

***Bayesian Vector Autoregressive (BVAR)* dalam Meramal Mata Uang Cina, India dan Indonesia terhadap Mata Uang Amerika Serikat**

Rinda Arista, Dadang Juandi, dan Fitriani Agustina

Departemen Pendidikan Matematika
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia

*Surel: rindaarista58@student.upi.edu

ABSTRAK Nilai tukar mata uang dapat digunakan untuk mengukur tingkat perekonomian suatu negara. Peramalan nilai tukar diperlukan agar investor dapat mengetahui tingkat perekonomian negara tujuan investasi di masa datang. Pada penelitian ini digunakan metode *Bayesian Vector Autoregressive* (BVAR) dalam memodelkan, melakukan peramalan, dan membandingkan hasil ramalan antara nilai tukar Rupee, Rupiah, dan Yuan terhadap Dolar Amerika Serikat dengan dua prior yang berbeda yaitu Litterman-Minnesota Prior dan Normal-Flat Prior. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan model, serta membandingkan hasil peramalan dengan metode BVAR dari masing-masing prior. *Bayesian Vector Autoregressive* (BVAR) berdasarkan penelitian sebelumnya, terbukti mampu memberikan hasil peramalan yang lebih unggul. Hasil peramalan dari masing-masing prior menyatakan bahwa baik Litterman-Minnesota prior dan Normal-Flat prior menghasilkan peramalan yang akurat berdasarkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang kecil. Kemudian, setelah dibandingkan, pada kasus peramalan nilai tukar Rupee, Rupiah, dan Yuan terhadap Dolar Amerika Serikat, Litterman-Minnesota prior memiliki nilai MAPE lebih kecil yang artinya hasilnya lebih akurat.

Kata Kunci: Nilai Tukar, BVAR, Litterman-Minnesota, Normal-Flat, MAPE

Bayesian Vector Autoregressive (BVAR) in Forecasting Chinese, Indian, and Indonesian Currencies Against the United States Currency

ABSTRACT Currency exchange rates can be used to measure the level of a country's economy. Forecasting the exchange rate is needed so that investors would know the level of the economy of the investment destination in the future. In this study the Bayesian Vector Autoregressive (BVAR) method is used in modeling, forecasting, and comparing the forecast results between Rupees, Rupiah and Yuan exchange rates against the United States Dollar with two different priors namely Prior Litterman-Minnesota and Prior Normal-Flat. The purpose of this study is to obtain a model, and compare the forecasting results with the BVAR method from each prior. Bayesian Vector Autoregressive (BVAR), based on previous research, is proven to be able to provide superior forecasting results. Forecasting results from each prior state that both Prior Litterman-Minnesota and Prior Normal-Flat produce accurate forecasting based on a small Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value. Then, after comparison, in the case of forecasting the exchange rate of Rupees, Rupiah and Yuan against the US Dollar, the Prior Litterman-Minnesota has a smaller MAPE value which means the results are more accurate.

Keywords: exchange rates, BVAR, Litterman-Minnesota, Normal-Flat, MAPE

1. PENDAHULUAN

Investor perlu mengetahui lokasi yang berpotensi dalam berinvestasi untuk mencapai tujuan investasi yaitu keuntungan yang maksimal. Salah satu lokasi dengan prospek ekonomi yang dinamis adalah Asia Pasifik. Secara Khusus, kawasan Asia Pasifik yang diramalkan menjadi penyumbang Produk Domestik Bruto (PDB) pada 2030 adalah negara Cina, India, dan Indonesia. Untuk investor, mengukur tingkat ekonomi negara tujuan investasi penting dilakukan. Nilai tukar mata uang dapat menjadi pedoman investor untuk mengetahui level perekonomian suatu negara. Oleh karena itu meramalkan nilai tukar menjadi hal yang bermanfaat untuk investor.

Salah satu metode dalam peramalan runtun waktu multivariat yang populer pada dua dekade terakhir adalah model adalah *Vector Autoregressive Model* (VAR) [1]. Model VAR merupakan model untuk data multivariat, pengembangan dari model Autoregressive. Namun, ketika menggunakan model VAR dibutuhkan banyak data dan seringkali estimasi parameternya tidak terlalu akurat, hasilnya sulit diinterpretasikan, dan peramalannya akan tampak lebih akurat daripada yang seharusnya karena standar *error* tidak memperhitungkan ketidakpastian parameter.

Kelemahan pada mode VAR dapat diatasi dengan adanya informasi prior tentang model atau kemungkinan nilai dari parameter, atau fungsi dari parameter diketahui, hal ini akan memberikan estimasi parameter dan hasil peramalan yang lebih baik. Pada inferensi klasik, adalah hal yang sulit untuk menggabungkan informasi non-sample untuk estimasi. Informasi non-sampel lebih mudah digabungkan pada inferensi Bayesian. Inferensi Bayesian dapat menggabungkan ketidakpastian parameter ke dalam keakuratan pengukuran. Untuk mengatasi kelemahan VAR, akan dikembangkan suatu pendekatan yang menggabungkan VAR dan estimasi Bayesian. Model VAR dengan inferensi Bayesian ini kemudian disebut *Bayesian Vector Autoregressive* (BVAR) [2]. Model BVAR telah digunakan oleh Chen & Leung dalam memperkirakan nilai tukar Won, Yen, dan Dolar Australiat terhadap Dolar Amerika Serikat dan hasilnya menunjukkan peramalan menggunakan BVAR lebih unggul dibandingkan menggunakan VAR.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bayesian Vector Autoregressive (BVAR) merupakan model *Vector Autoregressive* (VAR) VAR dengan proses estimasi parameter-parameternya menggunakan metode estimasi Bayesian. Diasumsikan bahwa data makroekonomi yang digunakan berdistribusi normal multivariate. Kemudian prior yang digunakan adalah Litterman-Minnesota dan Normal-Flat. Berikut ini adalah kajian BVAR secara teoritis:

2.1 Model Vector Autoregressive

Bentuk umum model VAR dari variabel y_t didefinisikan sebagai berikut [3]:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^L y'_{t-i} A_i + \varepsilon'_t \quad (1)$$

dimana $t = 1, \dots, T$ menyatakan satu waktu tertentu, dan L menyatakan panjang lag berupa bilangan bulat positif diketahui, c adalah matriks konstanta $1 \times p$ yang tidak diketahui, A_i adalah matriks parameter $p \times p$ yang tidak diketahui, dan ε'_t adalah matriks galat (*error*) $1 \times p$, dan p menyatakan banyak pengamatan.

2.2 Fungsi Likelihood

Data yang digunakan pada karya tulis ini merupakan variabel makroekonomi. Variabel-variabel makroekonomi diasumsikan berdistribusi normal, sehingga fungsi kepadatan peluangnya merupakan fungsi kepadatan peluang distribusi normal. Adapun, fungsi kepadatan peluang bersama dari seluruh pengamatan dapat ditulis sebagai berikut [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kepadatan Bersama dari} \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_T \end{array} \right\} = \prod_{i=1}^T \left\{ \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp[-(Y_i - \Phi' X_i)' \Sigma^{-1} (Y_i - \Phi' X_i)/2] \right\}$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^{T/2} |\Sigma|^{T/2}} \exp[-\sum_{i=1}^T (Y_i - \Phi' X_i)' \Sigma^{-1} (Y_i - \Phi' X_i)/2] \quad (2)$$

Diperoleh bahwa, fungsi likelihood untuk matriks Y adalah sebagai berikut:

$$L(\Phi, \Sigma | Y) = \frac{1}{(2\pi)^{Tp/2} |\Sigma|^{T/2}} \exp \left[-\sum_{i=1}^T (Y_i - \Phi' X_i)' \Sigma^{-1} (Y_i - \Phi' X_i)/2 \right] \quad (3)$$

2.3 Prior Litterman-Minnesota

Prior yang biasa digunakan pada literatur Bayesian VAR adalah yang diungkapkan oleh Litterman [5], disebut sebagai Minnesota Prior. Litterman [5] mengasumsikan bahwa.

$$p(\Phi) \propto N(\bar{\Phi}, \bar{\Sigma})$$

Dengan $\bar{\Phi}$ dan $\bar{\Sigma}$ masing-masing menotasikan mean dan varian-kovarian dari prior. Kemudian, matriks varian-kovarian dari residual (Σ) diasumsikan tetap serta diagonal. Selanjutnya, distribusi posterior dari prior Litterman-Minnesota dapat ditulis sebagai berikut:

$$P(\Phi, \Sigma | Y) \propto L(\Phi, \Sigma | Y) p(\Phi) \quad (4)$$

Proporsional dengan :

$$\begin{aligned}
 & |\Sigma|^{-\frac{T}{2}} |\bar{\Sigma}|^{-\frac{T}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[(\Phi - \bar{\Phi})' \bar{\Sigma}^{-1} (\Phi - \bar{\Phi}) \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + (Y - X\Phi)' \Sigma^{-1} (Y - X\Phi) \right] \right\} \\
 & \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\Sigma^{-1} (Y'Y - 2Y'X\Phi + \Phi'X'X\Phi) \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \bar{\Sigma}^{-1} (\Phi'\Phi - 2\bar{\Phi}\Phi + \bar{\Phi}'\bar{\Phi}) \right] \right\} \\
 & \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\Phi' (X'\Sigma^{-1}X + \bar{\Sigma}^{-1}) \Phi - 2(X'\Sigma^{-1}Y - \bar{\Sigma}^{-1}\bar{\Phi})' \Phi \right] \right\}
 \end{aligned}$$

Sehingga, secara sederhana dapat ditulis sebagai:

$$P(\Phi, \Sigma | Y) \propto \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[(\Phi' - \tilde{\Sigma}\tilde{\Phi})' \tilde{\Sigma}^{-1} (\Phi' - \tilde{\Sigma}\tilde{\Phi}) \right] \right\} \quad (5)$$

Dengan

$$\begin{aligned}
 \tilde{\Phi} &= \tilde{\Sigma} (\bar{\Sigma}^{-1} \Phi + \Sigma^{-1} X'Y) \\
 \tilde{\Sigma} &= (\bar{\Sigma}^{-1} - \Sigma^{-1} X'X)^{-1}
 \end{aligned}$$

2.4 Prior Normal-Flat

Distribusi prior normal flat, dapat ditulis dengan [6]:

$$p(\Phi, \Sigma) \propto |\Sigma|^{-(n+1)/2} \quad (6)$$

Kemudian, distribusi posteriornya, dapat ditulis sebagai berikut

$$P(\Phi | \Sigma, Y) = N(\hat{\Phi}, \Sigma(X'X)^{-1}) \quad (7)$$

2.5 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah nilai rata-rata atau nilai rata-rata dari kesalahan mutlak dalam bentuk persentase. MAPE digunakan dalam karya tulis ini dalam menentukan manakah prior dengan hasil peramalan yang lebih akurat. Perhitungan nilai MAPE dapat ditulis sebagai berikut :

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|A-P|}{A} \times 100}{N}, \quad (8)$$

dengan A adalah nilai aktual, P adalah nilai hasil peramalan, dan N adalah banyaknya data hasil peramalan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai studi kasus dan proses peramalan serta perhitungan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Data yang digunakan dalam skripsi ini sebanyak 181 data untuk setiap variabel berupa data harian dari Nilai Tukar dolar Amerika Serikat terhadap rupee, nilai tukar dolar Amerika Serikat terhadap rupiah, dan nilai tukar dolar Amerika Serikat terhadap yuan pada periode 1 September 2018 sampai dengan 28 Februari 2019. Data yang dipakai dalam skripsi ini merupakan data sekunder yang didapat dari situs www.exchangerates.org.uk.

3.1 Uji Stasioneritas

Sebelum membentuk model, pertama-tama akan dipastikan bahwa data yang digunakan sudah stasioner. Berdasarkan pengolahan data, diperoleh hasil seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Stasioneritas

Data	Nilai Kritis (α)	Level	<i>First Difference</i>
		<i>p value</i>	<i>p value</i>
Rupee	5%	0,4514	0,0000
Rupiah	5%	0,6921	0,0000
Yuan	5%	0,8588	0,0000

Sumber: Hasil Pengolahan Data *EViews 9*

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa data rupee, rupiah, dan yuan merupakan data yang mengandung akar unit (nonstasioner) pada level, *p value* statistik ADF untuk masing-masing variabel lebih besar dari $\alpha = 5\%$, ini artinya menerima H_0 yaitu terdapat akar unit pada data atau data tidak stasioner. Sementara itu, dari hasil first difference dapat dilihat bahwa *p value* statistik ADF dari masing-masing variabel lebih kecil dari $\alpha = 5\%$, ini artinya menolak H_0 yaitu data tidak mengandung akar unit atau sudah stasioner. Dengan demikian, variabel rupee, rupiah, dan yuan merupakan variabel berbentuk stasioner pada orde pertama.

3.2 Bayesian Vector Autoregressive (BVAR)

Setelah dipastikan bahwa data stasioner, maka tahap selanjutnya adalah membentuk model BVAR dari kedua prior. Hasil pengolahan data dengan *EViews 9*, diperoleh bentuk persamaan BVAR dengan menggunakan Litterman-Minnesota adalah :

- $drupee = -0.0320485446741 *drupee(-1) - 0.0095224716035 *drupee(-2) + 2.40880613608e-05 *drupiah(-1) + 4.02790394514e-0/$

$$5*\text{drupiah}(-2) + 0.300343069628*\text{dyuan}(-1) - 0.312545955248*\text{dyuan}(-2) - 0.00167490448129 \quad (9)$$

- $\text{drupiah} = 31.2141014326*\text{drupee}(-1) - 6.36310307507*\text{drupee}(-2) + 0.118127771455*\text{drupiah}(-1) - 0.0139742609672*\text{drupiah}(-2) - 89.7150512152*\text{dyuan}(-1) - 39.9475658836*\text{dyuan}(-2) - 1.74271950392 \quad (10)$

- $\text{dyuan} = -0.0036711194085*\text{drupee}(-1) - 0.00230683549785*\text{drupee}(-2) - 9.20681262158e-07*\text{drupiah}(-1) + 3.50863160864e-06*\text{drupiah}(-2) + 0.0211145158465*\text{dyuan}(-1) - 0.028091463469*\text{dyuan}(-2) - 0.000716324829352 \quad (11)$

Hasil pembentukan model nilai tukar Rupee, Rupiah, dan Yuan terhadap Dollar Amerika Serikat dengan menggunakan metode Bayesian Vector Autoregressive dengan Normal-Flat Prior dituliskan sebagai berikut :

- $\text{drupee} = -0.0320453760526*\text{drupee}(-1) - 0.00950857986736*\text{drupee}(-2) + 2.41148390967e-05*\text{drupiah}(-1) + 4.09260698946e-05*\text{drupiah}(-2) + 0.302586394006*\text{dyuan}(-1) - 0.317164646027*\text{dyuan}(-2) - 0.00166657668945 \quad (12)$

- $\text{drupiah} = 31.458182978*\text{drupee}(-1) - 6.45051095091*\text{drupee}(-2) + 0.118025151294*\text{drupiah}(-1) - 0.0139261663667*\text{drupiah}(-2) - 90.9589886062*\text{dyuan}(-1) - 40.4369958011*\text{dyuan}(-2) - 1.74390868157 \quad (13)$

- $\text{dyuan} = -0.00370120575037*\text{drupee}(-1) - 0.00234187857328*\text{drupee}(-2) - 8.80863505505e-07*\text{drupiah}(-1) + 3.56923669368e-06*\text{drupiah}(-2) + 0.021121542215*\text{dyuan}(-1) - 0.0280664544335*\text{dyuan}(-2) - 0.000716150861228 \quad (14)$

3.3 Hasil Peramalan

Hasil peramalan menggunakan Bayesian Vector Autoregressive dengan Prior Litterman-Minnesota serta Prior Normal-Flat dari tanggal 1 Maret 2019 hingga 10 Maret 2019, tersaji pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Peramalan dengan Metode BVAR

Tanggal	Rupee		Rupiah		Yuan	
	Litterman	Flat	Litterman	Flat	Litterman	Flat
01/03/2019	70,8361438	70,836271	14065,8412	14065,71886	6,69477912	6,69478725
02/03/2019	70,83745843	70,83758697	14064,83418	14064,73672	6,69489738	6,69492133
03/03/2019	70,83492338	70,83504705	14063,0006	14062,90187	6,69408009	6,69410224
04/03/2019	70,83295004	70,83307454	14061,03646	14060,93577	6,69334761	6,69336945
05/03/2019	70,8312768	70,83141087	14059,14024	14059,03947	6,69264725	6,69266924
06/03/2019	70,8295681	70,82971071	14057,2534	14057,15284	6,69194226	6,6919643
07/03/2019	70,82784922	70,82800011	14055,36282	14055,26235	6,69123594	6,69125799
08/03/2019	70,82613234	70,82629158	14053,47189	14053,3715	6,69052988	6,69055195
09/03/2019	70,82441582	70,82458343	14051,58113	14051,48082	6,68982386	6,68984596
10/03/2019	70,8226992	70,82287517	14049,69037	14049,59015	6,68911784	6,68913996

Hasil peramalan menggunakan Bayesian Vector Autoregressive cukup akurat dengan Prior Litterman-Minnesota atau Prior Normal-Flat. Dapat dilihat dari hasil perhitungan nilai MAPE dari ketiga variabel. Berikut adalah nilai MAPE dari ketiga variabel dengan kedua prior yang digunakan:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai MAPE dari Masing-Masing Prior

	Litterman-Minnesota	Normal Flat
Rupee	0,018844127	0,018848968
Rupiah	0,011811703	0,011818667
Yuan	0,006054399	0,006051062

4 KESIMPULAN

Diperoleh bahwa untuk masing-masing prior terdapat tiga persamaan yang merupakan model akhir dari BVAR. Berdasarkan nilai MAPE, ditunjukkan bahwa Litterman-Minnesota memiliki performa lebih baik pada variabel rupee dan rupiah pada first difference. Sedangkan, prior Normal-Flat menunjukkan performa lebih baik pada variabel yuan. Dapat disimpulkan, pada kasus peramalan nilai tukar mata uang Cina, India, dan Indonesia terhadap mata uang Amerika Serikat, prior Litterman-Minnesota menghasilkan peramalan yang lebih akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Po-Hsuan Hsua, C.-H. W.-C. (2002). A Litterman BVAR approach for production forecasting of technology industries. *North-Holland*, 67.
- [2] Zivot, E., & Wang, J. (2005). *Modelling Financial Time Series with S-PLUS*. New York : Springer.
- [3] Ni, S., & Sun, D. (2005). Bayesian Estimates for Vector Autoregressive Models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 105.
- [4] Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey : Pearson Education.
- [5] Litterman, R. B. (1984). Improving Economic Forecasting With Bayesian Vector Autoregression . *Federal Reserve Bank of Minneapolis* , 18
- [6] Chen, A.-S., & Leung, M. T. (2003). A Bayesian vector error correction model for forecasting exchange rates . *Pergamon*, 887.