

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Nilai Tukar Petani (NTP)

Konsep NTP sebagai indikator kesejahteraan petani telah dikembangkan sejak tahun 1980-an (Rachmat, 2013). Salah satu unsur kesejahteraan petani adalah kemampuan daya beli dari pendapatan petani untuk memenuhi kebutuhan pengeluaran rumah tangga petani. Peningkatan kesejahteraan dapat diukur dari peningkatan daya beli pendapatan untuk memenuhi pengeluarannya tersebut. Semakin tinggi daya beli pendapatan petani terhadap kebutuhan konsumsi maka semakin tinggi nilai tukar petani dan berarti secara relatif petani lebih sejahtera. Selain sebagai indikator kesejahteraan, menurut Badan Pusat Statistik, NTP juga digunakan untuk:

1. Mengukur kemampuan tukar (*term of trade*) produk yang dijual petani dengan produk yang dibutuhkan petani dalam memproduksi dan konsumsi rumah tangga.
2. Memperoleh gambaran tentang perkembangan tingkat pendapatan petani dari waktu ke waktu yang dapat dipakai sebagai dasar kebijakan untuk memperbaiki tingkat kesejahteraan petani.
3. Menunjukkan tingkat daya saing (*competiveness*) produk pertanian dibandingkan dengan produk lain.

Petani yang dimaksud dalam konsep NTP oleh BPS adalah petani yang berusaha di sub sektor tanaman pangan (padi dan palawija), hortikultura (sayur-sayuran, buah-buahan, tanaman hias dan tanaman obat-obatan), tanaman perkebunan rakyat (kelapa, kopi, cengkeh, tembakau dan kapuk odolan), peternak (ternak besar, ternak kecil, unggas dan hasil peternakan serta sub sektor perikanan baik perikanan tangkap maupun perikanan budidaya.

2.1.1 Pengukuran Nilai Tukar Petani (NTP)

Nilai Tukar Petani (NTP) merupakan salah satu indikator untuk melihat tingkat kesejahteraan petani di pedesaan pada tahun tertentu dibandingkan dengan keadaan tahun dasarnya. NTP adalah perbandingan atau rasio antara Indeks yang Diterima Petani (I_t) dengan Indeks yang Dibayar Petani (I_b) yang dinyatakan dalam persentase.

Secara konseptual NTP adalah pengukur kemampuan tukar barang-barang (produk) pertanian yang dihasilkan petani terhadap barang/jasa yang diperlukan untuk konsumsi rumah tangga dan kebutuhan-kebutuhan dalam memproduksi hasil pertanian (BPS, 1993). Penyusunan dan penghitungan NTP diperoleh dari dua komponen indeks, yaitu Indeks yang Diterima Petani (I_t) dan Indeks yang Dibayar Petani (I_b), NTP dirumuskan dengan:

$$NTP = \frac{I_t}{I_b} \times 100\%$$

Dalam penyusunan dan penghitungan indeks harga, terdapat empat komponen yaitu paket komoditas, diagram timbangan, tahun dasar dan data harga.

a) Penyusunan paket komoditas

1. Paket komoditas Indeks Harga yang Diterima Petani (It) mencakup barang-barang (produk) pertanian yang dihasilkan dan dijual petani. Kriteria pemilihan jenis barang yang tercakup dalam paket komoditas adalah:

- (i) Banyak diproduksi/dihasilkan oleh petani.
- (ii) Mempunyai nilai “*Marketed Surplus*” cukup besar. *Marketed Surplus* adalah perbandingan antara nilai produksi yang dijual dengan nilai produksinya dari setiap jenis tanaman pertanian.
- (iii) Tersedia data harganya pada tahun dasar dan juga dapat dipantau kesinambungannya.

2. Paket komoditas Indeks Harga yang Dibayar Petani (Ib) mencakup barang dan jasa yang diperlukan untuk konsumsi rumah tangga dan kebutuhan dalam memproduksi hasil pertanian. Kriteria pemilihan jenis barang yang tercakup dalam paket komoditas adalah:

- (i) Banyak dikonsumsi rumah tangga dan atau banyak digunakan dalam memproduksi hasil pertanian.
- (ii) Mempunyai peran cukup besar terhadap total pengeluaran.
- (iii) Tersedia data harganya pada tahun dasar dan juga dapat dipantau kesinambungannya.

3. Jenis barang yang tercakup dalam paket komoditas, diperoleh dari sumber-sumber berikut:

- a) Survei Harga Produsen Pedesaan (HPD),
- b) Survei Harga Konsumen Pedesaan (HKD)
- c) Survei Diagram Timbang Nilai Tukar Petani (SDT NTP),
- d) Sensus Pertanian,
- e) Survei Struktur Ongkos Usaha Tani,
- f) Susenas Modul Konsumsi dan
- g) Survei Biaya Hidup.

b) Diagram timbangan

1. Nilai diagram timbangan / penimbang yang digunakan dalam penyusunan It adalah nilai produksi yang dijual oleh petani dari setiap jenis barang hasil pertanian sub sektor tanaman pangan, tanaman hortikultura, tanaman perkebunan rakyat, perkebunan serta perikanan tangkap dan budidaya. Sebagai data penunjang dalam penghitungan diagram timbangan ini diperlukan tiga macam data yaitu:

- a) Kuantitas produksi
- b) Daftar Harga Produsen Pedesaan (HPD) dan
- c) Persentase *marketed surplus*

2. Nilai diagram timbangan / penimbang dalam penyusunan Ib adalah nilai konsumsi / nilai biaya barang-barang atau jasa yang dikeluarkan/dibeli baik untuk kebutuhan konsumsi rumah tangga maupun kebutuhan untuk memproduksi hasil pertanian. Data penunjang yang digunakan adalah nilai

konsumsi yang dibeli baik barang makanan maupun barang/jasa
nonmakanan setiap provinsi.

c) Tahun dasar

Tahun dasar adalah periode waktu yang ditentukan sebagai permulaan
dihitungnya angka indeks. Penentuan tahun dasar disebabkan adanya beberapa
pertimbangan, antara lain:

- (i) Kondisi perekonomian nasional stabil,
- (ii) Tersedianya data yang lengkap,
- (iii) Tidak adanya gejolak pada bidang ekonomi, Hankam, sosial budaya dan politik.

d) Data harga

Pengumpulan data harga yaitu dengan melakukan wawancara langsung
menggunakan daftar harga produsen di pedesaan pada tiap sub sektor.

Pencatatan harga dilakukan pada kecamatan terpilih pada tanggal 15 dengan
menanyakan harga transaksi antara tanggal 1 sampai dengan tanggal 14 pada
bulan yang bersangkutan.

Pemilihan kecamatan dilakukan dengan rancangan sampling dua tahap, yaitu:

- 1) Tahap pertama, dari setiap provinsi dipilih secara *purposive* bersyarat,
dipilih sejumlah kabupaten yang merupakan daerah sentra produksi
pertanian,
- 2) Tahap kedua, dari setiap kabupaten terpilih, dipilih sejumlah kecamatan
yang merupakan sentraproduksi pertanian.

Kemudian dilakukan pemilihan pasar pada kecamatan terpilih yang didasarkan pada kriteria:

- 1) Paling besar di kecamatan tersebut,
- 2) Beraneka ragam barang yang diperdagangkan,
- 3) Kebanyakan masyarakat berbelanja di sana,
- 4) Dapat dijamin kelangsungan pencatatan harganya dan
- 5) Pasar terletak di desa pedesaan.

A. Indeks Harga yang Diterima Petani (I_t)

Indeks Harga yang Diterima Petani (I_t) adalah indeks yang mengukur rata-rata perubahan harga dalam suatu periode dari suatu paket jenis barang hasil produksi pertanian pada tingkat harga produsen di petani dengan dasar suatu periode tertentu. It digunakan untuk melihat fluktuasi harga barang yang dihasilkan petani dan juga sebagai penunjang dalam penghitungan pendapatan sektor pertanian. It dirumuskan dengan:

$$I_t = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{P_{t_{ti}}}{P_{t_{(t-1)i}}} P_{t_{(t-1)i}} Q_{0i}}{\sum_{i=1}^m P_{t_{0i}} Q_{0i}} \times 100\%$$

dimana

I_t = Indeks harga yang diterima petani bulan ke- t

$P_{t_{ti}}$ = Harga yang diterima petani bulan ke- t untuk jenis barang ke- i

$P_{t_{(t-1)i}}$ = Harga yang diterima petani bulan ke- $(t - 1)$ untuk jenis barang ke- i

$\frac{P_{t_{ti}}}{P_{t_{(t-1)i}}}$ = Relatif harga yang diterima petani bulan ke- t dibanding ke- $(t - 1)$ untuk jenis barang ke- i

Pt_{0i} = Harga yang diterima petani pada tahun dasar untuk jenis barang ke- i

Q_{0i} = Kuantitas pada tahun dasar untuk jenis barang ke- i

m = Banyak jenis barang yang tercakup dalam paket komoditas

B. Indeks Harga yang Dibayar Petani (Ib)

Indeks Harga yang Dibayar Petani (Ib) adalah indeks yang mengukur rata-rata perubahan harga dalam suatu periode dari suatu paket komoditas barang dan jasa biaya produksi dan penambahan barang modal serta konsumsi rumah tangga di daerah pedesaan dengan dasar suatu periode tertentu. Ib digunakan untuk melihat fluktuasi harga barang-barang yang dikonsumsi petani dan dibutuhkan petani untuk memproduksi hasil pertanian. Ib dirumuskan dengan:

$$Ib_t = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{Pb_{ti}}{Pb_{(t-1)i}} Pb_{(t-1)i} Q_{0i}}{\sum_{i=1}^m Pb_{0i} Q_{0i}} \times 100\%$$

dimana:

Ib_t = Indeks harga yang dibayar petani bulan ke- t

Pb_{ti} = Harga yang dibayar petani bulan ke- t untuk jenis barang ke- i

$Pb_{(t-1)i}$ = Harga yang dibayar petani bulan ke- $(t - 1)$ untuk jenis barang ke- i

$\frac{Pb_{ti}}{Pb_{(t-1)i}}$ = Relatif harga yang dibayar petani bulan ke- t dibanding ke- $(t - 1)$ untuk jenis barang ke- i

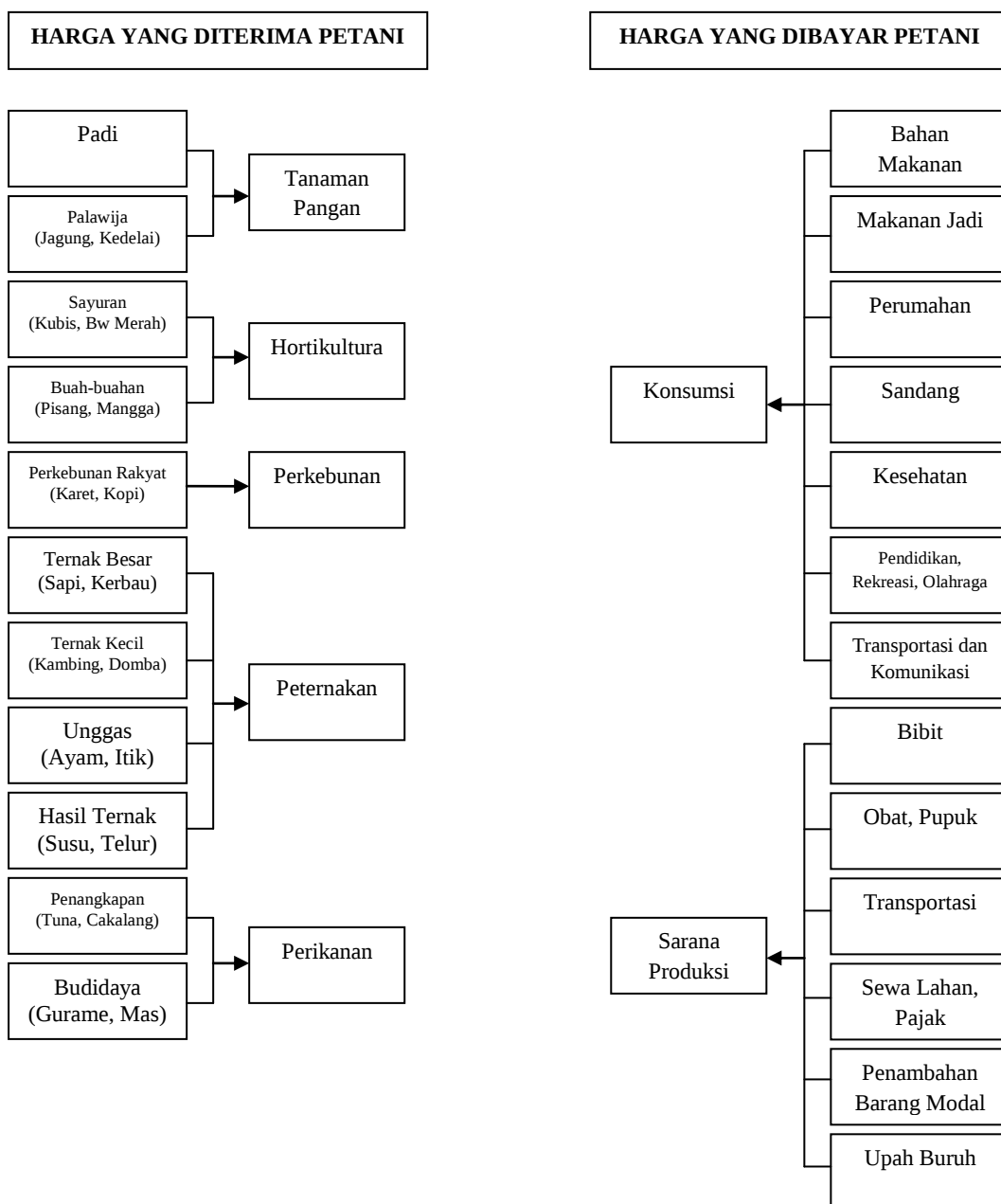
Pb_{0i} = Harga yang dibayar petani pada tahun dasar untuk jenis barang ke- i

Q_{0i} = Kuantitas pada tahun dasar untuk jenis barang ke- i

m = Banyak jenis barang yang tercakup dalam paket komoditas

Pembentukan NTP yang dikembangkan oleh BPS terangkum dalam Gambar 1.

berikut:



Gambar 1. Pembentukan NTP

2.2 Data Runtun Waktu (*Time Series*)

Data runtun waktu (*time series*) didefinisikan sebagai kumpulan pengamatan kuantitatif yang disusun secara kronologis. *Time series* selalu digunakan dalam bidang ekonometrik. Awalnya, Jan Tinbergen (1939) membangun model ekonometrik pertama untuk Amerika Serikat dan kemudian memulai program penelitian ilmiah ekonometrik secara empiris (Kirchgassner and Wolters, 2007).

Data *time series* yang memiliki dua atau lebih variabel disebut *multivariate time series*. Model *multivariate time series* melibatkan beberapa variabel yang tidak hanya berturut namun juga saling berkorelasi (Montgomery, Jennings, and Kulahci, 2008).

2.3 Stasioneritas

Analisis data *time series* bertumpu pada asumsi penyederhanaan bahwa proses *time series* harus stasioner. Proses stasioner adalah bahwa rata-rata dan ragam dalam keadaan konstan dari waktu ke waktu. Jika data yang digunakan tidak stasioner, maka data harus dimodifikasi untuk menjadikan data tersebut stasioner.

A. Stasioner dalam ragam

Modifikasi untuk menstasionerkan data dalam ragam harus dilakukan sebelum melakukan analisis data. Kita dapat mengubah data yang tidak stasioner dalam ragam menjadi stasioner dengan melakukan transformasi pada data. Misalnya:

1. Jika *standard deviasi* pada data *series* diketahui sebanding, maka dilakukan transformasi logaritma natural agar menghasilkan data *series* baru dengan ragam yang konstan.
2. Jika ragam pada data *series* diketahui sebanding, maka dilakukan transformasi akar kuadrat agar ragam pada data *series* baru menjadi konstan.

Dan masih banyak lagi transformasi lain yang mungkin dapat dilakukan, tetapi kedua cara transformasi di atas (terutama transformasi logaritma) sering digunakan dalam praktik.

Transformasi log dan transformasi akar kuadrat adalah anggota dari transformasi *Box-Cox*. Dengan transformasi ini kita mendefinisikan *series* z'_t baru (ditransformasi) sebagai berikut:

$$z'_t = \frac{z_t^\lambda - 1}{\lambda}$$

Dimana λ adalah bilangan real. Sebagai catatan bahwa z_t tidak boleh negatif. Jika beberapa nilai z_t negatif, maka ditambahkan sebuah konstanta positif z_t sehingga semua nilai bernilai positif (Pankratz, 1991).

B. Stasioner dalam rata-rata

Ketika *series* tidak menunjukkan rata-rata yang konstan, biasanya kita dapat membuat *series* baru dengan melakukan *differencing* (pembedaan) pada data, yaitu dengan menghitung perubahan berturut-turut pada *series* untuk semua t , sebagai berikut:

$$w_t = z_t - z_{t-1}$$

(Jika sebelumnya sudah dilakukan transformasi untuk menstabilkan ragam, maka *series* yang digunakan untuk dilakukan pembedaan adalah *series* z_t' bukan z_t).

Melakukan penghitungan ini sebanyak satu kali untuk semua t , maka disebut pembedaan pertama (*first differencing*). Jika *series* yang dihasilkan belum memiliki rata-rata yang konstan, maka dihitung pembedaan pertama (*first differences*) dari hasil pembedaan pertama (*first differences*) sebelumnya untuk semua t . Selanjutnya pembedaan pertama dari z_t dinotasikan dengan w_t^* , sebagai berikut:

$$w_t = w_t^* - w_{t-1}^* = (z_t - z_{t-1}) - (z_{t-1} - z_{t-2})$$

Series yang dihasilkan disebut pembedaan kedua (*second differences*) dari z_t .

Notasi d dinotasikan sebagai tingkat pembedaan (*differencing*). Sehingga untuk pembedaan pertama $d = 1$, untuk pembedaan kedua, $d = 2$ dan seterusnya. Jika data asli tidak memiliki rata-rata yang konstan, biasanya setelah dilakukan pembedaan hingga $d = 1$ data sudah memiliki rata-rata yang konstan, $d > 2$ hampir tidak pernah diperlukan (Pankratz, 1991).

2.4 Kointegrasi

Dengan mengasumsikan bahwa variabel sebanyak k , $y_1, y_2 \dots y_k$ dikumpulkan dalam vektor Y , baik tidak ada kointegrasi sama sekali atau terdapat satu atau dua sampai $k - 1$ vektor kointegrasi. Jika kita memiliki lebih dari dua variabel maka yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan *rank* kointegrasi r , yaitu

jumlah vektor kointegrasi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan prosedur yang dikembangkan oleh *Soren Johansen* (1988).

Vektor kointegrasi diperkirakan oleh vektor eigen yang sesuai dan digabungkan dalam matriks berukuran $k \times r$

$$\hat{B} = [\hat{v}_1 \dots \hat{v}_r]$$

Jumlah nilai eigen yang secara signifikan bernilai positif menentukan *rank* r dari ruang kointegrasi. Hal ini menyebabkan terdapat dua prosedur uji ratio yang berbeda, diantaranya:

(i) *Trace test*

H_0 : terdapat paling banyak r nilai eigen positif

H_1 : terdapat lebih dari r nilai eigen positif.

$$Tr(r) = -T \sum_{i=r+1}^k \ln(1 - \hat{\lambda}_i)$$

(ii) Analisis uji $\lambda_{\max}$ apakah ada r atau $r + 1$ vektor kointegrasi

H_0 : terdapat tepat r nilai eigen positif

H_1 : terdapat tepat $r + 1$ nilai eigen positif.

$$\lambda_{\max}(r, r + 1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_i)$$

dimana:

$\hat{\lambda}_i$ = pendugaan nilai eigen

T = banyaknya pengamatan

k = banyaknya peubah endogen

Uji ini dimulai dari $r = 0$ dan dilakukan sampai pertama kalinya hipotesis nol tidak dapat ditolak. *Rank* kointegrasi diperoleh dari nilai r . Hipotesis nol ditolak untuk nilai yang lebih besar dari uji statistiknya (Kirchgassner and Wolters, 2007).

2.5 Model Vector Autoregressive (VAR)

Untuk menganalisis secara kuantitatif data *time series* dengan melibatkan lebih dari satu variabel (*multivariate time series*) digunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR). Metode VAR memperlakukan semua variabel secara simetris. Satu vektor berisi lebih dari dua variabel dan pada sisi kanan terdapat nilai *lag* (*lagged value*) dari variabel tak bebas sebagai representasi dari sifat *autoregressive* dalam model.

Model VAR(p) dapat dispesifikasikan dalam persamaan berikut:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

dimana:

y_t = elemen vektor y pada waktu t

ϕ_i = matriks berukuran $n \times n$ yang merupakan koefisien dari vektor y_{t-i} ,

untuk $i = 1, 2, \dots, p$

p = panjang lag

c = vektor intersep

ε_t = vektor dari *shock* terhadap masing-masing variabel

Apabila data yang digunakan stasioner pada tingkat *differencing* yang sama dan terdapat kointegrasi, maka model VAR akan dikombinasikan dengan model koreksi kesalahan menjadi *Vector Error Correction Model* (VECM) (Asteriou and Hall, 2007).

2.5.1 *Vector Error Correction Model* (VECM)

Vector Autoregressive (VAR) merupakan salah satu bentuk khusus dari sistem persamaan simultan. Model VAR dapat diterapkan apabila semua variabel yang digunakan stasioner, akan tetapi jika variabel di dalam vektor Z_t tidak stasioner maka model yang digunakan adalah *Vector Error Correction Model* (VECM) dengan syarat terdapat satu atau lebih hubungan kointegrasi antar variabelnya. VECM adalah VAR terbatas yang dirancang untuk digunakan pada data non-stasioner yang diketahui memiliki hubungan kointegrasi (Enders, 2015).

VECM adalah salah satu dari beberapa model *time series* yang secara langsung memperkirakan tingkat dimana suatu variabel kembali kepada tingkat setimbang setelah perubahan pada variabel lain. VECM berguna untuk memperkirakan efek jangka pendek keduanya dan jangka panjang dari satu *time series* lainnya.

Menurut Robert dan Granger (1987), VECM adalah model VAR terbatas yang dirancang untuk digunakan pada *series* tidak stasioner yang diketahui memiliki hubungan kointegrasi. VECM yang memiliki hubungan kointegrasi dibangun ke dalam spesifikasi sehingga membatasi perilaku jangka panjang dari variabel endogen.

Bentuk umum VECM(p) dengan rank kointegrasi $r \leq k$ adalah sebagai berikut:

$$\Delta y_t = c + \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.2)$$

dimana:

Δ = operator *differencing*, dengan $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$

Y_{t-1} = vektor peubah endogen dengan lag ke-1

ε_t = vektor residual

c = vektor intersep

Π = matriks koefisien kointegrasi ($\Pi = \alpha\beta'$; α = vektor *adjustment*, matriks ukuran $(k \times r)$ dan β = vektor kointegrasi (*long-run parameter*) matriks $(k \times r)$)

Γ_i = matriks berukuran $(k \times k)$ koefisien variabel endogen ke-i

2.6 Panjang Lag Optimal

Panjang lag variabel yang optimal sangat diperlukan untuk menangkap pengaruh dari setiap variabel terhadap variabel lain di dalam sistem VAR. Menentukan panjang lag (order p) yaitu dengan menggunakan kriteria informasi yang tersedia. Panjang lag yang terpilih dapat dilihat melalui nilai paling minimum dari masing-masing kriteria. Beberapa informasi kriteria yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

(i) *Final Prediction Error* (FPE)

$$FPE = \frac{T+m}{T-m} \times \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^{(p)})^2$$

(ii) *Akaike Information Criterion (AIC)*

$$AIC = \ln \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^{(p)})^2 + m \frac{2}{T}$$

(iii) *Bayesian Criterion of Gideon Schwarz*

$$SC = \ln \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^{(p)})^2 + m \frac{\ln T}{T}$$

(iv) *Hannan-Quinn Criterion*

$$HQ = \ln \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{u}_t^{(p)})^2 + m \frac{2 \ln(\ln T)}{T}$$

Dimana $\hat{u}_t^{(p)}$ adalah residual dugaan dari model VAR(p), m adalah jumlah peubah tidak bebas, T adalah banyaknya observasi dan p adalah panjang lag model VAR (Kirchgassner and Wolters, 2007). Hal yang harus diperhatikan dalam menentukan panjang lag optimal adalah semakin panjang jumlah lag yang dipergunakan maka semakin banyak jumlah parameter yang harus diestimasi dan semakin sedikit derajat kebebasannya. Jika jumlah lag (p) terlalu sedikit maka model akan *miss specification*, sementara apabila lag (p) terlalu banyak maka derajat kebebasan semakin besar.

2.7 Pengujian Residual

2.7.1 Uji Normalitas

Uji normalitas residual adalah uji untuk mengetahui kenormalan residual pada suatu data. Tujuan dilakukannya uji ini adalah untuk mengetahui apakah residual pada data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan dengan *Jarque-Bera (JB) Test of Normality*. Uji ini menggunakan ukuran skewness dan kurtosis. Dalam aplikasinya nilai *Jarque-Bera (JB)* dibandingkan dengan nilai *chi-square* (χ^2) pada derajat kebebasan 2.

Jarque-Bera Test dinamakan sesuai dengan penemunya yaitu *Carlos Jarque* dan *Anil K. Bera*. Perhitungan JB adalah sebagai berikut:

$$JB = \frac{n}{6} \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$$

dimana:

n = Jumlah sampel

$$S = \text{Expected Skewness} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}}$$

$$K = \text{Expected Excess Kurtosis} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2}$$

Jarque-Bera (JB) yang digunakan dalam uji normalitas pada variabel residual perhitungannya dilakukan dengan menambahkan indikator banyaknya variabel bebas atau prediktor, seperti berikut:

$$JB = \frac{n - k}{6} \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$$

dimana:

k = Jumlah variabel bebas

2.7.2 Uji Stabilitas

Stabilitas sistem VAR dilihat dari *inverse roots* karakteristik AR polinomialnya.

Suatu sistem VAR dikatakan stabil (stasioner) jika seluruh *roots*-nya memiliki modulus lebih kecil dari satu dan semuanya terletak di dalam *unit circle*.

Berikut uraian menurut Lutkepohl (2005) bahwa model VAR(p) pada persamaan (2.1) dapat dituliskan:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.3)$$

Jika mekanisme ini dimulai pada waktu tertentu, misalnya saat $t = 1$, maka akan mendapatkan:

$$\begin{aligned} y_1 &= c + \phi_1 y_0 + \varepsilon_1, \\ y_2 &= c + \phi_1 y_1 + \varepsilon_2 \\ &= c + \phi_1 (c + \phi_1 y_0 + \varepsilon_1) + \varepsilon_2 \\ &= (I_K + \phi_1) c + \phi_1^2 y_0 + \phi_1 \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ y_t &= (I_K + \phi_1 + \dots + \phi_1^{t-1}) c + \phi_1^t y_0 + \sum_{i=0}^{t-1} \phi_1^i \varepsilon_{t-i} \\ &\vdots \end{aligned} \quad (2.4)$$

Oleh karena itu, vektor $(y_1, \dots, y_t)$ ditentukan oleh $(y_0, u_1, \dots, u_t)$ dan distribusi bersama dari $(y_1, \dots, y_t)$ ditentukan oleh distribusi bersama dari $(y_0, u_1, \dots, u_t)$.

Dari persamaan VAR(1) pada (2.1) dan (2.4) maka akan didapatkan:

$$\begin{aligned} y_t &= c + \phi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \\ &= (I_K + \phi_1 + \dots + \phi_1^j) c + \phi_1^{j+1} y_{t-j-1} + \sum_{i=0}^j \phi_1^i \varepsilon_{t-i} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Jika semua nilai eigen dari ϕ_1 memiliki modulus kurang dari 1 maka model y_t merupakan proses stokastik yang didefinisikan dengan:

$$y_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \phi_1^i \varepsilon_{t-i}, t = \dots - 1, 0, 1, \dots \quad (2.6)$$

dimana:

$$\mu = (I_K - \phi_1)^{-1} v$$

Berdasarkan Rule (7) Appendix A.6 menurut Luthkepol (2005), dikatakan bahwa *”semua nilai eigen pada matriks A berukuran $(m \times m)$ mempunyai modulus kurang dari satu jika dan hanya jika $\det(I_m - A_z) \neq 0$ untuk $|z| \leq 1$, maka polinomial dari $\det(I_m - A_z)$ tidak memiliki roots yang berada pada unit circle.”*

Maka persamaan y_t dikatakan stabil jika:

$$\det(I_{Kp} - \phi_z) \neq 0 \text{ untuk } |z| \leq 1$$

Definisi yang diberikan dari karakteristik polinomial pada matriks, kita sebut sebagai karakteristik polinomial dari proses VAR(p), sehingga persamaan (2.3) dikatakan stabil jika:

$$\det(I_{Kp} - \phi_z) = \det(I_K - \phi_1 z - \dots - \phi_p z^p) \quad (2.7)$$

2.8 Impulse Response Function (IRF)

Pindyck dan Rubinfeld (1998) menyatakan bahwa IRF merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan respon suatu variabel endogen terhadap *shock* suatu variabel tertentu. Sebuah *Vector Autoregressive* dapat dituliskan sebagai bentuk dari *Vector Moving Average* (VMA). Representasi VMA adalah fitur penting dalam metodologi Sims's (1980) yang memungkinkan kita untuk melihat berbagai *shock* pada variabel dalam model VAR. Sebagai ilustrasi, digunakan dua variabel dalam bentuk matriks VAR seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix}$$

Menggunakan persamaan model VAR bentuk umum yang diasumsikan mencapai kondisi stabil sebagai berikut: $x_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} A_1^i e_{t-i}$,

dimana:

$$x_t = \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix}, \mu = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} \text{ dan } A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$$

diperoleh:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} e_{1t-i} \\ e_{2t-i} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) menyatakan y_t dan z_t dalam istilah berurutan $\{e_{1t}\}$ dan $\{e_{2t}\}$ yang kemudian dituliskan sebagai $\{\varepsilon_{yt}\}$ dan $\{\varepsilon_{zt}\}$.

Menggunakan perkalian oleh B^{-1} memungkinkan kita untuk mendapatkan model VAR dalam bentuk:

$$x_t = A_0 + A_1 X_{t-1} + e_t$$

dimana $A_0 = B^{-1}\Gamma_0$, $A_1 = B^{-1}\Gamma_1$ dan $e_t = B^{-1}\varepsilon_t$.

Istilah galat (yaitu e_t) merupakan gabungan dari *shocks* (ε_t). Dengan menggunakan persamaan $e_t = B^{-1}\varepsilon_t$, maka e_{1t} dan e_{2t} pada persamaan (2.3) dapat dituliskan sebagai:

$$e_{1t} = \frac{(\varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{zt})}{(1 - b_{12}b_{21})} \text{ dan } e_{2t} = \frac{(\varepsilon_{zt} - b_{21}\varepsilon_{yt})}{(1 - b_{12}b_{21})}$$

Vektor dari *error* tersebut dapat dituliskan dalam bentuk matriks seperti:

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Sehingga persamaan (2.8) dan (2.9) dapat dikombinasikan ke dalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt-i} \\ \varepsilon_{zt-i} \end{bmatrix}$$

Notasi diatas dapat disederhanakan dengan mendefinisikan ke dalam matriks $\emptyset$ ukuran 2×2 . Maka representasi dari VMA pada persamaan (2.8) dan (2.9) dapat dituliskan ke dalam bentuk urutan $\{\varepsilon_{yt}\}$ dan $\{\varepsilon_{zt}\}$:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \emptyset_{11}(i) & \emptyset_{12}(i) \\ \emptyset_{21}(i) & \emptyset_{22}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt-i} \\ \varepsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

dengan elemen $\emptyset_{jk}(i)$:

$$\emptyset_i = \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.10) dapat dituliskan kembali dalam bentuk x_t seperti:

$$x_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \emptyset_i \varepsilon_{t-i} \quad (2.11)$$

Keempat set dari koefisien $\emptyset_{11}(i)$, $\emptyset_{12}(i)$, $\emptyset_{21}(i)$ dan $\emptyset_{22}(i)$ disebut sebagai *impulse response function*. Membuat plot fungsi respon impuls (yaitu membuat plot dari koefisien $\emptyset_{jk}(i)$ terhadap i) adalah cara praktis untuk memvisualisasikan perilaku $\{y_t\}$ dan $\{z_t\}$ dalam merespon guncangan (*shocks*) (Enders, 2015).