

Model *Space-Time Autoregressive Integrated* (STARI) pada Peramalan Indeks Harga Konsumen (IHK) di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi

DELVI RUTANIA PRAMA¹, TILAS NOTAPIRI², BUDI NURANI RUCHJANA³

^{1,2}Program Studi S-2 Statistika Terapan Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran, Indonesia

³Departemen Matematika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran, Indonesia

e-mail: delvi21001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Perhitungan tingkat inflasi membutuhkan indikator yang salah satunya adalah Indeks Harga Konsumen (IHK). Kenaikan IHK dapat berdampak pada meningkatnya nilai inflasi. Oleh karena itu, diperlukan informasi yang dapat menggambarkan bagaimana keadaan inflasi berdasarkan IHK. Salah satu hal yang dapat dilakukan yaitu memperkirakan angka IHK untuk beberapa periode ke depan atau peramalan. Peramalan IHK diharapkan dapat memberikan informasi yang relevan untuk mengetahui inflasi dimasa yang akan datang sehingga memberikan informasi yang berguna dalam merumuskan kebijakan ke arah yang lebih baik. IHK beberapa kota tidak hanya dipengaruhi oleh IHK kota itu sendiri pada waktu sebelumnya, tapi juga dipengaruhi IHK kota lainnya yang berdekatan. Salah satu model yang dapat mengakomodir keterkaitan antara fenomena deret waktu suatu wilayah dengan fenomena deret waktu yang sama di wilayah lain adalah model *Space-Time Autoregressive* (STAR). Model STAR terbaik dalam meramalkan IHK umum di Kota Bogor, Kota Depok, dan Kota Bekasi adalah model STARI (1,1,1) dengan menggunakan bobot korelasi silang. Hasil peramalan menggunakan model STARI (1,1,1) memiliki akurasi yang sangat baik ditunjukkan oleh nilai MAPE untuk setiap kota < 10%. Berdasarkan perbandingan plot hasil peramalan dan data aktual diketahui bahwa hasil peramalan sejalan dan mendekati data aktual hingga bulan ke-2, sehingga dapat disimpulkan bahwa peramalan dengan model STARI (1,1,1) akan baik dilakukan untuk jangka pendek yaitu 1-2 bulan ke depan.

Kata Kunci: IHK, STAR, STARI, MAPE, peramalan

ABSTRACT

Calculation of the inflation rate requires indicators, one of which is the Consumer Price Index (CPI). An increase in the CPI can have an impact on increasing the value of inflation. So we need information that can describe how the inflation situation is based on the CPI. One thing that can be done is to estimate the CPI figures for the next several periods or forecasts. CPI forecasting is expected to provide relevant information to determine future inflation so as to provide useful information in formulating policies in a better direction. The CPI of several cities is not only influenced by the CPI of the city itself in the past, but also influenced by the CPI of other nearby cities. One model that can accommodate the relationship between the time series phenomenon of one region and the same time series phenomenon in other regions is the *Space-Time Autoregressive* model. (STARS). The best STAR model in predicting the general CPI in Bogor City, Depok City, and Bekasi City is the STARI(1,1,1) model using cross-correlation weights. Prediction results using the STARI (1,1,1) model have very good accuracy indicated by the MAPE value for each city < 10%. Based on the comparison of the plot of the prediction results and the actual data, it is known that the prediction results are in line with and close to the actual data until the 2nd month, so it can be concluded that the prediction with the STARI model (1,1,1) will be good for the short term, i.e. 1-2 months to the next month. front.

Kata Kunci: IHK, STAR, STARI, MAPE, forecasting

1. PENDAHULUAN

Inflasi dapat diartikan sebagai kenaikan harga barang dan jasa secara umum yang berlangsung secara terus-menerus dari suatu periode ke periode berikutnya (Dyahrini and Rachman, 2012). Inflasi yang tinggi mengakibatkan tingginya biaya produksi di suatu wilayah sehingga pertumbuhan ekonomi menjadi terhambat serta dapat melemahkan daya beli masyarakat. (Sohibien, 2017). Tingkat inflasi diperoleh dengan menghitung perubahan Indeks Harga Konsumen (IHK).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), IHK merupakan indeks yang menghitung rata-rata perubahan harga dari suatu paket barang dan jasa yang dikonsumsi oleh rumah tangga selama periode tertentu (Badan Pusat Statistik, 2022). Penentuan jumlah, jenis dan kualitas dalam paket komoditas barang dan jasa serta bobot timbangannya dalam IHK didasarkan pada Survei Biaya Hidup (SBH). Kenaikan IHK dapat berdampak bagi meningkatnya nilai inflasi. Oleh karena itu, diperlukan informasi yang dapat menggambarkan bagaimana keadaan inflasi berdasarkan IHK. Salah satu hal yang dapat dilakukan yaitu memperkirakan angka IHK untuk beberapa periode kedepan atau peramalan. Peramalan IHK diharapkan dapat memberikan informasi yang relevan untuk mengetahui inflasi dimasa yang akan datang sehingga memberikan informasi yang berguna dalam merumuskan kebijakan ke arah yang lebih baik.

IHK beberapa kota tidak hanya dipengaruhi oleh IHK kota itu sendiri pada waktu sebelumnya, tapi juga dipengaruhi IHK kota lainnya yang berdekatan (Zulky, Amri and Si, 2020). Indeks Harga Konsumen di Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Jabodetabek) memungkinkan untuk saling memengaruhi karena kelima kota tersebut mempunyai jarak yang berdekatan dan memiliki akses transportasi untuk berhubungan antar wilayah. Akan tetapi, dalam penelitian ini pemilihan kota dibatasi pada wilayah Kota Bogor, Depok, dan Bekasi (Bodebek) yang masih berada dalam satu wilayah administrasi di Jawa Barat baik yang berdekatan secara langsung maupun tidak langsung. IHK di Kota Bodebek cenderung memiliki pola pergerakan IHK yang mirip, saling memengaruhi satu sama lain, dan jarak antar lokasi yang cukup berdekatan dengan rata-rata sekitar 40 km.

Penelitian mengenai peramalan IHK sudah banyak dilakukan (Desvina, A and Desmita 2015; Wibowo 2018; Andriyani, Hoyyi, and Yasin 2018), namun masih dilakukan secara univariat dan belum mempertimbangkan adanya pengaruh harga dari wilayah lainnya. Salah satu model yang dapat mengakomodir keterkaitan antara fenomena deret waktu suatu wilayah dengan fenomena deret waktu yang sama di wilayah lain adalah model *Space-Time Autoregressive* (STAR) (Suryamah, Ruchjana and Joebaedi, 2013).

Asumsi yang mendasari model STAR adalah data pengamatan pada lokasi yang digunakan dalam penelitian memiliki karakteristik yang homogen (Zulky, Amri and Si, 2020). Jika fenomena AR tidak stasioner maka terlebih dahulu kajian model *Space-Time* distasionerkan melalui proses *differencing* menjadi AR *Integrated* (ARI), sehingga model STAR yang di gunakan menjadi model *Space-Time Autoregressive Integrated* (STARI) (Alawiyah, Kusuma and Ruchjana, 2020; Sholihah et al., 2021). Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan model STARI dalam meramalkan data IHK umum di Kota Bogor, Depok dan Bekasi.

2. METODE PENELITIAN

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari Badan Pusat Statistik dari website <https://www.bps.go.id/>. Data yang digunakan adalah data indeks harga konsumen (IHK) umum dari Januari 2017 sampai dengan April 2022 di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi. Data IHK umum Januari 2017 - Agustus 2021 digunakan sebagai data *training*, dimana akan digunakan untuk pemodelan STAR. Sedangkan data IHK umum September 2021 - April 2022 akan digunakan sebagai data *testing* untuk membandingkan kinerja peramalan dari model STAR. Ada tiga variabel yang dipakai pada penelitian ini, yaitu:

Y_{1t} : Indeks Harga Konsumen Umum Kota Bogor

Y_{2t} : Indeks Harga Konsumen Umum Kota Depok

Y_{3t} : Indeks Harga Konsumen Umum Kota Bekasi

Tahapan analisis pada peramalan IHK dengan menggunakan model STAR adalah sebagai berikut:

1. Analisis deskriptif data deret waktu

2. Melakukan pemeriksaan kestasioneran data dalam rata-rata dengan menggunakan *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) dan pemeriksaan kestasioneran dalam varians dengan menggunakan Box-Cox Lambda.
3. Menentukan matriks bobot dengan dua jenis bobot lokasi, yaitu matriks bobot invers jarak dan bobot korelasi silang.
4. Melakukan identifikasi orde model *Space-Time Autoregressive* (STAR) menggunakan plot STACF dan STPACF menggunakan data yang telah stasioner serta menentukan lag spasial.
5. Melakukan penaksiran parameter dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dengan pembobot invers jarak dan korelasi silang.
6. Pemilihan model terbaik menggunakan nilai AIC, BIC, dan HQ.
7. Melakukan pemeriksaan diagnostik, yaitu dengan melakukan pengujian apakah *residual* dari ketiga model telah memenuhi asumsi *white noise*, homogenitas dan asumsi kenormalan.
8. Melakukan peramalan dengan model terbaik yang diperoleh.
9. Melakukan pemeriksaan hasil peramalan dengan menggunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Semakin kecil MAPE, semakin baik kekuatan peramalan model yang diperoleh.

Model *Space-Time Autoregressive* (STAR)

Model *Space-Time* adalah suatu model yang menggabungkan faktor waktu dan lokasi pada data deret waktu multivariat pertama kali diperkenalkan oleh Pfeifer and Deutch (1980). Model STAR merupakan gabungan model *Autoregressive* orde p (AR(p)) dan model spasial yang melibatkan bobot antar lokasi. model STAR paramater AR (p) untuk tiap lokasi dianggap sama (homogen). Persamaan model STAR (p, λ_k) seperti pada persamaan (1):

$$\mathbf{z}(t)_{(Nx1)} = \sum_{l=0}^{\lambda_k} \sum_{k=1}^p \Phi_{kl} \mathbf{W}^l_{(NxN)} \mathbf{z}(t-k)_{(Nx1)} + \mathbf{e}(t) \quad \dots (1)$$

dengan

- p : Lag waktu
- λ_k : Lag spasial
- Φ_{kl} : Parameter STAR pada lag waktu k dan lag spasial l
- \mathbf{W}^l : Matriks bobot pada lag spasial l dengan \mathbf{W}^0 adalah matriks identitas ukuran $(n \times n)$
- $\mathbf{e}(t)$: Vektor *residual* pada waktu ke- t
- $\mathbf{z}(t)$: Vektor data deret waktu pada waktu ke- t

Identifikasi Model

Identifikasi model STAR dapat dilakukan melalui pendekatan deret waktu univariat menggunakan plot ACF dan PACF untuk memperoleh orde model AR atau MA. Untuk lokasi pengamatan lebih dari satu, model STAR dapat digunakan jika orde model ARnya sama. Jika diperoleh orde model berbeda seperti model AR(1) dan AR(2) maka model AR(2) dapat disederhanakan menjadi model AR(1).

(Pfeifer and Deutch, 1980) melakukan identifikasi model *Space-Time* menggunakan STACF dan STPACF untuk mendapatkan model *Space-Time Autoregressive* (STAR), model *Space-Time Moving Average* (STMA), atau model *Space-Time Autoregressive Moving Average* (STARMA). Plot STACF dan STPACF dapat memberikan informasi mengenai autokorelasi dan autokorelasi parsial dari data yang sudah melibatkan unsur ketergantungan spasial dengan melibatkan matriks bobot spasial dalam perhitungannya. Nilai STACF dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\hat{\rho}_{10}(s) = \frac{\sum_{t=1}^N \sum_{l=1}^{\lambda} L^{(l)} \mathbf{z}_1(t) L^{(0)} \mathbf{z}_1(t+s)}{[\sum_{t=1}^N \sum_{l=1}^{\lambda} (L^{(l)} \mathbf{z}_1(t))^2 \sum_{t=1}^N \sum_{l=1}^{\lambda} (L^{(0)} \mathbf{z}_1(t))^2]^{\frac{1}{2}}} \quad \dots (2)$$

dengan lag spasial $l = 0, 1, \dots, \lambda, k = 0$, dan lag waktu $s = 1, 2, \dots, S$.

Model teridentifikasi sebagai model STAR atau STARI jika plot STACF menyusut secara eksponensial atau menunjukkan pola gelombang sinusoidal, tidak menunjukkan adanya *cut off* pada lag tertentu. Selanjutnya perhitungan nilai STPACF dirumuskan pada persamaan berikut:

$$\hat{\gamma}_{ho}(s) = \sum_{j=1}^k \sum_{i=0}^{\lambda} \phi_{ji} \gamma_{hi}(s-j) \quad \dots (3)$$

Dengan $s = 1, 2, \dots, k$, dan $h = 0, 1, \dots, \lambda$. Sistem persamaan (3) memberikan persamaan Yule Walker model *Space-Time*. Misalkan STPACF dengan lag spasial $\lambda = 2$ dan lag waktu p akan mempunyai barisan koefisien $\phi_{10}, \phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{20}, \phi_{21}, \phi_{22}, \dots, \phi_{k0}, \phi_{k1}, \phi_{k2}$.

Jika plot STPACF menunjukkan *cut off* di beberapa lag spasial, untuk menentukan orde optimal digunakan pendekatan VAR berdasarkan nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC), *Bayesian Information Criterion* (BIC), dan *Hanan-Quin* (HQ) yang minimum. Hal ini karena semakin kecil nilai AIC, BIC, dan HQ, nilai harapan yang dihasilkan oleh sebuah model akan semakin baik sehingga akan diperoleh model yang *fit*.

Model *Space-Time Autoregressive Integrated* (STARI 1,1,1)

Jika data pada penerapan model AR tidak stasioner maka distasionerkan terlebih dahulu dengan cara *differencing* menjadi AR *Integrated* (ARI), sehingga model STAR yang digunakan menjadi model *Space-Time Autoregressive Integrated* (STARI) (Pfeifer and Deutch, 1980).

Persamaan model STARI (1,1,1) untuk tiga lokasi dapat ditulis seperti berikut:

$$\mathbf{y}(t)_{(Nx1)} = \phi_{10} \mathbf{y}(t-1)_{(Nx1)} + \phi_{10} \mathbf{W}^1_{(NxN)} \mathbf{y}(t-1)_{(Nx1)} + \mathbf{e}(t) \quad \dots (4)$$

dengan: $\mathbf{y}(t) = \mathbf{z}(t) - \mathbf{z}(t-1)$, adalah pengamatan IHK, dan N adalah banyaknya provinsi. Dengan demikian, persamaan (4) dapat ditulis menjadi persamaan (5)

$$\begin{aligned} \mathbf{z}(t)_{(Nx1)} - \mathbf{z}(t-1)_{(Nx1)} &= \phi_{10} (\mathbf{z}(t-1)_{(Nx1)} - \mathbf{z}(t-2)_{(Nx1)}) \\ &+ \phi_{11} \mathbf{W}_{(NxN)} \phi_{10} (\mathbf{z}(t-1)_{(Nx1)} - \mathbf{z}(t-2)_{(Nx1)}) + \mathbf{e}(t) \end{aligned} \quad \dots (5)$$

Secara umum dengan menggunakan penulisan dalam bentuk model linear diperoleh persamaan berikut:

$$\mathbf{y}_{(Nx(T-1)x1)} = \mathbf{X}(t-1)_{(Nx(T-1)x(Nx(T-1)))} \boldsymbol{\beta}_{(Nx(T-1)x1)} + \boldsymbol{\varepsilon}_{(Nx(T-1)x1)} \quad \dots (6)$$

Persamaan model STARI (1,1,1) pada persamaan (1) dapat dinyatakan menjadi persamaan (6) sebagai berikut:

$$\mathbf{y}(t) = [\mathbf{y}(t-1) \mathbf{W} \mathbf{z}(t-1)] \begin{bmatrix} \phi_{10} \\ \phi_{11} \end{bmatrix} + \mathbf{e}(t) \quad \dots (7)$$

dengan: $\mathbf{y} = \mathbf{y}(t)$, $\mathbf{X} = [\mathbf{y}(t-1) \mathbf{W} \mathbf{z}(t-1)]$, $\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \phi_{10} \\ \phi_{11} \end{bmatrix}$, $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{e}(t)$ dan $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I})$.

Penaksiran Parameter Model *Space-Time Autoregressive Integrated* (STARI 1,1,1) dengan Metode *Ordinary Least Square* (OLS)

Model STARI(1,1,1) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan linear seperti pada persamaan (6). Melalui metode OLS dapat ditentukan penaksiran parameter yaitu dengan meminimumkan jumlah kuadrat *residual*. Secara sederhana, misalkan \mathbf{S} dengan fungsi $\boldsymbol{\varepsilon}^2$.

$$\mathbf{S} = \boldsymbol{\varepsilon}^2 = (\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^2 \quad \dots (8)$$

Agar didapatkan *residual* yang minimum maka turunan pertama terhadap $\boldsymbol{\beta}$ harus sama dengan 0, sehingga:

$$\frac{d\mathbf{S}}{d\boldsymbol{\beta}} = -2\mathbf{X}(\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}) = \mathbf{0}$$

$$-2\mathbf{X}(\mathbf{Y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}) = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{X}\mathbf{Y} - \hat{\boldsymbol{\beta}}\mathbf{X}^2 = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{X}^T \mathbf{Y} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}}$$

$$\mathbf{X}^T \mathbf{Y} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \hat{\boldsymbol{\beta}}$$

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \hat{\boldsymbol{\beta}}$$

$$(\mathbf{x}^T \mathbf{x})^{-1} \mathbf{x}^T \mathbf{y} = \hat{\beta} \quad \dots (9)$$

(Sholihah *et al.*, 2021).

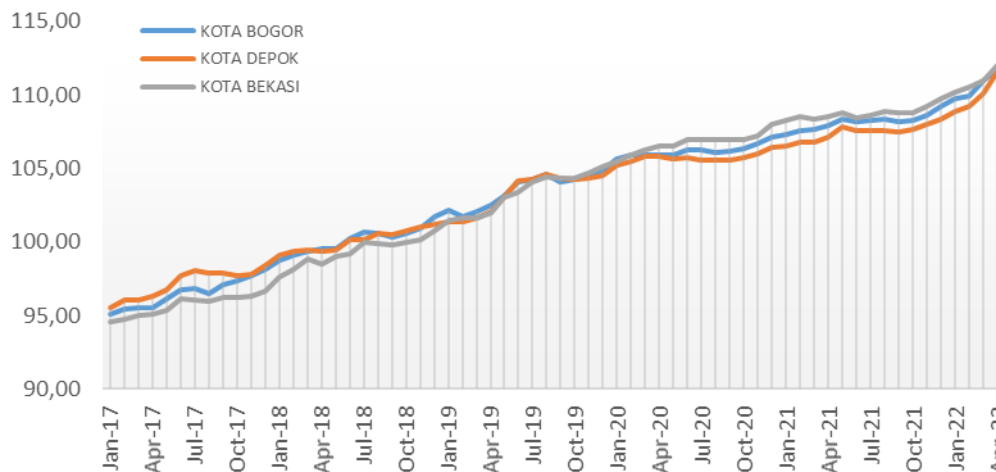
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Harga Konsumen (IHK) merupakan indeks yang menghitung rata-rata perubahan harga dari paket komoditas barang dan jasa yang umumnya dikonsumsi oleh rumah tangga. IHK digunakan untuk mengukur tingkat inflasi/deflasi (kenaikan/penurunan) harga barang dan jasa. Selama Januari 2017 hingga April 2022, IHK Kota Depok memiliki rata-rata dan keragaman series IHK terkecil. Hal ini dapat menandakan bahwa secara umum harga komoditas di Kota Depok cenderung tidak banyak mengalami perubahan harga dibandingkan Kota Bogor dan Bekasi. Sementara itu, Kota Bogor adalah kota yang memiliki rata-rata IHK tertinggi dan Kota Bekasi adalah kota yang memiliki keragaman IHK terbesar. Hal ini ditunjukkan dengan statistika deskriptif pada Tabel 1.

Tabel 1 Statistik Deskriptif IHK Umum di Kota Bogor, Depok dan Bekasi, Januari 2017 – April 2022

Kota	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Varians
Bogor	95.08	111.74	103.37	20.80
Depok	95.49	111.62	103.20	16.99
Bekasi	94.60	112.03	103.27	26.35

Jika melihat perkembangan IHK dari waktu ke waktu, IHK ketiga kota tersebut berfluktuatif dengan tren meningkat. Plot tersebut juga menunjukkan adanya kesamaan pola pergerakan harga baik di Kota Bogor, Depok, maupun Bekasi. Kesamaan pola tersebut bisa menjadi salah satu indikasi bahwa IHK di ketiga kota tersebut memiliki keterkaitan satu sama lain.



Gambar 1 Plot Series Data IHK Umum di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi, Januari 2017 – April 2022

Dalam pemodelan *Space-Time* terdapat asumsi dasar yang perlu dipenuhi yaitu wilayah pengamatan memiliki korelasi antarwilayah, memiliki kemiripan pola deret waktu, dan memiliki kedekatan lokasi. Identifikasi awal mengenai keterkaitan IHK antara Kota Bogor, Depok, dan Bekasi dapat dilakukan dengan melihat korelasinya. Pengujian korelasi dilakukan menggunakan *Pearson's product-moment correlation* dengan hipotesis *null* tidak ada korelasi antardaerah pengamatan.

Hipotesis: $H_0: \rho = 0$

$H_1: \rho \neq 0$

Keputusan tolak H_0 jika $p\text{-value} < 0,05$.

Tabel 2 Korelasi data IHK Umum Antara Kota Bogor, Depok dan Bekasi

Kota	Bogor	Depok	Bekasi
Bogor	1		
Depok	0.9968 (0.0000)	1	
Bekasi	0.9967 (0.0000)	0.9952 (0.0000)	1

Hasil perhitungan korelasi yang ditunjukkan pada Tabel 2 diketahui bahwa nilai korelasi antarkota baik antara Kota Bogor dan Depok, Bogor dan Bekasi, serta Depok dan Bekasi memiliki korelasi kuat dan positif. Kemudian dari hasil pengujian juga diketahui hipotesis *null* ditolak yang berarti secara signifikan ada korelasi antardaerah baik antara Bogor dan Depok, Bogor dan Bekasi, maupun Depok dan Bekasi.

Uji Stasioneritas Data

Langkah awal dalam pemodelan *Space-Time* adalah memeriksa kestasioneran data secara univariat baik stasioner terhadap rata-rata maupun ragam. Kestasioneran terhadap rata-rata dilakukan dengan Uji *Augmented Dickey-Fuller*. Pengujian dilakukan menggunakan hipotesis *null* bahwa data tidak stasioner dengan tingkat signifikansi 5 persen.

Hipotesis: $H_0: \gamma = 0$

$H_1: \gamma < 0$

Keputusan tolak H_0 jika $p\text{-value} < 0,05$.

Tabel 3 Korelasi data IHK Umum Antara Kota Bogor, Depok dan Bekasi

Kota	Sebelum <i>Differencing</i>		Setelah <i>Differencing</i>	
	P-value	Kesimpulan	P-value	Kesimpulan
Bogor	0.9113	Tidak Stasioner	0.01	Stasioner
Depok	0.6103	Tidak Stasioner	0.01	Stasioner
Bekasi	0.9552	Tidak Stasioner	0.01	Stasioner

Apabila data tidak stasioner terhadap rata-rata dapat diatasi dengan menggunakan *differencing*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data stasioner terhadap rata-rata setelah *differencing* sebanyak satu kali ($d=1$). Kestasioneran terhadap ragam dilakukan dengan memeriksa Box-cox Lambda. Jika nilai Box-Cox Lambda bernilai 1 atau mendekati 1, dapat dikatakan data stasioner terhadap ragam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Box-Cox Lambda untuk ketiga kota memiliki nilai di sekitar 1, sehingga dapat disimpulkan data IHK umum stasioner terhadap rata-rata dan ragam setelah *differencing* ($d=1$).

Tabel 4 Korelasi data IHK Umum Antara Kota Bogor, Depok dan Bekasi

Kota	Box-Cox Lambda	Kesimpulan
Bogor	1.038180	Stasioner
Depok	1.051792	Stasioner
Bekasi	0.998710	Stasioner

Penentuan Matriks Bobot

Matriks bobot merupakan matriks bujur sangkar yang memiliki entri-entri berupa bobot lokasi yang bersesuaian. Bobot untuk entri matriks pada model STARI biasanya ditentukan dengan memperhatikan sifat-sifat fisik atau karakteristik misalnya luas wilayah, kepadatan penduduk, batas antara dua lokasi, atau sarana transportasi, dimana setiap bobot tersebut tidak tergantung pada waktu.

Matriks bobot yang digunakan dalam penelitian ini yakni pembobot sepejarak kuadrat dan bobot koreksi silang. Penentuan bobot sepejarak kuadrat ditentukan oleh jarak lokasi di sekitar suatu lokasi tertentu (Suryamah, Ruchjana and Joebaedi, 2013).

$$a_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^2}, \sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad \dots (10)$$

dengan d_{ij} adalah jarak antara lokasi i dan j .

Penentuan bobot lokasi dapat dilakukan melalui normalisasi dari hasil besar-besaran korelasi silang antar lokasi pada waktu yang bersesuaian. Secara umum menghasilkan bobot lokasi sebagai berikut (Suhartono and Subanar, 2006; Sohiebien, 2017):

$$w_{ij} = \frac{r_{ij}(k)}{\sum_{i=1}^n r_{ii}(k)}, \text{ dengan } i \neq j \text{ dan } i \neq 1 \quad \dots (11)$$

Tabel 5 Jarak (km) antar lokasi

Kota	Bogor	Depok	Bekasi
Bogor	0	32,9	53,4
Depok	32,9	0	39,0
Bekasi	53,4	39,0	0

Berdasarkan jarak antar lokasi pada Tabel 5, didapatkan matriks bobot sebagai berikut:

Bobot sepejarak kuadrat:

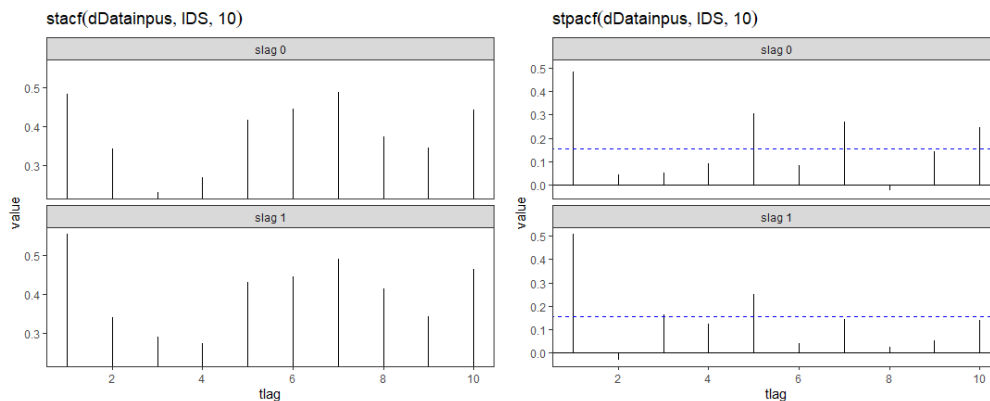
$$W_{ids} = \begin{pmatrix} 0 & 0.725 & 0.275 \\ 0.584 & 0 & 0.416 \\ 0.348 & 0.652 & 0 \end{pmatrix}$$

Bobot korelasi silang:

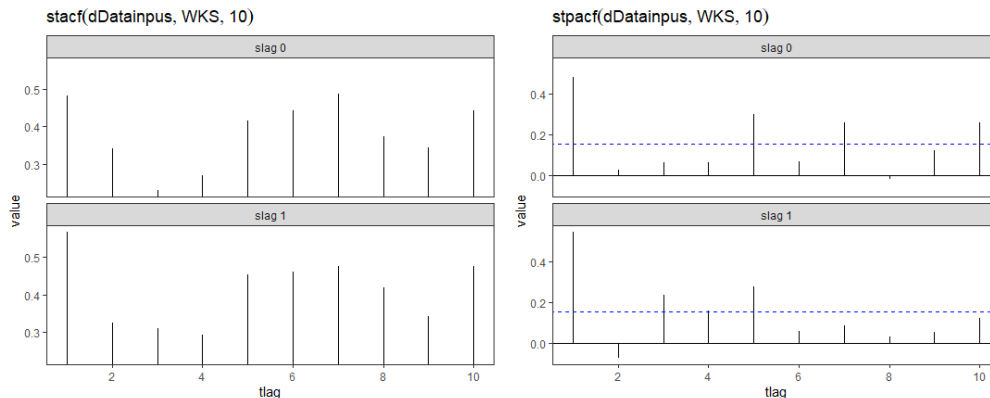
$$W_{ks} = \begin{pmatrix} 0 & 0.498 & 0.502 \\ 0.499 & 0 & 0.501 \\ 0.501 & 0.499 & 0 \end{pmatrix}$$

Identifikasi Model

Identifikasi awal orde lag waktu dan lag spasial dilakukan berdasarkan plot STACF dan STPACF menggunakan data yang telah stasioner dan bobot yang telah ditentukan. Plot STACF dan STPACF dapat memberikan informasi mengenai autokorelasi dan autokorelasi parsial dari data yang sudah melibatkan unsur ketergantungan spasial dengan melibatkan matriks bobot spasial dalam perhitungannya. Berdasarkan Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa plot STACF dan STPACF baik menggunakan bobot sepejarak kuadrat maupun bobot korelasi silang memiliki pola yang sama.



Gambar 2 Plot STACF dan STPACF dengan bobot sepejarak kuadrat



Gambar 3 Plot STACF dan STPACF dengan bobot korelasi silang

Plot STACF menunjukkan pola *dies down sinusoidal* atau menurun secara perlahan dan memiliki bentuk gelombang sinus. Sementara itu, pada plot STPACF terjadi *cut off* baik pada lag spasial 0 dan lag spasial 1. Penelitian ini akan menggunakan lag spasial 1 dengan pertimbangan wilayah penelitian masih berada dalam satu provinsi (Ruchjana, 2019). Pada plot STPACF lag spasial 1 terdapat beberapa kemungkinan lag waktu *autoregressive* (AR) yaitu pada orde ke-1, ke-3, dan ke-5. Untuk menentukan orde optimal akan digunakan pendekatan VAR dengan nilai AIC, BIC dan HQ yang terkecil.

Tabel 6 Nilai AIC, BIC, dan HQ

Lag	AIC	BIC	HQ
AR(1)	-8.120225	-7.791752	-7.993202
AR(3)	-7.902593	-6.917175	-7.521524
AR(5)	-8.309657	-6.667293	-7.674541

Berdasarkan nilai AIC terkecil orde AR optimal adalah AR(5), namun berdasarkan nilai BIC dan HQ terkecil orde optimal adalah AR(1). Oleh karena itu, dapat disimpulkan orde optimal yang akan digunakan adalah AR(1). Menurut Wei (2019), apabila nilai estimasi ACF menunjukkan pola menurun secara perlahan dan nilai estimasi PACF membentuk pola *cut off* pada lag 1 serta adanya proses *differencing* sebanyak 1 kali maka data tersebut dapat dibentuk menjadi model ARI(1,1). Kemudian lag spasial yang digunakan adalah lag spasial 1, artinya posisi Kota Bogor, Depok dan Bekasi berada dalam satu wilayah. Oleh karena itu model yang terbentuk untuk peramalan data IHK adalah model STARI (1,1,1).

Penaksiran Parameter STARI (1,1,1) Untuk Data IHK

Setelah diketahui bahwa data telah stasioner dan sudah dilakukan identifikasi model didapatkan model STARI (1,1,1). Berikut hasil estimasi parameter model STARI (1,1,1) berdasarkan metode OLS:

Penaksiran parameter dengan bobot seperjarak kuadrat

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1(t) \\ \hat{y}_2(t) \\ \hat{y}_3(t) \end{bmatrix} = 0.095164 \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \end{bmatrix} + 0.500689 \begin{bmatrix} 0 & 0.725 & 0.275 \\ 0.584 & 0 & 0.416 \\ 0.348 & 0.652 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \end{bmatrix} \quad \dots (12)$$

Penaksiran parameter dengan bobot korelasi silang

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_1(t) \\ \hat{y}_2(t) \\ \hat{y}_3(t) \end{bmatrix} = 0.06701 \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \end{bmatrix} + 0.53956 \begin{bmatrix} 0 & 0.498 & 0.502 \\ 0.499 & 0 & 0.501 \\ 0.501 & 0.499 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \end{bmatrix} \quad \dots (13)$$

Pemilihan Model Terbaik

Kriteria yang digunakan untuk melihat model yang terbaik yaitu dengan melihat nilai BIC dan HQ. Model yang mempunyai nilai BIC dan HQ terkecil dapat disimpulkan bahwa model tersebut

merupakan model yang terbaik. Berikut ini merupakan perbandingan model yang diringkas dalam tabel berikut:

Tabel 7 Nilai BIC dan HQ Model STARI (1,1,1) Berdasarkan Bobot

Bobot	BIC	HQ
Seperjarak Kuadrat	109.9219	0.3260599
Korelasi Silang	107.1023	0.3230321

Pada Tabel 7 terlihat hasil BIC dan HQ dari bobot koreksi silang lebih kecil dibandingkan bobot seperjarak kuadrat. Jadi model terbaik adalah STARI (1,1,1) dengan bobot korelasi silang. Model STARI (1,1,1) untuk setiap kota:

- Kota Bogor

$$\hat{y}_1(t) = 0.06701 y_1(t-1) + 0.268701 y_2(t-1) + 0.270859 y_3(t-1) \quad \dots (14)$$

- Kota Depok

$$\hat{y}_2(t) = 0.26924 y_1(t-1) + 0.06701 y_2(t-1) + 0.27032 y_3(t-1) \quad \dots (15)$$

- Kota Bekasi

$$\hat{y}_3(t) = 0.27032 y_1(t-1) + 0.26924 y_2(t-1) + 0.06701 y_3(t-1) \quad \dots (16)$$

dengan: $y_i(t) = z_i(t) - z_i(t-1)$.

Model STARI (1,1,1) pada persamaan (14) dapat diinterpretasikan sebagai perubahan IHK di Kota Bogor dipengaruhi oleh IHK di Kota Bogor itu sendiri pada periode sebelumnya sebesar 0,0670, IHK Kota Depok periode sebelumnya sebesar 0,2687, dan IHK Kota Bekasi dari periode sebelumnya sebesar 0,2706. Koefisien ini menunjukkan interaksi antar lokasi pengamatan untuk digunakan pada peramalan IHK di waktu mendatang.

Pemeriksaan Diagnostik Residual

Penilaian kelayakan penggunaan model terbaik yang sudah diduga memerlukan pemeriksaan diagnostik. Pemeriksaan diagnostik dilakukan dengan memeriksa apakah residual suatu penduga model telah memenuhi asumsi *white noise*, homogen dan menyebar normal. Pengujian asumsi *white noise* menggunakan uji Portmanteau dengan memodelkan kembali residual yang diperoleh dari model untuk setiap lokasi. Pengujian homoskedastisitas menggunakan uji ARCGH-LM dengan pengujian kesalahan kuadrat model pada setiap pembobotan. Serta melakukan pengujian asumsi multivariat normal menggunakan uji Mardia *skewness* dan kurtosis (Permatasari *et al.*, 2022). Hasil pemeriksaan diagnostik residual disajikan pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Hasil pemeriksaan diagnostik residual

Asumsi	Kriteria	p-value
Uji Asumsi Normalitas	Mardia Skewness	0.6607
	Mardia Kurtosis	0.9975
Uji Asumsi Homoskedastisitas	LM Test	0,1363
Uji Asumsi White Noise	Lag 1	0,2413
	Lag 5	0,1082
	Lag 15	0,7031

Tabel 8 menunjukkan semua uji signifikan karena nilai *p-value* yang diperoleh dari setiap uji lebih besar dari $\alpha = 5\%$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa residual model STARI (1,1,1) yang menggunakan bobot koreksi silang bersifat *white noise*, homogen dan berdistribusi multivariat normal.

Peramalan dan Pemeriksaan Akurasi

Model STARI (1,1,1) dengan bobot koreksi silang merupakan model terbaik untuk meramalkan IHK pada tiga kota. Dari hasil penaksiran parameter, model peramalan dari setiap lokasi adalah sebagai berikut.

- Kota Bogor

$$\hat{z}_1(t) = 1.06701z_1(t-1) - 0.06701z_1(t-2) + 0.268701z_2(t-1) - 0.268701z_2(t-2) + 0.270859z_3(t-1) - 0.270859z_3(t-2) \quad \dots (17)$$

- Kota Depok

$$\hat{z}_2(t) = 0.26924(z_1(t-1) - z_1(t-2)) + 0.06701(z_2(t-1) - z_2(t-2)) + 0.27032(z_3(t-1) - z_3(t-2)) + z_2(t-1) \quad \dots (18)$$

- Kota Bekasi

$$\hat{z}_3(t) = 0.27032(z_1(t-1) - z_1(t-2)) + 0.26924(z_2(t-1) - z_2(t-2)) + 0.06701(z_3(t-1) - z_3(t-2)) + z_3(t-1) \quad \dots (19)$$

Berdasarkan ketiga persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa:

- IHK Kota Bogor pada suatu periode dibentuk oleh IHK periode sebelumnya dari Kota Bogor itu sendiri, Kota Depok dan Kota Bekasi, serta dipengaruhi oleh IHK pada dua periode sebelumnya dari Kota Bogor, Kota Depok, dan Kota Bekasi. Dari koefisien Kota Depok dan Kota Bekasi diketahui bahwa pengaruh IHK Kota Bekasi lebih besar dari pada IHK Kota Depok terhadap IHK Kota Bogor.
- IHK Kota Depok pada suatu periode dibentuk oleh IHK periode sebelumnya dari Kota Depok itu sendiri, Kota Bogor dan Kota Bekasi, serta dipengaruhi oleh IHK pada dua periode sebelumnya dari Kota Depok, Kota Bogor, dan Kota Bekasi. Dari koefisien Kota Bogor dan Kota Bekasi diketahui bahwa pengaruh IHK Kota Bekasi lebih besar dari pada IHK Kota Bogor terhadap IHK Kota Depok.
- IHK Kota Bekasi pada suatu periode dibentuk oleh IHK periode sebelumnya dari Kota Bekasi itu sendiri, Kota Bogor dan Kota Depok, serta dipengaruhi oleh IHK pada dua periode sebelumnya dari Kota Bekasi, Kota Bogor, dan Kota Depok. Dari koefisien Kota Bogor dan Kota Depok diketahui bahwa pengaruh IHK Kota Bogor lebih besar dari pada IHK Kota Depok terhadap IHK Kota Bekasi.

Perbandingan hasil ramalan dengan data aktual data IHK Umum di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi terlihat pada Tabel 9. Hasil peramalan menggunakan data *training* untuk memperkirakan IHK di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi pada bulan September 2021 – April 2022. Nilai hasil peramalan menunjukkan nilai yang terus meningkat sejalan dengan data aktual yang juga terus meningkat.

Tabel 9 Perbandingan Hasil Ramalan dengan Data Aktual Data IHK Umum Di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi, September 2021 – April 2022

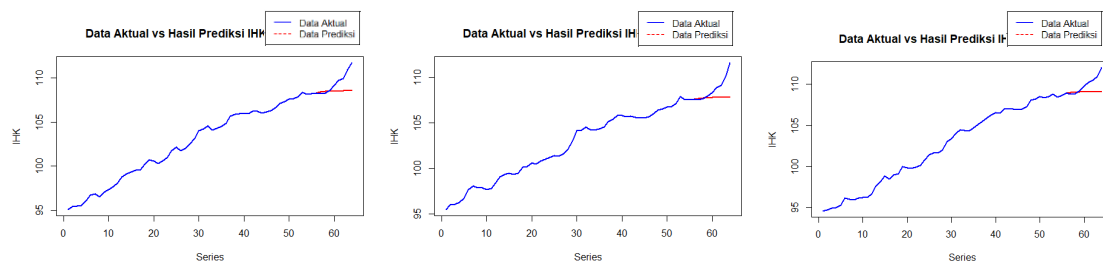
Waktu	Kota Bogor		Kota Depok		Kota Bekasi	
	Hasil Ramalan	Data Aktual	Hasil Ramalan	Data Aktual	Hasil Ramalan	Data Aktual
September 2021	108.4153	108.21	107.6912	107.52	108.9686	108.78
Oktober 2021	108.4647	108.30	107.7395	107.68	109.0255	108.83
November 2021	108.4964	108.58	107.7715	107.98	109.0557	109.18
Desember 2021	108.5153	109.19	107.7903	108.34	109.0749	109.77
Januari 2022	108.5269	109.77	107.8018	108.87	109.0864	110.20
Februari 2022	108.5338	109.91	107.8088	109.18	109.0933	110.54
Maret 2022	108.5381	110.98	107.8130	110.11	109.0976	110.96
April 2022	108.5406	111.74	107.8156	111.62	109.1001	112.03

Data hasil peramalan dibandingkan dengan data aktual untuk menentukan akurasi model berdasarkan nilai MAPE. Berdasarkan data peramalan IHK periode September 2021 – April 2022 di Kota Bogor dengan persamaan (12) mendapatkan MAPE sebesar 2,8283 persen. Sedangkan, data peramalan di Kota Depok menggunakan persamaan (13), dan Kota Bekasi menggunakan persamaan (14) masing-masing mendapatkan MAPE sebesar 2,8822 persen dan 2,5710 persen. Secara keseluruhan, ketiga model menghasilkan nilai MAPE 2,7605 persen.

Tabel 10 Nilai MAPE Model STARI(1,1,1)

Provinsi	MAPE
Bogor	2.8283%
Depok	2.8822%
Bekasi	2.5710%
Keseluruhan	2.7605%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model STARI (1,1,1) dengan pembobot koreksi silang pada persamaan (12), (13), dan (14) memiliki kemampuan peralaman sangat baik dalam meramalkan data IHK Umum di Kota Bogor, Depok, dan Bekasi karena nilai MAPE kurang dari 10 persen. Selain melihat akurasi hasil peramalan melalui MAPE, penting untuk melihat akurasi peramalan melalui plot antara hasil peramalan dan data aktual.



Gambar 4 Plot deret waktu data IHK dan data peramalan model STARI (1,1,1)

Pada Gambar 4, terlihat hasil peramalan untuk setiap lokasi memiliki plot yang hampir mendekati plot data aktualnya pada jangka pendek yaitu sampai bulan ke-3. Namun semakin panjang interval waktu yang diramalkan, plot hasil peramalan semakin jauh dari data aktual. Hal ini menunjukkan bahwa model Model STARI (1,1,1) dapat digunakan untuk meramalkan data IHK di Kota Bogor, Bekasi dan Depok di waktu mendatang dengan melibatkan interaksi antar lokasi pengamatan dalam jangka pendek dengan MAPE < 10%.

4. SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Model STAR terbaik dalam meramalkan IHK umum di Kota Bogor, Kota Depok, dan Kota Bekasi adalah model STARI (1,1,1) dengan menggunakan bobot korelasi silang.
2. Model STARI (1,1,1) memenuhi asumsi multivariat normal, asumsi white noise, dan asumsi homoskedastisitas.
3. Hasil peramalan menggunakan model STARI (1,1,1) memenuhi kriteria sangat akurat untuk jangka pendek, ditunjukkan oleh nilai MAPE untuk setiap kota < 10%.
4. Berdasarkan perbandingan plot hasil peramalan dan data aktual diketahui bahwa hasil peramalan sejalan dan mendekati data aktual hingga bulan ke-3, sehingga dapat disimpulkan bahwa peramalan dengan model STARI (1,1,1) akan baik dilakukan untuk jangka pendek yaitu 1-3 bulan ke depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Padjadjaran yang telah memberikan dukungan dana untuk diseminasi hasil penelitian dosen dan mahasiswa melalui Academic Leadership Grant dengan nomor kontrak: 2203/UN6.3.1/PT.00/2022 serta Pusat Studi Pemodelan dan Komputasi FMIPA Universitas Padjadjaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah, M., Kusuma, D. A. and Ruchjana, B. N. (2020) 'Model Space Time Autoregressive Integrated (Stari(2,1,1)) Untuk Data Debit Air Sungai Citarum Di Provinsi Jawa Barat', *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 14(1), pp. 147-158. doi: 10.30598/barekengvol14iss1pp147-158.
- Badan Pusat Statistik (2022) *Indeks Harga Konsumen*. Available at: <https://sirusa.bps.go.id/sirusa/index.php/indikator/52>.
- Desvina, A. P. and Desmita, E. (2015) 'Penerapan Metode Box-Jenkins Dalam Meramalkan Indeks Harga Konsumen Di Kota Pekanbaru', *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 1(1), pp. 39-47.
- Dyahrini, W. and Rachman, I. (2012) 'Pengaruh inflasi terhadap perekonomian di kotamadya dan kabupaten Bandung berdasarkan persepsi produsen dan konsumen'.
- Permatasari, N. P. *et al.* (2022) 'Application of GSTARI (1,1,1) Model for Forecasting the Consumer Price Index (CPI) in Three Cities in Central Java', *Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika*, 6(1), pp. 134-143.
- Pfeifer, P. E. and Deutch, S. J. (1980) 'A three-stage iterative procedure for space-time modeling phillip', *Technometrics*, 22(1), pp. 35-47.
- Ruchjana, B. N. (2019) 'Pengembangan Model Spatio Temporal dan Aplikasinya', *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, 2(1), pp. 1-19.
- Sholihah, F. *et al.* (2021) 'Penerapan Model Space Time Autoregressive Integrated (STARI (1 , 1 , 1)) Pada Data NTP Tanaman Pangan Dari Tiga Provinsi Di Pulau Jawa', pp. 6-7.
- Sohibien, G. P. D. (2017) 'Perbandingan Model Star Dan Gstar Untuk Peramalan Inflasi Dumai, Pekanbaru, dan Batam', *Statistika*, 5(1), pp. 14-26.
- Suhartono, S. and Subanar, S. (2006) 'The optimal determination of space weight in GSTAR model by using cross-correlation inference', *Quant. Methods*, 2(2), pp. 45-53.
- Suryamah, E., Ruchjana, B. N. and Joebaedi, K. (2013) 'Kajian Matriks Bobot Lokasi Model Space Time Autoregresi (STAR)', *Jurnal Matematika Integratif*, 9(2), p. 119. doi: 10.24198/jmi.v9i2.10188.
- Wei, W. W. (2019) *Multivariate Time Series Analysis and Application*. Wiley-Interscience.
- Wibowo, A. (2018) 'Model Peramalan Indeks Harga Konsumen Kota Palangka Raya Menggunakan Seasonal ARIMA (SARIMA)', *Matematika*, 17(2), pp. 17-24. doi: 10.29313/jmtm.v17i2.3981.
- Zulky, M., Amri, A. and Si, M. (2020) 'Perbandingan Model STAR dan GSTAR untuk Peramalan Indeks Harga Konsumen di Kota Padang, Pekanbaru, Jambi, dan Palembang', *Media Edukasi Data Ilmiah dan Analisis (MEDIAN)*, 3(01), pp. 29-38.