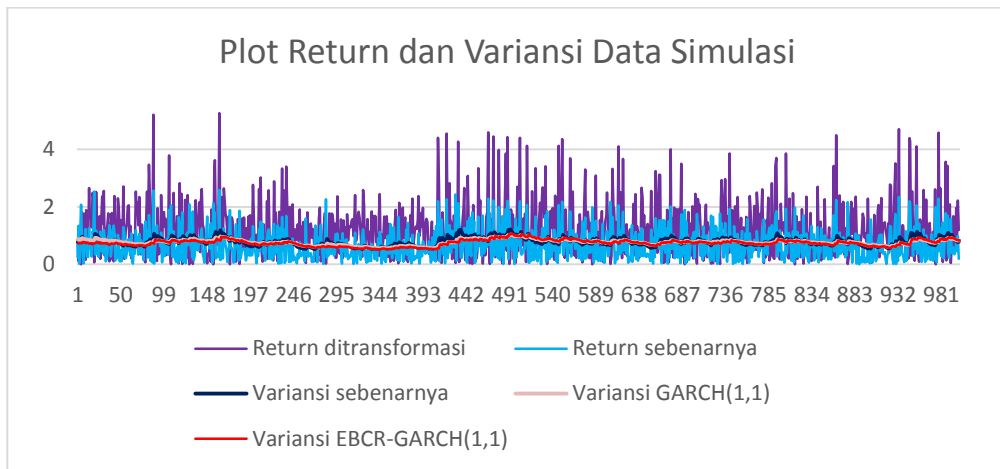
Bagian ini memperhatikan model yang didasarkan pada distribusi normal untuk inovasi *return* dan diaplikasikan pada data simulasi. Data yang digunakan adalah 1000 data *return* yang dibangkitkan melalui model EBCR-GARCH(1,1) dengan nilai parameter  $\omega = 0,04$ ,  $\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,90$ , dan  $\lambda = 0,5$ . Nilai-nilai tersebut dipilih berdasarkan hasil dari studi empiris dalam literatur-literatur keuangan.

**Tabel 3.1:** Hasil estimasi pada data simulasi.

Parameter	Nilai Sebenarnya	EBCR-GARCH(1,1)		GARCH(1,1)	
		Estimasi	Galat Relatif	Estimasi	Galat Relatif
$\omega$	0,04	0,0110	72,4%	0,0129	-
$\alpha$	0,05	0,0203	59,3%	0,0182	-
$\beta$	0,90	0,9650	7,2%	0,9649	-
$\lambda$	0,50	0,5943	18,8%	-	-
$\alpha + \beta$	0,95	0,9854	-	0,9832	-
Total Ln(L)		-1267,47		-1284,86	

Tabel 3.1 meringkas hasil estimasi dan perbandingan model. Galat relatif dihitung untuk melihat keakuratan hasil Solver Excel. Dalam kasus ini, Solver Excel diinisialisasi dengan menetapkan nilai awal  $\omega = 0,035$ ,  $\alpha = 0,045$ ,  $\beta = 0,91$ , dan  $\lambda = 0,4$ . Dapat dilihat bahwa nilai galat relatif dari estimasi model EBCR-GARCH(1,1) cukup kecil untuk parameter  $\beta$  dan  $\lambda$ , yang mengindikasikan bahwa Solver dapat mengestimasi parameter-parameter tersebut secara handal. Sementara itu, Solver bisa dikatakan kurang handal dalam mengestimasi parameter  $\omega$  dan  $\alpha$  karena nilai galat relatif yang lebih besar dari 50%.

Hasil estimasi nilai total *log-likelihood* untuk model EBCR-GARCH(1,1) adalah lebih besar daripada model GARCH(1,1). Hasil ini menunjukkan bahwa model EBCR-AGRCH(1,1) memberikan pencocokan yang lebih baik daripada model GARCH(1,1). Ini diindikasikan oleh uji *LLR* yang memberikan nilai statistik 34,78, yang adalah lebih besar dari nilai kritis pada semua tingkat signifikansi. Studi ini mencatat adanya kelemahan Solver, yaitu bahwa Solver sangat sensitif terhadap nilai awal, oleh karena itu pengambilan nilai-nilai awal untuk parameter sebaiknya mendekati nilai sebenarnya.



**Gambar 3.1:** Plot runtun waktu *return* mutlak dan variansi untuk data simulasi.

Gambar 3.1 menampilkan plot runtun waktu dari *return* mutlak dan variansi yang diperoleh dari pencocokan menggunakan model GARCH(1,1) dan EBCR-GARCH(1,1) pada data simulasi. Gambar tersebut menunjukkan bahwa runtun waktu *return* dan variansi untuk setiap model memiliki pola yang mirip. Hal tersebut menunjukkan bahwa estimasi dapat dikatakan sudah tepat.

Selanjutnya, model diaplikasikan pada data kurs beli mata uang EUR, JPY dan USD terhadap IDR periode harian dari Januari 2010 sampai Desember 2017. Nilai *return* (dinyatakan dalam persen) didefinisikan sebagai berikut:

$$R_t = 100 \times [\ln(P_t) - \ln(P_{t-1})], \tag{9}$$

Dimana  $P_t$  merupakan nilai kurs pada hari ke-t. Tabel 4.2 menyajikan hasil empiris dari model GARCH(1,1), dilabelkan sebagai Model (1), melawan model EBCR-GARCH(1,1), dilabelkan sebagai Model (2), yang diestimasi menggunakan Solver dan metode ARWM di Matlab. Hasil estimasi pada Matlab digunakan sebagai pembandingan untuk hasil estimasi pada Solver.

**Tabel 3.2:** Hasil estimasi parameter pada data riil.

Data	Model	Alat	$\omega$	$\alpha$	$\beta$	$\lambda$	$\alpha + \beta$	Total Log(L)
EUR	(1)	Solver	0,0066	0,0449	0,9394	-	0,9843	-1842,03
		Matlab	0,0079	0,0472	0,9339	-	0,9755	-1843,54
	(2)	Solver	0,0060	0,0797	0,9190	2,56	0,9987	-1832,56
		Matlab	0,0075	0,0779	0,9161	2,55*	0,9945	-1834,50
JPY	(1)	Solver	0,0131	0,0672	0,9108	-	0,9779	-2105,96
		Matlab	0,0168	0,0739	0,8982	-	0,9721	-2107,91

USD	(2)	Solver	0,1292	0,0384	0,7820	1,91	0,8204	-2438,81
		Matlab	0,2117	0,0536	0,6554	1,91*	0,7090	-2441,28
	(1)	Solver	0,0053	0,1985	0,7969	-	0,9954	-758,06
		Matlab	0,0060	0,2033	0,7864	-	0,9897	-759,40
	(2)	Solver	0,0434	0,5914	0,4086	3,22	1,0000	-1181,00
		Matlab	0,0455	0,5436	0,4222	3,21*	0,9658	-1182,89

Catatan : \* menyatakan bahwa nilai secara signifikan berbeda dari 1 berdasarkan 95% interval HPD (Highest Posterior Density), lihat Chen & Shao (1999).

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa Solver dan Matlab memberikan nilai estimasi yang tidak jauh berbeda untuk parameter-parameter, kecuali dalam kasus model EBCR-GARCH(1,1) yang mengadopsi data JPY. Oleh sebab itu, studi ini bisa mengatakan bahawa Solver dapat mengestimasi parameter-parameter modal secara handal. Secara khusus untuk data kurs beli USD, kami mencatat bahawa Solver menghasilkan  $\alpha + \beta = 1$  (yang adalah syarat model IGARCH) untuk model EBCR-GARCH(1,1). Hasil tersebut disebabkan kelemahan Solver yang tidak menyediakan syarat tegas untuk kendala-kendala model.

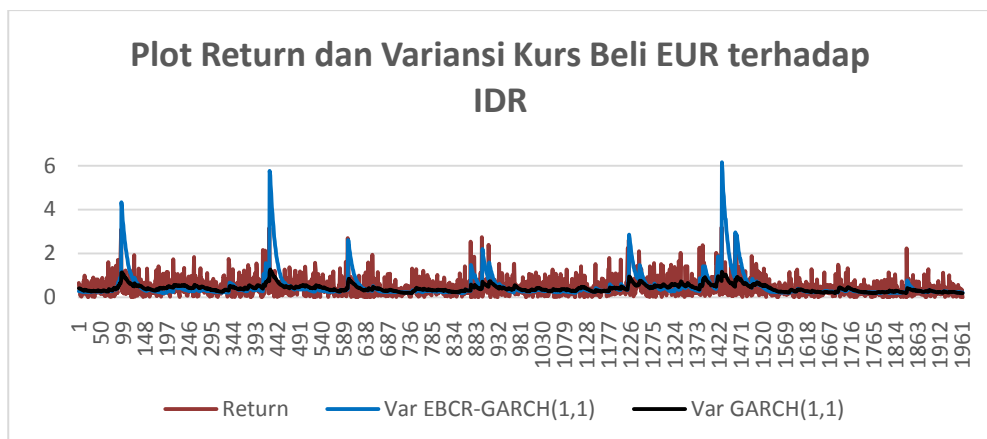
Berdasarkan estimasi total *log-likelihood*, Uji LLR dari model EBCR-GARCH(1,1) terhadap model GARCH(1,1) memberikan nilai statistik 18,94 yang mengindikasikan bahwa model EBCR-GARCH(1,1) menyediakan pencocokan yang lebih baik pada data kurs beli EUR. Sementara itu, pada data kurs beli JPY dan USD, model GARCH(1,1) menyediakan pencocokan yang lebih baik meskipun estimasi parameter-parameter Box-Cox adalah signifikan berbeda dari 1.

Analisis berikutnya diperhatikan pada beberapa karakteristik yang dipengaruhi oleh nilai  $\alpha + \beta$ , yaitu seperti variansi rata-rata (*long run average unconditional variance*) yang didefinisikan oleh  $V_L = \frac{\omega}{1-(\alpha+\beta)}$  dan paruh waktu ketahanan variansi (*half-life of a variance shock*) yang didefinisikan oleh  $L_h = \frac{\ln 0.5}{\ln(\alpha+\beta)}$  lihat Ahmed *et al.* (2018). *Shock* dapat diritikan sebagai *return* negatif (berita buruk) dan *return* positif (berita baik). Sementara itu paruh waktu ketahanan variansi menyatakan paruh waktu yang dibutuhkan agar variansi (volatilitas kuadrat) bersyarat kembali ke rata-ratanya (*unconditional variance*), atau dapat dikatakan sebagai ukuran berlangsungnya variansi.

Sekarang fokus pada data kurs beli EUR yang menyediakan pencocokan lebih baik untuk model EBCR-GARCH(1,1). Estimasi yang diperhatikan adalah estimasi yang diperoleh dari Solver. Estimasi variansi rata-rata untuk model EBCR-GARCH(1,1) adalah  $V_L = 4,71$  per hari yang lebih besar daripada  $V_L = 0,42$  per hari yang dihasilkan oleh model GARCH(1,1). Sementara itu, paruh waktu ketahanan dari variansi yang

diakibatkan oleh model EBCR-GARCH(1,1) yaitu sekitar 540 hari, yang adalah lebih lama dari model GARCH(1,1) sekitar 44 hari. Hal tersebut dapat diartikan bahwa volatilitas dari EBCR-GARCH(1,1) memerlukan waktu 1080 hari untuk kembali ke variansi rata-rata. Berdasarkan interpretasi dari Wahyuni & Pujiarto (2015), hal tersebut berarti bahwa model tersebut mengakibatkan nilai aset tidak sensitif terhadap informasi/*return* yang baru karena informasi baru akan berlalu sekitar 1080 hari. Sementara itu, mengikuti interpretasi dari Ahmed *et al.* (2018) model EBCR-GARCH(1,1) menyarankan kepada investor EUR untuk beroperasi secara bebas dengan waktu yang lebih lama.

Gambar 3.2 menampilkan runtun waktu dari *return* mutlak dan variansi yang diperoleh dari pencocokan menggunakan model GARCH(1,1) dan EBCR-GARCH(1,1) pada data kurs beli EUR terhadap IDR. Gambar tersebut menunjukkan bahwa runtun waktu *return* dari variansi untuk setiap model memiliki pola yang mirip. Hal tersebut menunjukkan bahwa estimasi dapat dikatakan sudah tepat. Lebih lanjut, gambar tersebut juga mengkonfirmasi hasil sebelumnya bahwa variansi rata-rata yang diakibatkan oleh model EBCR-GARCH(1,1) adalah lebih tinggi.



**Gambar 3.2:** Plot runtun waktu *return* mutlak dan variansi untuk kurs beli EUR terhadap IDR.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan tujuan pertama yang ingin dicapai, maka sesuai dengan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, studi ini menyimpulkan adanya beberapa kelemahan Solver Excel. Pertama, Solver Excel sensitif terhadap nilai awal. Hal tersebut dapat diatasi dengan penentuan nilai awal parameter yang dilakukan dengan metode *trial and error* yang dugaannya lebih dekat ke nilai estimasinya. Kedua, Solver Excel tidak menyediakan syarat yang tegas untuk kendala-kendala model. Kelemahan tersebut hanya terjadi pada data tertentu saja. Ketiga, Solver tidak dapat memberikan interval



kepercayaan seperti estimasi ARWM pada MCMC. Sebenarnya hal tersebut tidak menjadi masalah bagi pengguna yang hanya ingin mengetahui nilai-nilai estimasi parameter. Oleh sebab itu, menurut pandangan penulis kelemahan-kelemahan Solver masih bisa diatasi. Sementara itu, keunggulan dari Solver Excel yaitu mudah digunakan dan tidak memerlukan pengetahuan pemrograman maupun metode estimasi. Berdasarkan kelemahan dan keunggulan Solver tersebut serta hasil estimasi model, studi ini menyatakan bahwa Solver Excel handal untuk mengestimasi parameter-parameter model.

Sementara itu, sesuai dengan tujuan kedua yang ingin dicapai, studi ini menyimpulkan bahwa model yang diusulkan, yaitu EBCR-GARCH(1,1) berpotensi menyediakan pencocokan yang lebih baik daripada model GARCH(1,1).

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, R. R., Vveinhardt, J., Streimikiene, D., & Channar, Z. A. (2018). Mean reversion in international markets: evidence from G.A.R.C.H. and half-life volatility models. *Economic Research-Ekonomika Istrazivanja*, 31(1), 1198–1217.
- Alexander, C. (2008). *Market Risk Analysis II: Practical Financial Econometrics*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Bickel, P. J., & Doksum, K. A. (1981). An analysis of transformations revisited. *Journal of the American Statistical Association*, 76(374), 296–311.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, 307–327.
- Box, G. E. P., & Cox, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 26(2), 211–252.
- Casella, G., & Berger, R. L. (2002). *Statistical Inference* (2nd ed.). Duxbury
- Chen, M.-H., & Shao, Q.-M. (1999). Monte carlo estimation of Bayesian credible and HPD intervals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 8(1), 69.
- Christoffersen, P. F. (2012). *Elements of financial risk management* (2nd ed.). New York: Academic Press.
- Hansen, P. R., & Lunde, A. (2005). A forecast comparison of volatility models: Does anything beat a GARCH(1,1)? *Journal of Applied Econometrics*, 20(7), 873–889.
- Lim, C. M., & Sek, S. K. (2013). Comparing the Performances of GARCH-type Models in Capturing the Stock Market Volatility in Malaysia.

*Procedia Economics and Finance*, 5(13), 478–487.

- Nugroho, D. B., Susanto, B., & Rosely, M. M. M. (2018). Penggunaan MS Excel untuk estimasi model GARCH(1,1). *Jurnal Matematika Integratif*, 14(2), segera terbit.
- Roussas, G. G. (1997). *A Course in Mathematical Statistics. Second Edition*. USA: Academic Press.
- Sarkar, N. (2000). Arch model with Box–Cox transformed dependent variable. *Statistics & Probability Letters*, 50(4), 365–374.
- Tung, H. K. K., Lai, D. C. F., & Wong, Mi. C. S. (2010). *Professional financial computing using Excel and VBA*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Utami, H., & Subanar. (2013). Second Order Least Square Estimation on Arch ( 1 ) Model With Box-Cox Transformed Dependent Variable. *Journal of the Indonesian Mathematiical Society*, 19(1), 99–110.
- Wahyuni, S., & Pujiarto. (2015). Analisis Volatilitas Imbal Hasil Obligasi Syariah dengan Model Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH): Studi pada Pasar Obligasi Syariah di Indonesia. *Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Dan Pengabdian LPPM Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, (September), 75–82.