

Perbandingan Metode GARCH BEKK dan Matriks Varian-Kovarian untuk Penaksiran Volatilitas Mata Uang dan *VaR*

Sigit S. Wibowo dan Bambang Hermanto

Abstract

Value-at-Risk (VaR) is the most popular tool for risk measurement in banking and finance industry today. The study estimates the volatility for market risk measurement to calculate diversified VaR. Using Multivariate GARCH BEKK proposed by Engle and Kroner (1993) and variance-covariance matrix methods, this paper compares both methods in generating volatility forecast to estimate diversified VaR particularly for market risk. The paper examines three exchange rates: GBP/USD, USD/JPY, and USD/SGD, from the period of 2000 to 2005. The empirical result shows that GARCH BEKK model performs better, though has more sophisticated specification, than variance-covariance matrix method in estimating the volatility. The estimation results are as follows: VaR estimation generated by GARCH BEKK is 0.1388% which leads to capital charge of 5.2063%; while estimation generated by variance-covariance matrix is 0.1982% which leads to capital charge of 7.433%. The results also show that the volatility changes significantly every 125 observations or at least once in three months. This concludes that volatility forecast should be evaluated at least every three months.

Keywords: GARCH BEKK, capital charge, volatility, value-at-risk

Efisiensi pengelolaan instrumen dan risiko dalam dunia perbankan dan keuangan bergantung pada akurasi peramalan peubah seperti harga, volume instrumen dan varian. Varian yang berubah seiring dengan perubahan waktu umumnya disebut sebagai volatilitas. Pada umumnya, bila volatilitas meningkat maka risiko juga meningkat. Dowd (1998) menyebutkan adanya beberapa penyebab lingkungan bisnis menjadi lebih

volatil yang membawa suatu transformasi manajemen risiko. Penyebabnya antara lain adalah instabilitas nilai tukar, instabilitas suku bunga, volatilitas pasar modal, dan faktor-faktor lain seperti volatilitas harga minyak.

Risiko yang berasal dari volatilitas ini sebenarnya dapat dikelola dengan baik. Investor, baik individu maupun institusi, seperti bank dan lembaga keuangan lainnya, dapat melakukan penyesuaian portofolionya dengan mengurangi *exposure* mereka terhadap instrumen dan komoditi yang diramalkan volatilitasnya dapat meningkat. Peramalan volatilitas instrumen atau komoditi tersebut secara langsung dipengaruhi volatilitas, yang

akan menyebabkan perubahan nilai dalam pola yang dapat diperkirakan. Sehingga, harga instrumen atau komoditi yang ekuilibrium pada akhirnya dipengaruhi oleh perubahan volatilitas. Investor yang dapat meramalkan perubahan volatilitas secara akurat dan dapat diandalkan, maka umumnya ia dapat mengendalikan risiko keuangan dengan lebih baik.

Value-at-Risk (selanjutnya disingkat VaR) memiliki peran yang vital dalam pengukuran risiko saat ini. VaR merupakan perangkat yang banyak digunakan oleh para akademisi dan praktisi untuk mengukur risiko, khususnya risiko pasar. VaR merupakan suatu cara pengukuran potensi kerugian maksimal dari suatu instrumen atau pun portofolio, dengan tingkat kepercayaan tertentu akibat adanya perubahan faktor risiko. Basel Committee menjelaskan penggunaan VaR sebagai alat pengukuran risiko yang digunakan oleh dunia perbankan dan keuangan dalam mengendalikan risikonya, khususnya setelah amandemen terhadap Basel I pada tahun 1996.

Engel dan Gizycki (1999) melakukan penelitian terhadap nilai luktur dan suku bunga Australia dengan menggunakan empat metode berbeda yaitu: *historical smoothing* dengan bobot tetap, *exponential smoothing* atau EWMA, dan GARCH multivariat, yaitu model Baba, Engle, Kraft, Kroner (selanjutnya disebut model GARCH BEKK), dan korelasi konstan. Penelitian ini menghasilkan dua hasil penting. Pertama, berbagai variasi varian sepanjang waktu menunjukkan korelasi yang berbeda dengan kecenderungan menurun. Kedua, pemodelan sederhana seperti EWMA dan *historical smoothing* memberikan kinerja yang lebih baik dibanding pemodelan GARCH yang rumit. Engel dan Gizycki juga

Sigit S. Wibowo, S.E., M.M.,
Staf Pengajar Departemen Manajemen FEUI.
Bambang Hermanto, Ph.D.
Ketua Departemen Manajemen FEUI.

menyarankan untuk melakukan pemutakhiran parameter setiap tiga bulan sekali.

Lopez dan Walter (2000) melakukan evaluasi matriks kovarian dalam kerangka VaR, dengan menggunakan berbagai model seperti model konstan, historis, EWMA, GARCH BEKK, dan *implied volatility*. Penelitian ini menemukan bahwa volatilitas yang dihasilkan harga opsi atau *implied volatility* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan model rerata sederhana dan GARCH, dengan tingkat signifikansi statistik yang berbeda. Faktor dominan yang menentukan akurasi taksiran VaR bukanlah spesifikasi matriks kovarian, melainkan asumsi distribusi yang digunakan. Peramalan menggunakan matriks kovarian yang diturunkan dari spesifikasi sederhana bekerja dengan baik dalam kerangka VaR, seperti spesifikasi EWMA.

Tulisan ini melakukan perbandingan antara perhitungan volatilitas yang bersifat tidak konstan dengan menggunakan metode GARCH multivariat yaitu model BEKK dan model matriks varian-kovarian. Tulisan ini selanjutnya memberikan analisis tentang pengaruh volatilitas dan korelasi dari tiga nilai tukar mata uang atau valuta asing yaitu Poundsterling Inggris terhadap Dollar Amerika Serikat (GBP/USD), Dollar Amerika Serikat terhadap Yen Jepang (USD/JPY), dan Dollar Amerika Serikat terhadap (USD/SGD). Nilai tukar dari mata uang tersebut merupakan harga dari komoditi yang mendasarinya yaitu mata uang itu sendiri. Kemudian, tulisan ini memberikan analisis mengenai perbandingan empirik taksiran VaR yang dihasilkan dari model-model yang digunakan serta *capital charge* atau beban modal yang dikenakan untuk menutupi potensi kerugian yang dapat terjadi dan dibatasi hanya untuk risiko pasar saja sesuai dengan data yang digunakan.

RISIKO PASAR: PENGERTIAN DAN PENGUKURANNYA

Risiko dan Volatilitas

Peramalan volatilitas merupakan sebuah elemen penting dalam pasar keuangan. Subyek ini menjadi fokus perhatian akademisi dan praktisi dalam jangka waktu dua dekade terakhir. Volatilitas memegang peranan penting dalam bidang investasi, penilaian

sekuritas, kebijakan moneter, dan manajemen risiko. Poon dan Granger (2003) menegaskan bahwa volatilitas tidak sama dengan risiko. Secara etimologis, volatilitas dan risiko diartikan berbeda. Dalam kamus The New Oxford Dictionary of English, kata volatilitas atau *volatile* berasal dari bahasa Perancis "volatil" atau bahasa Latin "volalilis" yang bermakna *to fly* atau terbang. Sedangkan risiko berasal dari bahasa Perancis yaitu "risque" (kata benda), "risquer" (kata kerja), dan bahasa Italia "risco" yang berarti bahaya dan "rischiare" yang bermakna mengalami keadaan bahaya. Jorion (2001) menjelaskan definisi risiko sebagai berikut:

"Risk can be defined as the volatility of unexpected outcomes, generally the value of assets or liabilities of interest."

Volatilitas banyak digunakan di berbagai bidang. Andersen, et.al. (2005) menjelaskan kegunaan volatilitas dalam penerapan praktis yang sejalan dengan dunia akademik, baik di bidang ekonomi makro maupun ekonomi keuangan. Kegunaan itu dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu: penerapan untuk peramalan umum, dan penerapan keuangan. Untuk peramalan umum, volatilitas dapat digunakan untuk penaksiran titik, interval, probabilitas, dan kepadatan. Sedangkan penerapan volatilitas di bidang keuangan, khususnya manajemen risiko antara lain berupa: VaR dan *Expected Shortfall* (ES); risiko kovarian seperti pengukuran *time-varying betas* dan rasio *conditional Sharpe*; alokasi instrumen dengan *time-varying covariances*; valuasi opsi dengan volatilitas dinamis; dan masih banyak lainnya.

Risiko Pasar dan Ketentuan Regulator

Menurut Basel Committee, risiko dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu risiko kredit, risiko pasar, dan risiko operasional. $ATMR_{risiko\ pasar} = 12,5 \times VaR(\text{risiko pasar}) \times \sqrt{t} \times (3 + plus\ factor)$ Pada Basel I yang dipublikasikan tahun 1988, Basel Committee sudah mendefinisikan risiko kredit didefinisikan sebagai risiko yang timbul akibat kegagalan pihak lawan. Beberapa risiko lain juga sudah disebutkan seperti risiko investasi, risiko suku bunga, risiko nilai tukar, dan risiko konsentrasi. Basel Committee pada tahun 1996 mendefinisikan risiko pasar sebagai risiko

kerugian dalam posisi *on-balance sheet* maupun *off-balance sheet* yang berasal dari pergerakan peubah-peubah pasar. Risiko pasar ini mencakup risiko nilai tukar mata uang. Kategori risiko terakhir yaitu risiko operasional didefinisikan sebagai risiko kerugian yang berasal dari proses internal, orang, dan sistem yang gagal atau tidak memadai atau dari peristiwa-peristiwa eksternal. Risiko ini mencakup risiko hukum, tetapi tidak mencakup risiko strategik dan risiko reputasi.

Sedangkan Bank Indonesia mengeluarkan Peraturan Bank Indonesia (PBI) Nomor. 5/8/PBI/2003 tentang Penerapan Manajemen Risiko Bagi Bank Umum, risiko diklasifikasikan ke dalam delapan jenis yaitu: 1) risiko kredit, 2) risiko pasar, 3) risiko likuiditas, 4) risiko operasional, 5) risiko hukum, 6) risiko reputasi, 7) risiko strategik, dan 8) risiko kepatuhan.

Dalam perhitungan risiko pasar, bank diberikan dua pilihan metodologi yaitu metode pengukuran standar dan model internal. Metodologi yang pertama mencakup empat risiko: risiko suku bunga, posisi ekuitas, posisi nilai tukar mata uang, dan risiko komoditas, menggunakan kelentuan standar. Sedangkan model internal harus memenuhi ketentuan tertentu dan penggunaannya harus disetujui secara eksplisit oleh otoritas pengawas perbankan di negara yang bersangkutan.

Basel Committee juga menetapkan jumlah minimum modal (*Capital Adequacy Ratio*) yang harus disediakan oleh bank sebesar 8%. Artinya jumlah modal yang dimiliki oleh bank dibagi dengan Aktiva Tertimbang Menurut Risiko (ATMR) minimal 8%. ATMR atau RWA (*Risk Weighted Asset*) terdiri dari risiko kredit, risiko pasar, dan risiko operasional. Dalam tulisan ini, beban modal untuk risiko pasar dapat diukur dengan cara sebagai berikut:

$$ATMR_{risiko\ pasar} = 12,5 \times VaR(\text{risiko pasar}) \times \sqrt{t} \times (3 + plus\ factor)$$

Dengan t adalah horizon waktu, dan 3 adalah faktor pengali. Sedangkan *plus factor* ditentukan oleh hasil *backtesting* dengan nilai yang berkisar antara 0 hingga 1. Faktor ini memberikan insentif terhadap pemodelan yang memiliki kinerja yang baik secara statistik. Angka 12,5 merupakan ketentuan yang ditetapkan oleh Basel Committee.

Volatilitas dan Value-at-Risk

Manajemen risiko pasar mendapatkan peranan yang sangat besar sejak amandemen terhadap Basel I pada tahun 1996. Hal tersebut menyebabkan peramalan volatilitas menjadi suatu keharusan bagi institusi keuangan di seluruh dunia. Industri perbankan, khususnya, harus menyediakan modal cadangan (*reserve capital*) paling tidak tiga kali lebih besar dari VaR.

VaR adalah salah satu ukuran probabilistik yang populer pada periode 1990-an. Teori dasar pengukuran VaR ini sebenarnya berakar pada teori portofolio yang dikemukakan Markowitz (1952). Menurut Holton (2002) peletak dasar VaR sebenarnya adalah Hicks pada tahun 1935 tetapi konsep Hicks tentang diversifikasi masih dilakukan secara kualitatif. Pada tahap selanjutnya, konsep ini terus berkembang seperti yang dikenal saat ini.

Jorion (2003) mengatakan bahwa VaR dapat diinterpretasikan sebagai *cutoff point* dari kerugian yang tidak akan terjadi dengan probabilitas lebih besar misalnya dari $p = 95\%$. Bila $f(u)$ adalah distribusi keuntungan dan kerugian dari portofolio maka VaR secara matematis dapat didefinisikan:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du = (1-p)$$

Jika p adalah probabilitas ekor kanan (*right-tail*) dan c , yaitu $(1-p)$ adalah probabilitas ekor kiri (*left tail*). Sehingga VaR dapat didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi antara nilai ekspektasi dan kuantil,

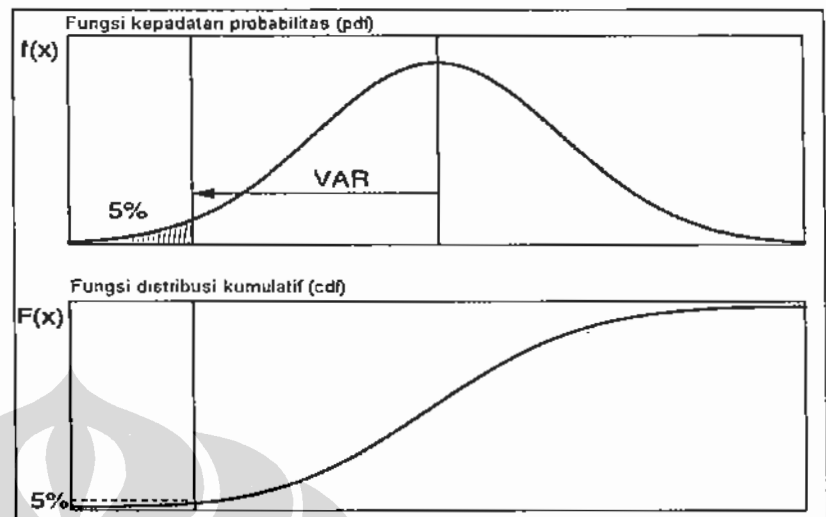
$$\text{VaR}(c) = E(X) - Q(X, c)$$

VaR seringkali didefinisikan deviasi antara nilai rerata dengan kuantil pada distribusi normal yang dapat digambarkan sebagai berikut: (Gambar 1)

Jorion (2001) menjelaskan pengukuran VaR dapat dilakukan baik untuk instrumen tunggal maupun portofolio. Untuk pengukuran VaR, tahapan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai *mark-to-market* dari posisi portofolio.
2. Menghitung volatilitas dari faktor-faktor risiko.

Gambar 1 VaR sebagai *Quantile*



Sumber: Jorion (2003).

3. Menentukan horizon waktu.
4. Menentukan tingkat kepercayaan.
5. Menghitung kerugian maksimum yang dapat terjadi melalui pengukuran VaR.

Dalam konteks ini, VaR untuk instrumen tunggal dapat diukur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{VaR}_t = V_0 \times \sigma_t \times \alpha \times \sqrt{T} \quad (1.1)$$

Dengan V_0 adalah posisi instrumen, σ_t adalah volatilitas pada hari ke- t , α adalah tingkat kepercayaan, dan \sqrt{T} adalah horizon waktu. Sedangkan VaR untuk portofolio, nilai disesuaikan dengan posisi portofolio sesuai dengan jumlah instrumen yang digunakan. Volatilitas portofolio harus ditaksir sebagai berikut:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}} \quad (1.2)$$

dengan $\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$, yaitu volatilitas instrumen i dan ρ_{ij} instrumen j , dan adalah korelasi antara instrumen i dengan instrumen j .

Model-Model Volatilitas

Secara garis besar, Poon dan Granger (2003), pemodelan volatilitas dapat terbagi menjadi empat jenis seperti: model non parametrik; model jaringan syaraf (*neural networks*); pemrograman genetik; dan perubahan waktu dan durasi. Model yang terakhir ini biasa disebut juga sebagai model runtun waktu. Pembagian

pemodelan volatilitas ini dapat dijelaskan sebagai berikut: (Gambar 2).

Model Volatilitas Kondisional: (G)ARCH

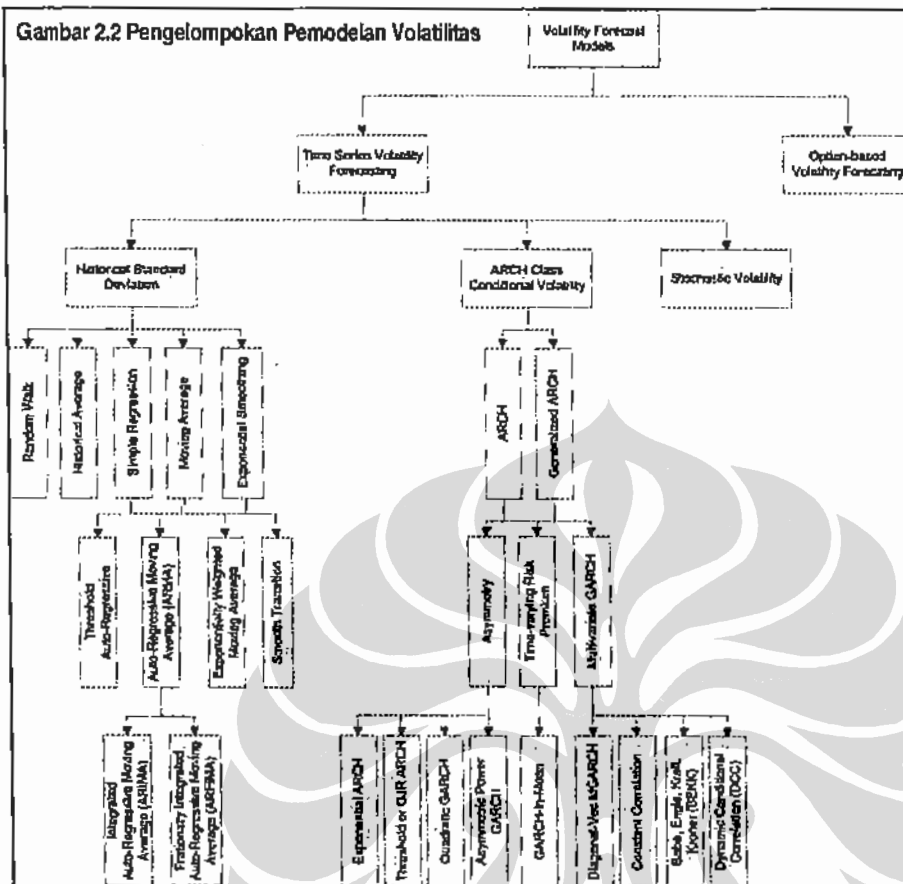
Model ARCH beserta variannya tidak menggunakan standar deviasi sampel, tetapi menggunakan varian kondisional σ_t^2 yang ditaksir dengan prosedur *maximum likelihood*. Dengan cara tersebut, maka peramalan satu periode ke depan dapat dilakukan, sedangkan untuk periode lebih dari satu, dapat diformulasikan dengan prosedur iteratif. Model ini sangat terkenal dalam ekonometrika keuangan. Perintis model ini Robert F. Engle dan rekannya Clive W. Granger mendapatkan Hadiah Nobel pada tahun 2002 atas jasa dan dedikasinya dalam pengembangan ekonometrika keuangan.

Parameterisasi varian kondisional pertama kali digunakan oleh Engle (1982) untuk memodelkan momen kedua yang tidak leramati untuk dapat memodelkan varian kondisional terhadap elemen dari sekumpulan informasi dalam bentuk *autoregressive*. Model ini merupakan bentuk pertama dengan merupakan fungsi dari imbal hasil kuadrat p . Misalkan \mathfrak{I}_{t-1} adalah *sigma field* yang dihasilkan oleh nilai masa lalu ε_t , dengan σ_t^2 terukur terhadap \mathfrak{I}_{t-1} , maka model univariate ARCH linier dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varepsilon_t | \mathfrak{I}_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

Gambar 2.2 Pengelompokan Pemodelan Volatilitas



Sumber: Wibowo (2006)

Model ini disebut ARCH dengan orde p , atau ARCH(p). Kemudian Bollerslev (1986), salah seorang murid Engle, melakukan generalisasi proses ARCH dengan memodelkan varian kondisional masa lalu ke dalam persamaan varian kondisional. Maka persamaannya sebagai berikut:

Proses ini disebut sebagai generalized

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_p \sigma_{t-p}^2 \quad (2.1)$$

ARCH dengan orde (p,q) , atau GARCH (p,q) . Bentuk sederhana GARCH memberikan deskripsi parsimoni mengenai data dibandingkan model ARCH. Model GARCH (1,1) sendiri adalah model yang paling sering digunakan dalam pemodelan keuangan runtun waktu. Karena varian kondisional σ_t^2 bersifat heteroskedastik, maka simbol ini dapat ditulis dengan h_t .

Volatilitas jangka panjang atau biasa disebut *unconditional volatility* dapat diukur

dari persamaan univariate GARCH (1,1) dengan persamaan berikut:

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{\alpha_0}{(1-\alpha_1-\beta_1)}} \quad (2.2)$$

Model dengan jumlah koefisien parameter sama dengan satu dan tidak memiliki momen keempat terbatas, pada umumnya disebut sebagai model terintegrasi (*integrated*). Model ini dapat ditaksir dan sangat berguna untuk prediksi jangka pendek, karena model ini tidak terkondisi pada tingkat rerata volatilitasnya, dan juga sebagai reaksi dari penyesuaian terhadap perubahan volatilitas kondisional.

Selain *stylized facts* yang umumnya terjadi pada data keuangan seperti adanya *volatility clustering* dan *co-movement*,

karakteristik lain yang coba ditangkap oleh pemodelan adalah persistensi volatilitas, yang umumnya ada dalam pemodelan GARCH. Model GARCH mencakup peluruhan eksponensial pada autokorelasi varian kondisional. Akar dan nilai absolut dari imbal hasil dari instrumen-instrumen memiliki korelasi serial yang meluruh secara lambat. Karakteristik ini serupa dengan proses $I(d)$. Sebuah *shock* dalam runtun waktu volatilitas pada umumnya memiliki "memori jangka panjang" (*long memory*) dan mempengaruhi volatilitas di masa depan selama horizon waktu observasi.

Penaksiran Volatilitas Model GARCH BEKK

Model ini pertama kali diperkenalkan oleh Yoshi Baba, Robert Engle, Dennis Kraft dan Kenneth Kroner pada tahun 1987, kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Engle dan Kroner (1993). Engle dan Kroner (1993) mengajukan parameterisasi baru yang secara mudah dibebankan restriksi yaitu syarat bahwa H_t harus positif untuk seluruh nilai ε_t dan x_t dalam ruang sampel.

Parameterisasi ini melakukan eliminasi terhadap parameter dengan menggunakan representasi vektor. Model ini dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$H_t = C_0^* C_0 + \sum_{k=1}^K C_k^* x_t x_t' C_k + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^q A_{kl}^* \varepsilon_{t-l} \varepsilon_{t-l}' A_{kl} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^p G_{kl}^* H_{t-l} G_{kl} \quad (3.1)$$

dengan C_0^* , A_{kl}^* , dan G_{kl}^* adalah matriks parameter berdimensi $n \times n$ dengan triangular, C_k^* adalah matriks parameter berdimensi $J \times n$, dan penjumlahan dengan batas K menentukan keadaan yang umum dari proses tersebut. Hal ini menjelaskan bahwa persamaan (3.1) akan bernilai positif secara pasti dalam kondisi yang lemah. Persamaan ini secara umum mencukupi apabila representasi ini mencakup seluruh representasi diagonal dan representasi vektor yang bernilai positif. Representasi disebut sebagai representasi BEKK.

Misalkan model GARCH (1,1) sederhana, dengan $K=1$ dan tanpa pengaruh eksogen:

$$H_t = CC' + A\varepsilon_{t-1}\varepsilon_{t-1}'A' + GH_{t-1}G' \quad (3.2)$$

Bila diterjemahkan kedalam representasi vektor dan diagonal maka model ini menjadi:

$$\begin{bmatrix} h_{1,t} & h_{2,t} & h_{3,t} \\ h_{2,t} & h_{22,t} & h_{32,t} \\ h_{3,t} & h_{23,t} & h_{33,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ c_3 & c_2 & 0 \\ c_5 & c_6 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{3,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1} & \varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1 & 0 & 0 \\ 0 & g_2 & 0 \\ 0 & 0 & g_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,t-1} & h_{2,t-1} & h_{3,t-1} \\ h_{2,t-1} & h_{22,t-1} & h_{32,t-1} \\ h_{3,t-1} & h_{23,t-1} & h_{33,t-1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Persamaan dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} h_{1,t} & h_{2,t} & h_{3,t} \\ h_{2,t} & h_{22,t} & h_{32,t} \\ h_{3,t} & h_{23,t} & h_{33,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1 c_4 & c_1 c_5 \\ c_1 c_4 & c_2^2 + c_4^2 & c_4 c_5 + c_2 c_6 \\ c_1 c_5 & c_4 c_5 + c_2 c_6 & c_3^2 + c_5^2 + c_6^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1^2 \varepsilon_{1,t-1}^2 & a_2 a_1 \varepsilon_{2,t-1} \varepsilon_{1,t-1} & a_3 a_1 \varepsilon_{3,t-1} \varepsilon_{1,t-1} \\ a_1 a_2 \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{2,t-1} & a_2^2 \varepsilon_{2,t-1}^2 & a_3 a_2 \varepsilon_{3,t-1} \varepsilon_{2,t-1} \\ a_1 a_3 \varepsilon_{1,t-1} \varepsilon_{3,t-1} & a_2 a_3 \varepsilon_{2,t-1} \varepsilon_{3,t-1} & a_3^2 \varepsilon_{3,t-1}^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1^2 h_{1,t-1} & g_2 g_1 h_{2,t-1} & g_3 g_1 h_{3,t-1} \\ g_1 g_2 h_{2,t-1} & g_2^2 h_{22,t-1} & g_2 g_3 h_{32,t-1} \\ g_1 g_3 h_{3,t-1} & g_2 g_3 h_{23,t-1} & g_3^2 h_{33,t-1} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Persamaan inilah yang akan digunakan dalam volatilitas dengan menggunakan model BEKK, yang merupakan VaR dalam bentuk persentase. Penaksiran parameter model GARCH BEKK ini menggunakan metode *maximum likelihood* sebagai berikut:

$$L = \sum_{t=1}^T L_t \quad (3.5)$$

$$L = \frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \ln(H_{t,t}) - \frac{1}{2} \varepsilon_t' H_{t,t}^{-1} \varepsilon_t$$

Dengan adalah *log likelihood* pengamatan pada waktu ke-t, dan L adalah *joint log likelihood*. Tanda "tr" merujuk pada parameter bentuk reduksi. Model struktural yang mengikuti proses *multivariate GARCH*, maka penerapan transformasi dapat mengubah persamaan menjadi:

$$L = \frac{n}{2} \ln(2\pi) + \ln|\Gamma| - \frac{1}{2} \ln(H_t) - \frac{1}{2} \varepsilon_t' H_t^{-1} \varepsilon_t \quad (3.6)$$

Penaksiran Volatilitas Menggunakan Metode Matriks Varian-Kovarian

Beningga dan Wiener (1998) menyatakan bahwa metode matriks varian-kovarian berdasarkan asumsi bahwa perubahan jangka pendek pada parameter-parameter pasar dan nilai portofolio bersifat normal. Metode ini juga mencerminkan bahwa parameter-parameter tersebut tidak independen, tetapi terkait dengan dependensi tingkat pertama, yaitu korelasi.

Menurut Dowd (2002), ada dua hal yang menjadi isu penting yang harus diperhatikan apabila metode ini digunakan. Pertama, VaR dengan metode matriks varian-kovarian bergantung pada jenis asset atau instrumen yang digunakan, seperti saham, obligasi, nilai tukar, derivatif, dan lain-lain. Kedua, kemungkinan tidak adanya data volatilitas dan korelasi dapat terjadi untuk instrumen

yang berbeda.

Butler (1999) menjelaskan tahapan perhitungan menggunakan metode ini. Penaksiran volatilitas dengan menggunakan metode varian-kovarian memiliki tahapan dalam sebagai berikut:

1. Membentuk matriks volatilitas (\bar{V}) dan matriks korelasi (Σ).
2. Membentuk matriks varian-kovarian ($\bar{V}\Sigma\bar{V}$) dengan cara mengalikan $\bar{V}\Sigma$ dengan \bar{V} .
3. Membentuk matriks bobot posisi instrumen (*weight matrix*) dan mengalikannya dengan $\bar{V}\Sigma\bar{V}$ untuk membentuk matriks $W\bar{V}\Sigma\bar{V}$. Matriks ini dikalikan dengan matriks W^T untuk mendapatkan matriks $W\bar{V}\Sigma\bar{V}W^T$.
4. Matriks $W\bar{V}\Sigma\bar{V}W^T$ diakarkan untuk mendapatkan VaR dalam bentuk persentase.

PENGUJIAN BACKTESTING

Penggunaan VaR dalam manajemen risiko tidak dapat dilepaskan dari pengujian *backtesting*. Pengujian ini dilakukan untuk melakukan validasi terhadap model yang sudah dilakukan. Dalam pengukuran risiko pasar, nilai VaR ini mencakup volatilitas yang terkandung di dalamnya. Tahapan pengujian *backtesting* pada penelitian sebagai berikut:

1. Pengukuran nilai volatilitas untuk masing-masing nilai tukar mata uang. Pada tahap ini, pengukuran volatilitas menggunakan uji dua arah, karena kegagalan terjadi apabila nilai kerugian aktual melebihi imbal hasil aktual yang terjadi.
2. Perhitungan frekuensi kegagalan (*failure*). Kegagalan terjadi apabila pada titik observasi tersebut, nilai kegagalan lebih besar dibandingkan nilai imbal hasilnya.
3. Pengujian *backtesting* dengan menggunakan uji Kupiec, yaitu:
 - *Time Until First Failure (TUFF)*

$$LR(N, p^*) = -2 \ln \left[p^* (1-p^*)^{N-1} \right] + 2 \ln \left[\left(\frac{1}{N} \right) \left(1 - \frac{1}{N} \right)^{N-1} \right] \quad (4.1)$$

Dengan N adalah berapa lama (hari) hingga galat yang pertama terjadi, p^* adalah probabilitas terjadinya kegagalan dalam hipotesis nol dan p adalah probabilitas terjadinya kegagalan yang sebenarnya. Pada hipotesis

nilai $p \neq p^*$, nilai $LR(N, p^*)$ mengikuti distribusi χ^2 dengan satu derajat kebebasan. bila nilai LR lebih besar dibandingkan nilai χ^2 , maka pemodelan tidak dapat digunakan.

Total Number of Failure (TNoF)

$$LR(N, p^*) = -2 \log \left[(1 - p^*)^{T-N} (p^*)^N \right] + 2 \log \left[\left(1 - \frac{N}{T} \right)^{T-N} \left(\frac{N}{T} \right)^N \right] \quad (4.2)$$

berdistribusi χ^2 dengan satu derajat kebebasan pada hipotesis nol bahwa p adalah probabilitas sebenarnya. Sama seperti TUFF, bila nilai LR lebih besar dibandingkan nilai χ^2 , maka pemodelan tidak dapat digunakan.

Backtesting hanya dilakukan pada GARCH univariat masing-masing imbal hasil nilai tukar, karena GARCH univariat ini menjadi input untuk perhitungan VaR baik dengan metode GARCH BEKK maupun metode matriks varian-kovarian.

ANALISIS DATA

Pengukuran VaR sesuai persamaan membutuhkan beberapa komponen seperti nilai alpha dan volatilitas. Nilai alpha ini ditentukan oleh distribusi data runtun waktu. Sedangkan volatilitas bergantung pada sifatnya yang heteroskedastik atau homoskedastik. Data ketiga nilai tukar tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk imbal hasil dengan menggunakan pendekatan geometrik. Setelah melakukan proses identifikasi, maka didapatkan statistik deskriptif dari ketiga data imbal hasil tersebut.

Pengujian stasioneritas

Pengujian stasioneritas menggunakan uji ADF (Augmented Dickey Fuller). Pengujian Dickey Fuller standar, misalnya pada AR(1). Persamaannya adalah

$$\Delta y_t = \alpha y_{t-1} + x_t' \delta + \varepsilon_t$$

dengan $\alpha = \rho - 1$, dan menggunakan hipotesis $H_0: \alpha = 0$. Uji ADF digunakan untuk data yang sudah di-difference dengan cara:

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$$

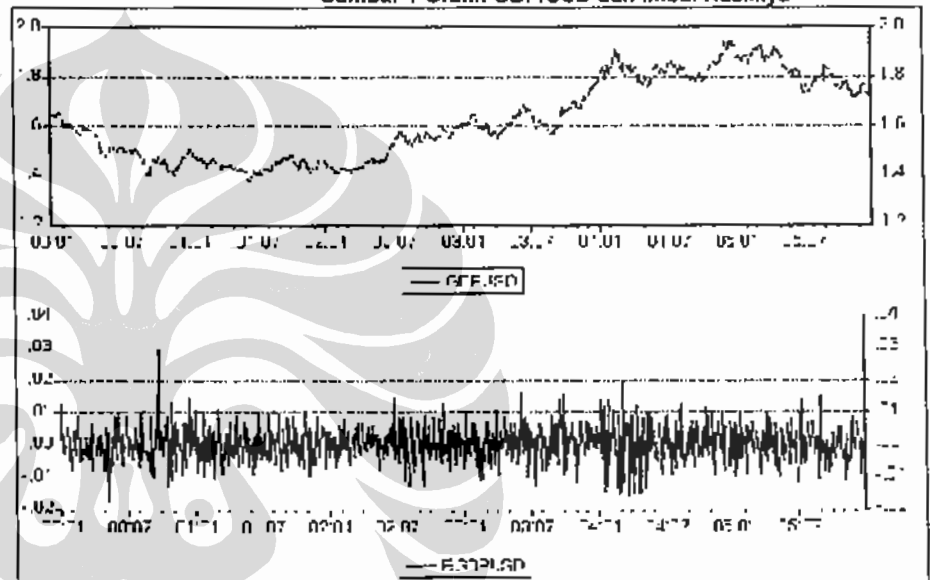
Tujuannya adalah menyelidiki apakah data imbal hasil tersebut sudah stasioner atau belum. Dengan menggunakan

Tabel 1 Statistik Deskriptif Imbal Hasil

	RGBPUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
Rerata	3,05E-05	6,24E-05	-7,68E-07
Median	0	0	0
Maksimum	0,029718	0,026759	0,019555
Minimum	-0,018574	-0,032599	-0,012266
Simpangan baku	0,004488	0,004976	0,002325
Kecondongan	0,152163	-0,160605	0,298861
Ketinggian	5,476764	6,041156	8,885202
Observasi	2190	2190	2190

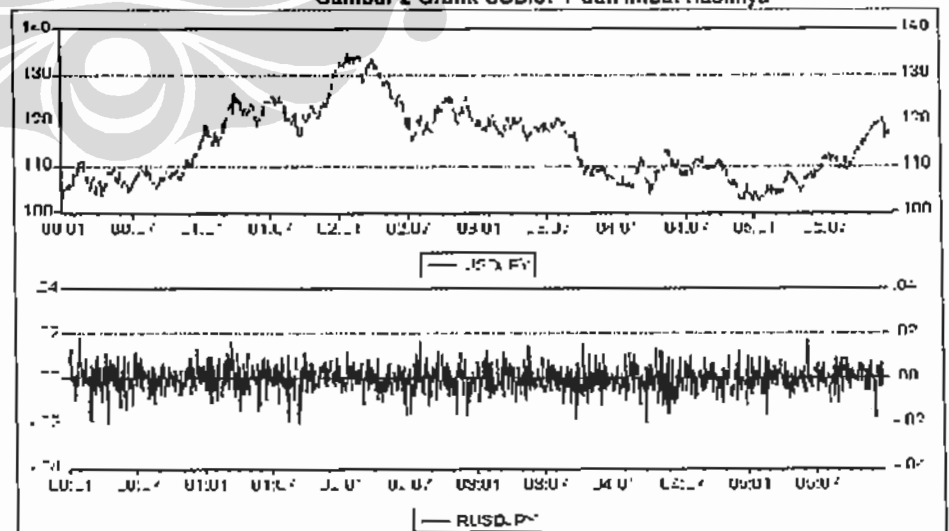
Sumber: _____, diolah

Gambar 1 Grafik GBP/USD dan Imbal Hasilnya



Sumber: _____, diolah.

Gambar 2 Grafik USD/JPY dan Imbal Hasilnya



Sumber: _____, diolah.

fasilitas pada E-views 4.1, hasil pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut:

GARCH(1,1). Berikut ini adalah taksiran parameter untuk masing-masing imbal

Tabel 6 menunjukkan bahwa taksiran *unconditional volatilities* tidak selalu memberikan hasil yang sama dengan standar deviasi statistik, walaupun perbedaan nilai yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

Tabel 2 Uji ADF dengan Tingkat Kepercayaan 95%

		RGBUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
Uji ADF	<i>t-Statistic</i>	-44,9531	-47,5850	-47,6856
	Prob.*	0,0001	0,0001	0,0001
Nilai uji kritis:		-2,8627		

Sumber: _____, diolah.

Dari tabel tersebut, hipotesis nol ditolak karena nilai ADF *t-statistic* lebih kecil daripada nilai kritisnya. Sehingga dapat diduga bahwa seluruh data imbal hasil nilai tukar atau pada orde kedua dari data tersebut diduga sudah mencapai kondisi stasioner atau kovarian stasioner.

hasil valuta asing dengan menggunakan metode GARCH(1,1) menggunakan E-views 4.1. Seluruh taksiran parameter signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%.

Pengujian Backtesting dengan Uji Kupiec

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari model-model yang digunakan dengan menggunakan uji Kupiec. Pada hipotesis H_0 , nilai $LR(N, p^*)$ memiliki distribusi *Chi-squared* dengan satu derajat kebebasan. Taksiran GARCH (1,1) yang akan diuji satu arah dengan tingkat kepercayaan 2,5%. Sehingga pada pengujian dapat dilakukan menggunakan persamaan (4.1) dengan $p^* = 0,025$. Berikut ini adalah taksiran *backtesting* untuk GARCH univariat (Tabel 7).

Pemodelan GARCH(1,1)

Setelah melakukan pengujian-pengujian tersebut, maka pemodelan GARCH dapat dilakukan. Tahap selanjutnya adalah pemodelan volatilitas atau pada tingkat variannya. Pemodelan ini dapat dilakukan setelah data tersebut diyakini memiliki karakteristik heteroskedastik.

Perlu diperhatikan di sini bahwa pada pengujian heteroskedastik telah diduga bahwa RUSDJPY dan RUSDUSD memiliki sifat homoskedastik, namun keduanya dapat dimodelkan dengan GARCH(1,1). Ekonometri klasik selalu mengasumsikan bahwa heteroskedastik sebagai suatu permasalahan dalam pemodelan ekonometri. Namun dalam pandangan ekonometri runtun waktu (*time series*), suatu data dapat dimodelkan sesuai dengan pola data yang terjadi selama observasi penelitian.

Pola data yang dapat terjadi di sini adalah terjadinya *stylized facts*, khususnya *volatility clustering* yaitu karakteristik data yang menunjukkan adanya pengelompokan data dengan varian yang tinggi dan rendah baik untuk varian kondisional dan unconditional variance. Volatilitas ketiga data imbal hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pola volatilitas tidak bersifat konstan sepanjang waktu observasi dan terjadi pergerakan bersama antara ketiga data imbal hasil tersebut.

Oleh sebab itu, walaupun RUSDJPY dan RUSDUSD diduga bersifat homoskedastik, maka volatilitasnya dapat ditaksir dengan menggunakan metode

Tabel 4 Taksiran Parameter GARCH(1,1)

Parameter	RGBUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
α_0	3,85E-07 (0,0002)	4,87E-07 (0,0008)	9,41E-08 (0,0000)
α_1	0,0279 (0,0000)	0,0142 (0,0001)	0,0315 (0,0000)
β_1	0,9529 (0,0000)	0,9658 (0,0000)	0,9513 (0,0000)

Keterangan: angka dalam tanda "()" menunjukkan *p-values*

Sumber: pengolahan data.

Karena $\alpha_1 + \beta_1 < 1$, maka pemodelan GARCH(1,1) berdasarkan persamaan dapat digunakan. Dari hasil penaksiran tersebut, peramalan volatilitasnya dapat ditulis sebagai berikut:

Tabel 5 Taksiran Volatilitas dengan Model GARCH(1,1)

RGBUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
0,00419	0,00493	0,00178

Sumber: pengolahan data

Sedangkan *unconditional volatilities* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Tabel 6 Taksiran Unconditional Volatilities

RGBUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
0,004478	0,004935	0,002340

Sumber: pengolahan data

Dari tabel perhitungan tersebut dapat terlihat bahwa seluruh imbal hasil nilai tukar mata uang tersebut tidak menolak hipotesis nol, karena LR berada di bawah nilai kritis 5% tabel distribusi *Chi-square* yaitu 3,841. Hipotesis bahwa tidak dapat ditolak pada kesalahan tipe 2. Artinya model tersebut dapat diterima. Berikut ini adalah grafik masing-masing imbal hasil nilai tukar dan GARCH *confidence bands* yang menggambarkan kesalahan prediksi yang terjadi.

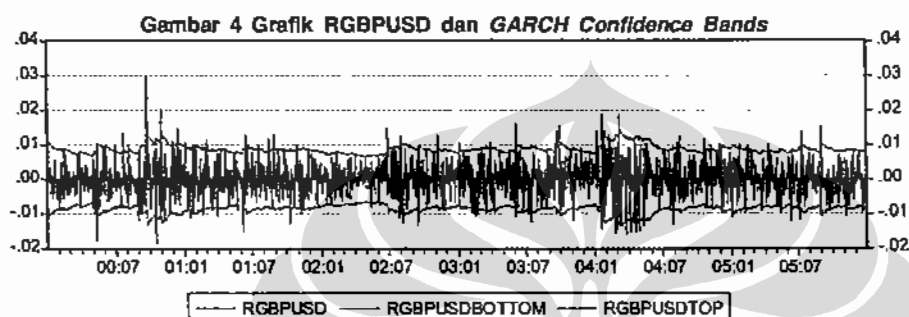
Penaksiran Volatilitas dan Value-at-Risk

Pengukuran VaR dengan menggunakan GARCH BEKK memberikan keuntungan berupa penghematan beban modal yang harus disediakan oleh bank. Tabel 8 memperlihatkan taksiran volatilitas dari masing-masing metode tersebut. Tabel ini juga menunjukkan taksiran VaR yang dihasilkan oleh kedua metode dan perbandingannya dengan *unconditional volatility*, serta beban modal yang dikenakan. Selain itu, analisis matriks varian-kovarian juga dilakukan dengan menggunakan asumsi RUSDJPY dan RUSDUSD bersifat homoskedastik.

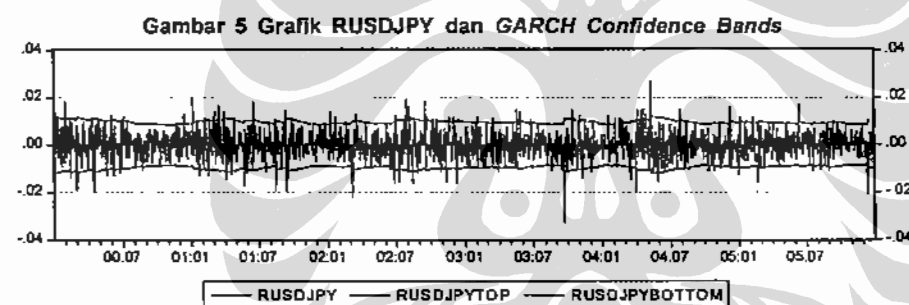
Tabel 7 Hasil Uji Kuplec

	RGBPUSD	RUSDJPY	RUSDUSD
N	151	135	137
True ρ	0,0066	0,0074	0,0073
ρ^*	0,025	0,025	0,0250
LR(N, ρ^*)	1,2791	1,0249	1,0560
Uji TUFF, tingkat kepercayaan 5% (uji galat tipe I)	0,005	0,005	0,005
Pengujian dengan menggunakan ρ^* untuk mendapatkan dugaan dengan uji galat tipe II			
ρ^*	0,0100	0,0100	0,0100
LR(N, ρ^*)	0,0856	0,0437	0,0484

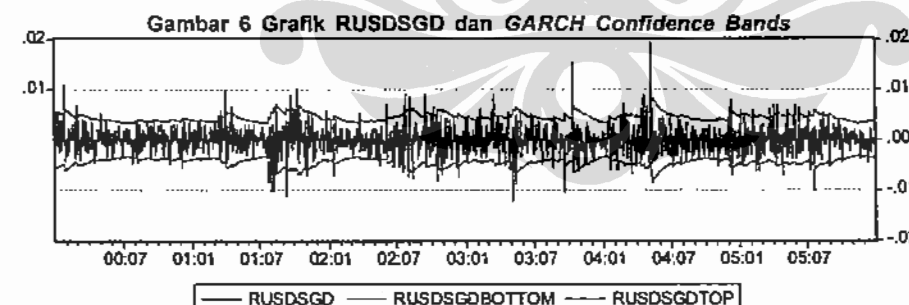
Sumber: , dolah.



Sumber: , dolah.



Sumber: , dolah.



Sumber: , dolah.

Tabel 8 Perhitungan Volatilitas, VaR, dan Beban Modal

	Varian-Kovarian ¹	Varian-Kovarian ²	GARCH BEKK	Unconditional volatility
Volatilitas	0,00039%	0,00044%	0,000192%	0,000446%
VaR	0,1982%	0,2096%	0,1388%	0,2113%
Beban Modal	7,4330%	7,8602%	5,2083%	7,9231%
Selisih dengan unconditional volatility	0,4900%	0,0629%	2,7168%	

¹ menggunakan volatilitas GARCH(1,1) untuk masing-masing data imbal hasil.

² RUSDJPY dan RUSDUSD menggunakan standar deviasi stabilis, dan RGBPUSD menggunakan GARCH(1,1)

Sumber: , dolah.

Dari Tabel 8, perhitungan beban modal dengan menggunakan VaR yang dihasilkan GARCH BEKK memberikan cadangan modal yang lebih sedikit dibandingkan VaR yang dihasilkan oleh metode matriks varian-kovarian baik matriks varian-kovarian pertama yang seluruh matriksnya berisi volatilitas heteroskedastik maupun matriks varian-kovarian kedua yang tidak menggunakan volatilitas heteroskedastik secara keseluruhan.

Metode GARCH BEKK memberikan estimasi VaR yang lebih rendah yaitu 0,1388%. Sedangkan metode matriks varian-kovarian jenis pertama dan kedua memberikan nilai 0,1982% dan 0,2096%. Selisih ini terjadi karena matriks varian-kovarian mengasumsikan linearitas dalam model dan perhitungan korelasi.

Sebagaimana yang telah diutarakan oleh Engel dan Gizycki (1999), metode matriks varian-kovarian dan korelasinya tidak memiliki nilai yang konstan dari waktu ke waktu. Hal ini juga terlihat dalam penelitian ini. Tabel 9 dan Tabel 10 menunjukkan korelasi dan kovarian dari masing-masing imbal hasil mata uang dengan waktu pengamatan yang berbeda.

Hal inilah yang menyebabkan nilai VaR yang dihasilkan kedua metode tersebut jauh berbeda. Pada Tabel 9, korelasi antara RGBPUSD-RUSDJPY dan RGBPUSD-RUSDUSD semakin menurun seiring waktu pengamatan. Sebaliknya, RUSDJPY-RUSDUSD memiliki korelasi positif yang semakin meningkat dari waktu ke waktu.

Hal yang serupa terjadi pada masing-masing kovarian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10. Korelasi sendiri bukanlah suatu indikasi penyebab terjadinya sesuatu tetapi merupakan refleksi antara pergerakan dari kedua peubah terhadap munculnya informasi baru. Sehingga korelasi antar nilai imbal hasil tersebut tidak dapat memberikan kesimpulan penyebab terjadinya pergerakan antar peubah tersebut.

Selain itu, terjadi perubahan struktural pada RGBPUSD-RUSDJPY, lebih tepatnya arah perubahan yang semula positif menjadi negatif. Dengan kata lain, kedua nilai tukar ini semula bergerak ke arah yang sama, berubah menjadi arah yang berbeda yang ditunjukkan pada 250-

500 observasi atau pada tahun 2000 hingga pertengahan tahun 2001. Sementara korelasi dan kovarian dari RGBPUSD-RUSDSDG dan RUSDJPY-RUSDSDG hanya menunjukkan perubahan besaran korelasi dan kovarian saja. Perubahan struktur ini umumnya dapat terjadi karena perubahan karakteristik struktur mikro yaitu penggunaan analisis teknikal, bentuk-bentuk *noisy trading*, keuntungan informasi jangka pendek, atau juga pengaruh psikologis di pasar.

Metode GARCH BEKK mampu menangkap ketidakstabilan korelasi dan kovarian dari waktu ke waktu. Sedangkan, pengukuran VaR dengan menggunakan matriks varian-kovarian hanya memperhitungkan korelasi dan kovarian hanya pada satu titik pengamatan observasi. Bila dibandingkan *unconditional volatility* digunakan untuk menaksir VaR, GARCH BEKK memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan kedua metode matriks varian-kovarian. Nilai GARCH BEKK tidak terlalu jauh berbeda dengan nilai *unconditional volatility*. Nilai VaR dengan taksiran *unconditional volatility* menghasilkan nilai 0,2113%.

Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 juga menggambarkan perubahan volatilitas yang signifikan setiap 125 hari atau sekitar tiga bulan. Hal ini memberikan petunjuk bahwa sebaiknya penetapan peramalan volatilitas dilakukan paling maksimal tiga bulan sekali. Artinya setiap jarak maksimal tiga bulan, taksiran volatilitas harus dikoreksi agar tidak terlalu jauh dengan kenyataan yang terjadi.

Berikut ini adalah visualisasi volatilitas masing-masing varian dan kovariannya menggunakan E-views 4.1 dengan Y1 adalah RGBPUSD, Y2 adalah RUSDJPY dan Y3 adalah RUSDSDG.

KESIMPULAN

Dalam pengelolaan volatilitas untuk meminimumkan risiko dan melakukan penghematan terhadap beban modal yang harus disediakan oleh suatu bank, pihak manajemen harus memperhatikan korelasi dan kovarian, baik dalam besaran korelasi dan kovarian maupun arahnya serta struktur volatilitas dari masing-masing nilai tukar. Korelasi adalah hal yang harus diperhatikan karena mengkombinasikan risiko tidak mengikuti aturan aritmetik, tetapi

Tabel 9 Korelasi dengan Waktu Pengamatan Berbeda

Periode	Korelasi		
	RGBPUSD-RUSDJPY	RGBPUSD-RUSDSDG	RUSDJPY-RUSDSDG
125	11,22%	-0,76%	21,09%
250	0,06%	-4,45%	23,02%
500	-1,50%	-7,35%	33,84%
1000	-18,63%	-22,61%	49,69%
1500	-25,39%	-29,76%	55,54%
2000	-33,22%	-39,59%	62,11%
2190	-35,08%	-41,15%	62,46%

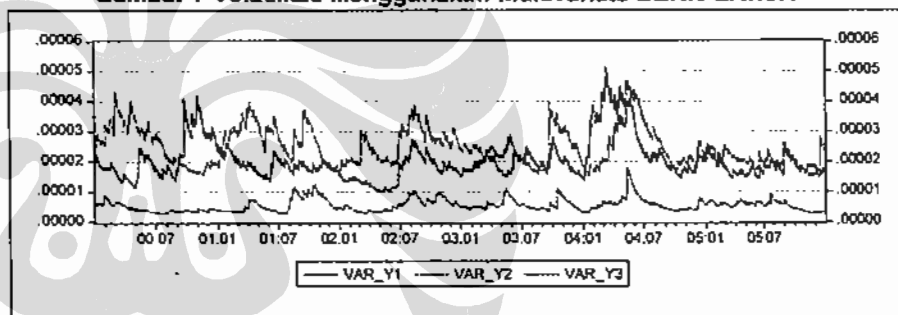
Sumber: _____, diolah.

Tabel 10 Kovarian dengan Waktu Pengamatan Berbeda

Periode	Kovarian		
	RGBPUSD-RUSDJPY	RGBPUSD-RUSDSDG	RUSDJPY-RUSDSDG
125	0,00025%	-0,00001%	0,00031%
250	0,00000%	-0,00003%	0,00025%
500	-0,00004%	-0,00007%	0,00035%
1000	-0,00042%	-0,00022%	0,00058%
1500	-0,00056%	-0,00030%	0,00064%
2000	-0,00075%	-0,00042%	0,00074%
2190	-0,00078%	-0,00043%	0,00072%

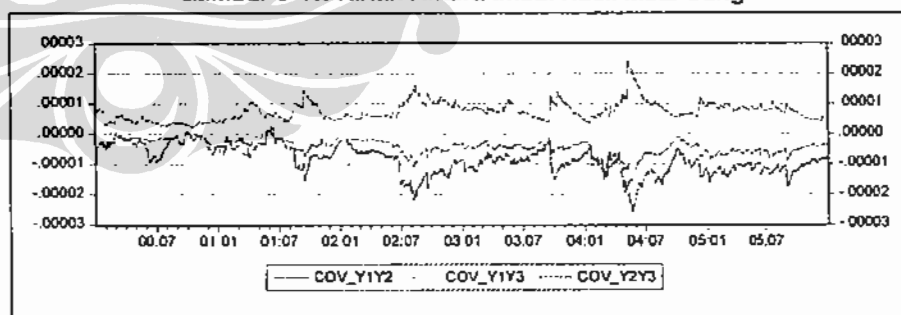
Sumber: _____, diolah.

Gambar 7 Volatilitas Menggunakan Multivariate BEKK-GARCH



Sumber: _____, diolah.

Gambar 8 Kovarian Antara Imbal Hasil Mata Uang



Sumber: _____, diolah.

sangat tergantung pada diversifikasi instrumen yang digunakan dan pengaruh dari diversifikasi. Risiko portofolio sangat bergantung pada risiko-risiko individual yang berasal dari instrumen dalam portofolio tersebut.

Berdasarkan temuan dari hasil penelitian tersebut, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Beberapa faktor harus ditentukan dalam penaksiran VaR seperti faktor risiko, horizon waktu, dan tingkat

- kepercayaan. Dalam penelitian ini, penulis tidak menggunakan nilai nominal baik posisi asset maupun VaR yang sudah ada. Sehingga hasil taksiran VaR dalam penelitian ini dinyatakan dalam bentuk persentase.
- Penelitian ini menjelaskan bahwa volatilitas ketiga nilai tukar mata uang tersebut berubah secara signifikan setiap 125 hari atau tiga bulan. Hal tersebut menunjukkan bahwa bank harus mengoreksi taksiran volatilitas maksimal satu kali dalam tiga bulan.
 - Metode GARCH BEKK membutuhkan model dasar GARCH univariat dengan orde (1,1), walaupun data runtun waktu tersebut sebelumnya diduga tidak mengandung heteroskedastik dengan catatan bahwa pola data tersebut dapat dimodelkan sesuai dengan GARCH(1,1). Hal ini juga membantu uji *backtesting* dilakukan pada model GARCH(1,1) untuk masing-masing imbal hasil.
 - Pemodelan GARCH BEKK memiliki spesifikasi model yang lebih rumit bila dibandingkan dengan metode matriks varian-kovarian. Pemodelan ini membutuhkan waktu pengamatan minimal 2000 titik pengamatan agar konvergensi dapat tercapai. Data ekstrem cukup banyak dan sangat besar seperti nilai tukar USD/IDR dapat menyebabkan model tidak konvergen. Data ekstrem ini dapat menyebabkan dua hal yang menyebabkan konvergensi tidak tercapai. Pertama, jumlah iterasi telah mencapai batas atas (*upper bound*) yang telah ditentukan. Kedua, proses iterasi dapat terus dilakukan selama parameter yang ditaksir terus berubah, namun proses tersebut tidak dapat memperbaiki fungsi tujuan dari pemodelan tersebut.
 - Metode GARCH BEKK memberikan taksiran VaR portofolio yang lebih rendah, yaitu sebesar 0,1388%, bila dibandingkan taksiran VaR portofolio yang dihasilkan dengan metode matriks varian-kovarian dengan model dasar GARCH(1,1) yaitu sebesar 0,1982%. Kedua taksiran ini lebih rendah dan lebih dekat nilainya bila dibandingkan taksiran VaR portofolio yang dihasilkan oleh unconditional volatility. Beban modal yang harus disediakan berdasarkan metode

GARCH BEKK dan metode matriks varian-kovarian tersebut adalah 5,2063% dan 7,4330%.

- Penelitian ini dibatasi hanya pada risiko pasar saja. Dalam realitanya, beban modal harus memperhitungkan VaR dari risiko kredit dan risiko operasional.
- Implikasi manajerial dari penggunaan kedua metode ini adalah beban modal yang harus disediakan seiring dengan peramalan terjadinya potensi kerugian yang dapat muncul. Pihak manajemen tentu berusaha mencari model atau metode yang dapat memberikan taksiran yang efisien, sehingga dapat mengurangi beban modal yang harus dilakukan. Namun, hal ini juga harus memperhitungkan sumberdaya dan infrastruktur yang diperlukan.

SARAN

Berdasar temuan tersebut, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

- Pemodelan GARCH BEKK untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan *cross rate* Rupiah Indonesia terhadap mata uang asing utama seperti USD, JPY, GBP, dan SGD, sehingga dapat dianalisis volatilitasnya secara empirik.
- Metode GARCH BEKK relatif sulit diimplementasikan, terutama dalam mengukur VaR harian. Bank dapat menerapkan metode ini jika didukung dengan infrastruktur teknologi yang memadai.
- VaR portofolio cocok digunakan untuk pengukuran risiko pasar yang menggunakan asumsi linier dan normalitas dalam distribusi data yang digunakan. Tetapi, bila VaR digeneralisasikan untuk mengukur seluruh situasi keuangan maka akan menyebabkan hasil pengukuran membahayakan. Beberapa pendekatan lain seperti CVAR (*Conditional VaR*), *expected shortfall*, dan *copula*, volatilitas stokastik, maupun *option-based volatility* untuk dapat digunakan untuk mengatasi beberapa kelemahan yang ada dalam pengukuran risiko dengan VaR. Khusus untuk *option-based volatility* belum dapat digunakan di Indonesia mengingat produk derivatif belum terlalu banyak diperdagangkan. □

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, Torben G., Tim Bollerslev, Peter F. Christoffersen, dan Francis X. Diebold, (2005) "Volatility Forecasting", *NBER Working Paper*, No. 11188.
- Bank Indonesia, (2003), *Peraturan Bank Indonesia Nomor: 5/8/PBI/2003 Tentang Penerapan Manajemen Risiko Bagi Bank Umum*.
- Basel Committee on Banking Supervision, (1996a), *Amendment to The Capital Accord To Incorporate Market Risks*.
- Basel Committee on Banking Supervision, (1996b), *Supervisory framework for the use of 'backtesting' in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements*. Basel: Bank for International Settlements.
- Beningga, Simon; dan Zvi Wiener, (1998), "Value at Risk", *Mathematica in Education and Research*, 7(4): 1-8.
- Bollerslev, Tim, (1986), "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", *Journal of Econometrics*, 31: 307-327.
- Bollerslev, Tim; Robert F. Engle; dan Jeffrey M. Wooldridge, (1988), "A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances", *Journal of Political Economy*, 96: 116-131.
- Builer, Cormac, (1999), *Mastering Value at Risk: A Step-by-Step Guide to Understanding and Applying VaR*. London: Pearson Education Limited.
- Dowd, Kevin, (1998), *Beyond Value at Risk: The New Science of Risk Management*, John Wiley & Sons Ltd.
- Enders, Walter, (2004), *Applied Econometric Time Series*, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Engel, James; dan Marianna Gizycki, (1999), "Value at Risk: On The Stability and Forecasting of The Variance-Covariance Matrix", *Reserve Bank of Australia Research Discussion Paper 1999-04*.
- Engle, Robert F., (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity With Estimates of United Kingdom Inflation", *Econometrica*, 50: 987-1007.
- Engle, Robert F.; dan Kenneth Kroner, (1993), "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH", *UCSD Discussion Paper 89-57R*.
- Gujarati, Damodar N., (2003), *Basic Econometrics*, 4th edition, New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Holton, Glyn A. (2002), "History of Value-at-Risk 1922-1998", ()
- Jorion, Phillip, (2001), *Value-at-Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*, 2nd edition, New York: The McGraw-Hill Companies.
- Jorion, Phillip, (2003), *Financial Risk Manager Handbook*, 2nd edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Lopez, Jose A.; dan Christian A. Waller, (2000), "Evaluating Covariance Matrix Forecasts in a Value-at-Risk Framework", *Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper*.
- Markowitz, Harry, (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, 7 (1): 77-91.
- Pindyck, Robert S.; dan Daniel L. Rubinfeld, (1998), *Econometric Models and Economic Forecasts*, The McGraw-Hill Companies.
- Poon, Ser-Huang; dan Clive W.J. Granger, (2003), "Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review", *Journal of Economic Literature*, 41: 478-539.
- Wibowo, Sigil S., (2006), "Perbandingan Metode GARCH BEKK dan Metode Matriks Varian-Kovarian dalam Rangka Penaksiran Volatilitas Mata Uang dan Value-at-Risk", *Karya Akhir MMU* tidak dipublikasikan.