

**MODEL *GENERALIZED SPACE TIME AUTOREGRESSIVE (GSTAR)*
DALAM MERAMALKAN NILAI EKSPOR MENGGUNAKAN METODE
*MAXIMUM LIKELIHOOD***

(Skripsi)

Oleh

RITA MARTINA SARI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

GENERALIZED SPACE TIME AUTOREGRESSIVE (GSTAR) MODEL FOR FORECASTING EXPORT VALUE USING THE MAXIMUM LIKELIHOOD METHOD

By

RITA MARTINA SARI

Export is one of the main contributors to Indonesia's foreign exchange reserves and plays an important role in the economy. According to the Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) Model, the STAR model assumes that the autoregressive parameters and space time for each location must be different or heterogeneous. This study aims to determine the best GSTAR model consisting of normalized cross correlation weights and distance inverse location weights using the maximum likelihood method. Furthermore, the GSTAR model is applied to forecast export values in the Provinces of Lampung, Jambi and West Sumatra. Based on the results of the analysis with the help of software R, the best model results are $GSTAR(1_1) I(1)$ with inverse distance location weights. This model provides the best level of accuracy in predicting export values in Lampung Province.

Keywords: Generalized Space-Time Autoregressive (GSTAR), Maximum-Likelihood, Export Value, Forecasting.

ABSTRAK

MODEL *GENERALIZED SPACE TIME AUTOREGRESSIVE* (GSTAR) DALAM MERAMALKAN NILAI EKSPOR MENGGUNAKAN METODE *MAXIMUM LIKELIHOOD*

Oleh

RITA MARTINA SARI

Ekspor adalah salah satu penyumbang utama cadangan devisa Indonesia dan memainkan peran penting dalam perekonomian. Menurut Model Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR), model STAR memiliki asumsi parameter autoregressive dan space time setiap lokasi harus berbeda atau heterogen.. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model GSTAR terbaik yang terdiri dari bobot normalisasi korelasi silang dan bobot lokasi invers jarak menggunakan metode *maximum likelihood*. Untuk lebih jauhnya model GSTAR diterapkan untuk meramalkan nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat. Berdasarkan hasil analisis dengan bantuan *software R* diperoleh hasil model terbaik adalah $GSTAR(1_1) I(1)$ dengan bobot lokasi invers jarak.. Model ini memberikan tingkat akurasi terbaik dalam meramalkan nilai ekspor di Provinsi Lampung.

Kata kunci: Model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR), *Maximum Likelihood*, Nilai Ekspor, Peramalan.

**MODEL *GENERALIZED SPACE TIME AUTOREGRESSIVE (GSTAR)*
DALAM MERAMALKAN NILAI EKSPOR MENGGUNAKAN METODE
*MAXIMUM LIKELIHOOD***

Oleh

**RITA MARTINA SARI
1617031112**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA MATEMATIKA**

Pada

**Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **MODEL GENERALIZED SPACE TIME
AUTOREGRESSIVE (GSTAR) DALAM
MERAMALKAN NILAI EKSPOR
MENGGUNAKAN METODE MAXIMUM
LIKELIHOOD**

Nama Mahasiswa : **Rita Martina Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617031112

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Drs. Mustofa, M.A., Ph.D.
NIP. 19570101 198403 1 020

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP. 19740316 200501 1 001

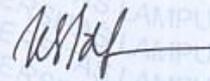
2. Ketua Jurusan Matematika

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP. 19740316 200501 1 001

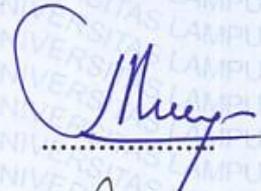
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

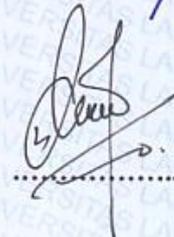
Ketua : Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D.



Sekretaris : Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.



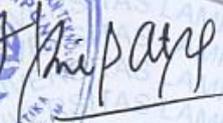
**Penguji
Bukan Pembimbing : Dian Kurniasari, S.Si., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 21 Juni 2023

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : **Rita Martina Sari**
Nomor Pokok Mahasiswa : **1617031112**
Jurusan : **Matematika**
Judul : **Model *Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR)* Dalam Meramalkan Nilai Ekspor Menggunakan Metode *Maximum Likelihood***

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil pekerjaan saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya bukan merupakan hasil yang telah dipublikasikan atau ditulis orang lain atau telah dipergunakan dan diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada universitas atau institut lain dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Yang Menyatakan,



Rita Martina Sari
NPM. 1617031112

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rita Martina Sari, anak tunggal yang dilahirkan di Desa Subing Jaya Lampung Timur pada tanggal 2 Maret 1998 dari pasangan Bapak Mujiyanto dan Ibu Lilik Susanti. Namun dirawat dan dibesarkan oleh bapak sambung yaitu Bapak Hendro Wibowo dan Ibu Lilik Susanti.

Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Pertiwi Rajabasa Lama pada tahun 2004, pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 1 Rajabasa Lama pada tahun 2010, pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 1 Labuhan Ratu pada tahun 2013, pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMAN 1 Way Jepara pada tahun 2016. Kemudian penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif sebagai anggota GEMATIKA Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) FMIPA Unila pada periode 2016/2017. Pada tahun 2017 penulis aktif sebagai anggota Biro Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Matematika dan pada tahun 2018 penulis aktif sebagai Kepala Biro Kesekretariatan Himpunan Mahasiswa Matematika. Penulis juga pernah aktif sebagai anggota volunteer Komunitas *Earth Hour* (EH) Bandar Lampung pada tahun 2019 dan 2020.

Sebagai bentuk penerapan ilmu perkuliahan, penulis telah melakukan Kerja Praktik (KP) selama 40 hari di PT Great Giant Pineapple Lampung Timur pada tahun 2019. Pada tahun yang sama, sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Way Limau, Kecamatan Negeri Agung, Kabupaten Way Kanan.

KATA INSPIRASI

**“FA INNA MA’AL-‘USRI YUSROO
INNA MA’AL-‘USRI YUSROO”**

(Q.S AL-INSYIRAH 94 : 5-6)

“ALLAH SWT MAHA BAIK”

*“Stop Comparing Yourself To Other People’s Achievements And
Focus On Your Own Goals”*

(Park Jongseong (Jay) ENHYPEN)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah atas Rahmat Allah SWT
kupersembahkan skripsi ini untuk:

Kedua Orangtua tercinta ayahanda Hendro Wibowo dan ibunda
Lilik Susanti

Nenek tercinta Ibu Wartinem dan Kakak Sepupu Andre Yongki
Pratama

Teman dan Sahabat tersayang

*Terima kasih atas semua dukungan dan do'a yang tak pernah putus
menyertaiku serta sudah menjadi sumber kebahagiaan dan semangat di
setiap langkah dan perjalanan hidupku.*

SANWACANA

Al-hamdu lillaahi robbil-‘aalamiin, Segala puji bagi Tuhan Yang Maha ESA yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Model *Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) Dalam Meramalkan Nilai Ekspor Menggunakan Metode *Maximum Likelihood****”. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan yang baik sepanjang masa.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menuturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D., selaku dosen pembimbing 1 skripsi yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, dan waktu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku pembimbing 2 skripsi yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dian Kurniasari, S.Si., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan kepada penulis.
4. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, arahan selama perkuliahan.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si, selaku Dekan FMIPA UNILA.
7. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis.

8. Ayah Hendro Wibowo dan Ibu Lilik Susanti serta nenek tercinta Ibu Wartinem dan kakak sepupu Andre Yongki Pratama yang tidak pernah berhenti memberikan do'a dan dukungan kepada penulis.
9. KITIDIRIMEL Squad (Rizky Kartika, Septia W, Diah Ayu, dan Imelda A) dan The Wonder Squad (Lady Yohana, Mahsa Vania, dan Maria Ulfa) selaku sahabat-sahabat yang selalu memberikan semangat selama penulis mengerjakan skripsi.
10. Teman-teman kelas C Matematika 2016 dan seluruh mahasiswa Matematika 2016 selaku teman seperjuangan selama masa kuliah.
11. Seluruh pihak yang telah berperan baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun agar dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Penulis,

Rita Martina Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nilai Ekspor	4
2.2 Data Deret Waktu (<i>Time Series</i>)	4
2.2.1 Deret Waktu Multivariat (<i>Multivariate Time Series</i>)	5
2.3 Uji Stasioneritas Data	5
2.3.1 Kestasioneran	5
2.3.2 Uji <i>Augmented Dickey Fuller</i> (ADF)	6
2.4 Model <i>Generalized Space Time Autoregressive</i> (GSTAR)	9
2.5 Bobot Lokasi Pada Model GSTAR	10
2.5.1 Bobot Seragam (<i>Uniform</i>)	10
2.5.2 Bobot Invers Jarak (<i>Inverse Space</i>)	10
2.5.3 Bobot Normalisasi Korelasi Silang	11
2.6 Estimasi Parameter	12
2.6.1 Estimasi Parameter GSTAR dengan Metode <i>Maximum Likelihood</i>	13
2.7 Uji Kelayakan Model GSTAR	16

2.7.1	Uji <i>White Noise</i>	16
2.7.2	Uji Normalitas Multivariat.....	17
2.8	Validasi Model GSTAR.....	18
2.8.1	<i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	18
2.8.2	<i>Mean Absolute Percent Error</i> (MAPE).....	19

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2	Data Penelitian.....	20
3.3	Metode Penelitian	21

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Deskriptif	23
4.2	Stasioneritas Data	25
4.3	<i>Differencing</i>	27
4.4	Pembentukan Model GSTAR.....	29
4.4.1	Penentuan Orde Model GSTAR.....	29
4.4.2	Perhitungan Matriks Pembobot Lokasi Model GSTAR	30
4.4.3	Estimasi Parameter Model GSTAR(1 ₁) I(1)	34
4.4.4	Uji Kelayakan Model GSTAR	39
4.4.5	Pemilihan Model GSTAR Terbaik	40
4.5	Peramalan Data Nilai Ekspor	41

V.	KESIMPULAN	44
----	------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1 Data nilai ekspor	21
Tabel 2 Statistik Deskriptif Data Nilai Ekspor	23
Tabel 3 Koefisien Korelasi Data Nilai Ekspor antar Lokasi	25
Tabel 4 Uji ADF Data Nilai Ekspor dengan <i>p-value</i>	27
Tabel 5 Uji ADF Differencing (1) Data Nilai Ekspor dengan <i>p-value</i>	29
Tabel 6 Nilai AIC untuk Model VAR.....	30
Tabel 7 Jarak Antar Lokasi	31
Tabel 8 Nilai Estimasi Parameter Bobot Invers Jarak	36
Tabel 9 Nilai Estimasi Parameter Bobot Normalisasi Korelasi Silang.....	37
Tabel 10 Hasil Uji Ljung-Box dengan <i>p-value</i>	40
Tabel 11 Nilai RMSE dan MAPE	40
Tabel 12 Hasil Peramalan Nilai Ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat Januari 2022 – Desember 2022	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Plot Time Series Data Nilai Ekspor di Tiga Lokasi Secara Bersamaan.....	24
Gambar 2. Plot ACF Data Ekspor Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat	26
Gambar 3. Plot Differencing (1) Data Nilai Ekspor	28
Gambar 4. Grafik Nilai Ekspor Provinsi Lampung	42
Gambar 5. Grafik Nilai Ekspor Provinsi Jambi.....	42
Gambar 6. Grafik Nilai Ekspor Provinsi Sumatera Barat	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Saat ini, perdagangan internasional telah berkembang dengan cepat. Perkembangan perdagangan internasional dapat dilihat dari lebih banyaknya transaksi bisnis antar negara. Perdagangan internasional merupakan bagian dari ekonomi yang terlibat penting dalam mempercepat pertumbuhan ekonomi Indonesia, perdagangan internasional yang meliputi ekspor dan impor, yang selalu terjadi di seluruh dunia untuk memenuhi kebutuhan barang dan jasa orang-orangnya. Ekspor memainkan peran penting dalam perekonomian dan merupakan salah satu sumber cadangan devisa Indonesia. Produk yang diekspor Indonesia ke berbagai negara ada beraneka ragam jenisnya antara lain produk manufaktur, pertanian, dan industri.

Dari berbagai wilayah di Indonesia dipilih 3 provinsi yang ada di pulau Sumatera. Yaitu provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat yang akan dijadikan sebagai data pendekatan pada penelitian ini. Peramalan data deret waktu berkala juga disebut analisis data deret waktu berkala multivariat dan sering digunakan untuk menganalisis beberapa parameter yang saling berhubungan dengan data. Ini adalah metode analisis data yang mempertimbangkan pengaruh waktu.

Data yang menggabungkan keterkaitan waktu dan lokasi pada data runtun waktu multivariat, model *Space Time* digunakan. Ada beberapa model *Space Time*, pada tahun 1980, Pfeifer & Deutch memperkenalkan salah satu model *Space Time* yaitu *Space Time Autoregressive* (STAR). Tetapi salah satu kelemahan model STAR adalah kecenderungannya untuk tidak fleksibel di tempat-tempat dengan

karakteristik yang berbeda. Untuk mengatasi kelemahan ini, model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR), yang merupakan model STAR dengan asumsi bahwa parameter *autoregressive* dan parameter *space time* masing-masing lokasi harus berbeda untuk memastikan bahwa model ini dapat digunakan dengan benar pada lokasi yang dianggap memiliki keberagaman atau heterogen yang diperkenalkan oleh Borovka, Lopuhaa dan Ruchjana pada tahun 2002. Suatu sistem bobot lokasi digunakan pada model dengan data *space time* untuk mengidentifikasi keterkaitan antar lokasi. Nilai bobot lokasi dapat dihitung dengan empat cara, menurut Ruchjana yaitu bobot seragam, bobot biner, bobot normalisasi korelasi silang, dan bobot invers jarak.

Penelitian ini merujuk pada penelitian terdahulu tentang pengaruh inflasi terhadap impor dan ekspor di Provinsi Riau dan Kepulauan Riau menggunakan GSTAR (Rezzy dkk, 2016). Penelitian terkait yang menggunakan objek nilai ekspor yaitu penerapan metode ARIMA pada peramalan nilai ekspor di Indonesia (Wiwin dan Manuharawati, 2018). Juga pernah dilakukan penelitian tentang peramalan nilai ekspor Indonesia dengan menggunakan metode dekomposisi (Rosita dan Estuningsih, 2018). Untuk mengetahui keterkaitan jumlah nilai ekspor di provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat serta mempertimbangkan efek lokasi atau spasial digunakan pemodelan *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*. Model GSTAR adalah model ruang dan waktu dimana pembobotan lokasi menunjukkan keterkaitan antar ruang. sehingga digunakan bobot invers jarak dan bobot normalisasi korelasi silang.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menentukan model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) jumlah nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat

menggunakan bobot normalisasi korelasi silang dan invers jarak dengan metode *Maximum Likelihood*.

- b. Menerapkan model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) terbaik berdasarkan pembobot yang digunakan untuk mendapatkan hasil peramalan jumlah nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah informasi dan pengetahuan mengenai analisis deret waktu multivariat menggunakan model ruang-waktu *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) dengan normalisasi korelasi silang dan pembobot invers jarak. Dan sebagai acuan oleh peneliti lain dalam melakukan estimasi model GSTAR baik dari kelebihan maupun kelemahan. Serta sebagai sarana untuk meningkatkan pengetahuan tentang cara menggunakan model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR) pada data nilai ekspor, dan juga dapat digunakan sebagai referensi untuk analisis statistik matematik lainnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nilai Ekspor

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 tahun 2009, ekspor berarti mengeluarkan barang dari daerah pabean. Daerah pabean termasuk wilayah darat, perairan, dan ruang udara di atasnya, serta beberapa area di Zona Eksklusif dan landas kontinen dengan memenuhi ketentuan dan peraturan yang berlaku.. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), nilai transaksi barang ekspor sampai di atas kapal pelabuhan muat dalam keadaan Free On Board (FOB) disebut sebagai nilai ekspor.

2.2 Data Deret Waktu (*Time Series*)

Menurut Cryer (1986), data deret waktu juga dikenal sebagai *time series*, adalah data yang disusun berdasarkan urutan waktu yang berurutan. Waktu yang digunakan untuk pengambilan data dapat berupa minggu, bulan, atau tahun, tetapi jenis waktu lainnya dapat digunakan. *Time Series* adalah sekumpulan data pengamatan yang berasal dari satu sumber tetap dan terjadi secara berurutan dengan interval waktu yang tetap dan didasarkan pada indeks waktu t .. Pemodelan data *time series* univariat dan multivariat adalah dua kategori umum. Dalam model multivariat peramalan data, beberapa variabel digunakan secara

bersamaan untuk mendapatkan keakuratan peramalan. Sebaliknya, dalam model univariat, suatu variabel hanya didasarkan pada nilai variabel sebelumnya.

2.2.1 Deret Waktu Multivariat (*Multivariate Time Series*)

Pemodelan rangkaian waktu multivariat memodelkan peubah yang berkorelasi dan tercatat dari waktu ke waktu dalam data deret waktu yang memiliki dua atau lebih peubah. Tujuan utama pemodelan ini adalah menemukan estimasi fungsi yang tepat sehingga fungsi tersebut dapat digunakan untuk dengan tepat memprediksi nilai mendatang (*future value*) untuk setiap peubah dalam sistem. Menurut Wei (2006), identifikasi bahwa seri waktu multivariat sebanding dengan seri waktu univariat. Setelah data stasioner, identifikasi didasarkan pada pola *Matrix Autocorrelation Function* (MACF) dan *Matrix Partial Autocorrelation Function* (MPACF).

2.3 Uji Stasioneritas Data

2.3.1 Kestasioneran

Sebaran data stasioner berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan dan tidak bergantung pada waktu atau varian fluktuasi tersebut; ini menunjukkan bahwa data tidak banyak berubah (Makridakis, 1991). Suatu proses kestasioneran data *time series* jika data *time series* yang bersifat stasioner kuat (*strickly stasionary*), dimana nilai *mean* (μ), varian (σ^2), kovarian (τ_k) tidak terpengaruh oleh waktu pengamatan.

Stasioner dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Stasioner terhadap rata-rata

Istilah ini digunakan untuk menentukan apakah data konstan atau tidak dapat dilihat dari plot deret waktu. Ini berarti bahwa fluktuasi data berada di sekitar

nilai rata-rata yang konstan dan tidak bergantung pada waktu atau variansi fluktuasi tersebut.

2. Stasioner terhadap ragam

Kondisi data yang tidak menunjukkan perubahan ragam dari waktu ke waktu disebut stasioner terhadap ragam. Jika ini terjadi, data harus ditransformasi.

Ada dua metode untuk menguji stasioneritas data deret waktu yaitu visualisasi (plot deret waktu dan korelogram MACF/MPACF) dan uji akar unit (*unit root test*).

2.3.2 Uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF)

Uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) atau sering disebut juga dengan *unit root test* (uji akar unit) merupakan uji formalitas untuk kestasioneran terhadap rata-rata suatu data. Uji *Dickey-Fuller* ini dikenalkan oleh David Dickey dan Wayne Fuller pada tahun 1979, lalu dikembangkan menjadi *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) pada tahun 1984. Perbedaan utama antara kedua pengujian tersebut adalah bahwa ADF digunakan untuk rangkaian model deret waktu yang lebih besar dan lebih rumit. Statistik *Dickey-Fuller* tambahan yang digunakan dalam uji ADF adalah angka negatif. Jika angka semakin negatif, maka semakin kuat penolakan hipotesis bahwa ada *unit root*. Proses menentukan apakah data stasioner dengan membandingkan nilai statistik *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) dengan nilai kritisnya. (nilai kritis MacKinnon).

Jika nilai absolut statistik *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) lebih rendah atau lebih negatif dari nilai kritisnya, maka data yang diamati menunjukkan sifat stasioner. Sebaliknya, jika nilai absolut statistik *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) lebih tinggi atau lebih negatif dari nilai kritisnya, maka data tersebut tidak stasioner.

Persamaan uji stasioner dengan analisis ADF adalah sebagai berikut (Gujarati, 2004):

$$\Delta Y_t = \mu + \beta_t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^1 \alpha_i \Delta Y_{t-i} + e_t \quad (1)$$

dengan

ΔY_t = selisih data pengamatan waktu ke- t dengan waktu sebelumnya

Y_t = nilai deret waktu ke- t

μ = konstanta

β = parameter regresi data *trend*

δ = $\sum_{i=1}^p \phi_i - 1$ (parameter regresi *lag* ke-1)

α_i = $-\sum_{j=i+1}^m \phi_j$ (parameter regresi *lag* ke- j)

m = $p - 1$ adalah panjang *lag* yang digunakan dalam model

e_t = nilai sisaan pada waktu ke- t

Hipotesis yang digunakan dalam uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) ini yaitu:

$H_0 : \delta = 0$ atau $H_0 : \sum_{i=1}^p \phi_i = 1$, terdapat akar unit atau data tidak stasioner

$H_1 : \delta < 0$ atau $H_1 : \sum_{i=1}^p \phi_i < 1$, tidak terdapat akar unit atau data stasioner

Dengan statistik uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) sebagai berikut:

$$ADF_t = \frac{z_{i=1} \delta_i - 1}{SE(\sum_{i=1}^p \hat{\delta}_i)} = \frac{\hat{\delta} - 1}{SE(\hat{\delta})} \quad (2)$$

Dengan:

$$SE(\hat{\delta}) = \left[\hat{\sigma}_e^2 \left(\sum_{t=1}^n Y_{t-1}^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad \hat{\sigma}_e^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{\delta}Y_{t-1})^2}{n-1}$$

Jika nilai statistik dari $|\tau| >$ nilai mutlak dari nilai kritis tabel MacKinnon, maka H_0 ditolak. Dapat juga membandingkan nilai *p-value* dengan nilai α , dan jika nilai *p-value* $< \alpha$, maka H_0 ditolak yang menunjukkan bahwa data tidak memiliki unit root karena tidak memiliki unit root.

Apabila data teridentifikasi tidak stasioner terlebih dahulu harus ditangani agar menjadi stasioner. *Differencing* adalah prosedur yang digunakan untuk membedakan data yang tidak stabil pada nilai tengah atau *mean*. Jika data telah dibedakan sekali dan masih menghasilkan data yang tidak stabil, maka proses pembedaan akan diulang hingga data menjadi stasioner. Untuk melakukan *differencing* pertama atau *differencing* orde 1 menggunakan persamaan, yaitu:

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (3)$$

Secara umum *differencing* hingga k kali dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta^k y_t = \sum_{i=0}^k \binom{k}{i} (-1)^i y_{t-i} \quad (4)$$

Δ adalah operator *differencing* pertama, dan $\Delta^k y_t$ adalah *differencing* y_t sebanyak k kali. Suatu data deret waktu yang tidak stasioner tetapi menjadi stasioner setelah dilakukan *differencing* k kali disebut terintegrasi pada orde k dan disingkat dengan $I(k)$, yang menunjukkan bahwa data tersebut mengandung k akar unit. Apabila data tidak stasioner dalam varian, maka dilakukan transformasi. Transformasi yang sering dilakukan dalam mengatasi data tidak stasioner dalam varian adalah transformasi Box-Cox sebagai berikut:

$$Y_t^{(\lambda)} = \frac{Y_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda}, \quad -1 < \lambda < 1 \quad (5)$$

dimana Y_t data pada waktu ke t , λ nilai transformasi parameter.

2.4 Model *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR)

Peramalan pada deret waktu multivariat yang menggabungkan interdependensi waktu dan lokasi dapat dilakukan dengan *Generalized Space Time Autoregressive* (GSTAR). Model GSTAR adalah model VAR yang memiliki skema respons prediktor yang diwakili dalam skema (Wutsqa dan Suhartono, 2010). Orde ruang yang ditentukan oleh model GSTAR dan orde waktu yang diperoleh dari model VAR adalah dua orde yang dimiliki model GSTAR. Secara umum model GSTAR (p, λ_k) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_{i(t)} = \sum_{k=1}^p [\Phi_{k0}^i + \sum_{l=1}^{\lambda_k} \Phi_{kl}^i W^{(l)}] Z_{i(t-k)} + e_{i(t)} \quad (6)$$

dengan

k = lag waktu, $k = 1, 2, \dots, p$

l = orde spasial, $l = 1, 2, \dots, \lambda_k$

$Z_{i(t)}$ = vektor pengamatan pada waktu ke- t dan lokasi ke- n

Φ_{k0}^i = matriks diagonal parameter *autoregressive* pada lag waktu k dan orde spasial 0, disetiap lokasi ke- i dengan elemen diagonal $(\phi_{k0}^1, \dots, \phi_{k0}^N)$

Φ_{kl}^i = matriks diagonal parameter *autoregressive* pada lag waktu k dan orde spasial l , disetiap lokasi ke- i dengan elemen diagonal $(\phi_{kl}^1, \dots, \phi_{kl}^N)$

$W^{(l)}$ = matriks bobot untuk orde spasial l ukuran $(N \times N)$, yang memenuhi $w_{ii}^{(l)} = 0$ dan $\sum_{i \neq j} w_{ij}^{(l)} = 1$

$e_{i(t)}$ = residual $(N \times 1)$ yang berdistribusi normal pada daerah i dan waktu ke- t

$i = 1, 2, \dots, n$ adalah daerah pengamatan yang diasumsikan bebas dan normal dengan rata-rata nol dan variansi yang konstan

(Wutsqa dan Suhartono, 2010).

2.5 Bobot Lokasi Pada Model GSTAR

Standarisasi biasanya diterapkan pada sistem pembobotan lokasi, di mana salah satu syarat matriks bobot adalah jumlah entri pada setiap baris sama dengan satu dan bobot lokasi terhadap dirinya bernilai nol. Ruchjana (2002) membahas beberapa metode pengukuran bobot lokasi yang digunakan untuk menggunakan model GSTAR yaitu bobot seragam, bobot invers jarak, bobot normalisasi korelasi silang, dan bobot biner.

Ruchjana mengatakan bahwa empat metode yang sama yang dibahas dalam penelitiannya gunakan untuk menentukan bobot lokasi model *space time* atau runtun waktu multivariat dapat digunakan untuk melakukannya. Oleh karena itu, bobot seragam, bobot normalisasi korelasi silang, bobot invers jarak, dan bobot biner dapat digunakan untuk menentukan lokasi dalam model GSTAR.

2.5.1 Bobot Seragam (*Uniform*)

Bobot seragam didefinisikan dalam $W_{ij} = \frac{1}{n_i}$, dengan n_i = banyaknya lokasi yang berdekatan dengan lokasi i . Bobot lokasi sering digunakan pada data yang memiliki jarak antar lokasi yang sama karena mereka memberikan nilai bobot yang sama untuk masing-masing lokasi.

2.5.2 Bobot Invers Jarak (*Inverse Space*)

Untuk menghitung bobot invers jarak, jarak sebenarnya antara dua lokasi di inverskan. Lokasi yang lebih dekat memiliki nilai bobot yang lebih besar. Jarak ini diukur dalam satuan derajat lintang dan derajat bujur yang kemudian dikonversikan ke kilometer. Bobot invers jarak dirumuskan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \frac{w_{ij}^*}{\sum_{j \neq 1}^n w_{ij}^*} \quad (7)$$

dimana

$$w_{ij}^* = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}} & , i \neq j \\ 0 & , i = j \end{cases}$$

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2}$$

dengan

w_{ij} = nilai bobot dari lokasi i dan j

d_{ij} = jarak dari lokasi i dan j

$(u_i - u_j)$ = koordinat dari garis lintang

$(v_i - v_j)$ = koordinat dari garis bujur

2.5.3 Bobot Normalisasi Korelasi Silang

Bobot normalisasi korelasi silang menggunakan hasil normalisasi korelasi silang antar lokasi dengan lag waktu yang sesuai. Secara umum, menurut Suhartono dan Antok (2006), ada korelasi silang antara lokasi ke- i dan ke- j pada lag ke- k $[Z_{(t)}, Z_{(t-k)}]$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\rho_{ij(k)} = \frac{\gamma_{ij(k)}}{\sigma_i \sigma_j}, k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

dengan $\gamma_{ij(k)}$ adalah kovariansi silang antara kejadian dilokasi ke- i dan ke- j . Nilai taksiran dari korelasi pada data sampel dirumuskan sebagai berikut:

$$r_{ij(k)} = \frac{\sum_{t=k+1}^n [Z_{i(t)} - \bar{Z}_i][Z_{j(t-k)} - \bar{Z}_j]}{\sqrt{(\sum_{t=1}^n [Z_{i(t)} - \bar{Z}_i]^2)(\sum_{t=1}^n [Z_{j(t-k)} - \bar{Z}_j]^2)}} \quad (9)$$

dengan

$Z_{i(t)}$ = data waktu ke- t pada daerah i

$Z_{j(t)}$ = data waktu ke- t pada daerah j

k = lag waktu ke- t

Selanjutnya, bobot lokasi dihitung dengan normalisasi besaran-besaran korelasi silang antara lokasi pada waktu yang sesuai seperti yang diusulkan oleh Suhartono dan Subanar (2006), prosedur ini biasanya menghasilkan bobot lokasi seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$W_{ij(k)} = \frac{r_{ij(k)}}{\sum_{j \neq i}^n |r_{ij(k)}|} \quad (10)$$

dimana $i \neq j, j = 1, 2, \dots, n$, dan dalam hal ini bobot terpenuhi bahwa $\sum_{i \neq j} W_{ij(k)} = 1$

Dengan normalisasi besaran-besaran korelasi silang antara lokasi pada waktu yang sesuai, bobot lokasi memungkinkan semua jenis hubungan antar lokasi yang mungkin. Selain itu, bobot ini memberikan fleksibilitas pada besaran dan tanda hubungan antar lokasi yang berbeda, yaitu positif dan negatif.

2.6 Estimasi Parameter

Untuk mengestimasi parameter untuk memperoleh nilai sisaan yang bersifat *white noise* secara multivariat, metode kuadrat terkecil (OLS), 2SLS (*Two Stage Least Squares*), SUR (*Seemingly Unrelated*), atau *Maximum Likelihood* dapat digunakan (Wutsqa dan Suhartono, 2010). Nilai parameter dapat diperkirakan/diduga dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*, yang memaksimalkan fungsi kemungkinan yang diamati.

Menurut Dudewicz (1995), fungsi kepadatan bersama dari beberapa objek (n variabel) yang tidak teratur atau acak adalah fungsi probabilitas dengan n variabel acak, yaitu $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Fungsi kepadatan bersama $f_{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; \Phi)$ sangat mempertimbangkan fungsi β . Fungsi *likelihood* akan menjadi $f(x_1; \Phi), f(x_2; \Phi), f(x_3; \Phi), \dots, f(x_n; \Phi)$ ketika $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ adalah fungsi $f(x; \Phi)$ yang merupakan sampel acak. Dengan menggunakan *Maximum Likelihood*, dapat menentukan apakah suatu distribusi bersifat konsisten, efisien, dan tidak bias. Salah satu teknik yang paling umum untuk mendapatkan hasil dugaan penaksir yang tepat adalah *Maximum Likelihood*.

Menurut Dudewicz (1995), $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ merupakan peubah acak dengan mengikuti fungsi distribusi $F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n | \Phi)$ dengan Φ merupakan anggota dari \mathbf{B} yang belum diketahui, maka untuk fungsi *likelihood* pada hal tersebut adalah sebagai berikut:

$$L(\Phi) \begin{cases} f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n | \Phi), \forall F \text{ memiliki fungsi kepadatan } f \\ g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n | \Phi), \forall F \text{ memiliki fungsi kepadatan } g \end{cases}$$

Sehingga, $\forall \hat{\Phi} = \hat{\Phi}_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \in \mathbf{B}$.

Diperoleh, $L(\hat{\Phi}) = \sup\{L(\Phi) : \Phi \in \mathbf{B}\}$ adalah estimasi *Maximum Likelihood*nya.

Fungsi $L(\Phi)$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n | \Phi) = f(x_1; \Phi), f(x_2; \Phi), \dots, f(x_n; \Phi) \quad (11)$$

Bersama dengan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ yang didalamnya terkandung parameter Φ .

2.6.1 Estimasi Parameter GSTAR dengan Metode *Maximum Likelihood*

Metode *Maximum Likelihood* merupakan pengembangan dari metode *Ordinary Least Square* (OLS) dengan mempertimbangkan residual yang berkorelasi antar persamaan dengan residual yang diperoleh dari estimator dengan OLS, metode ini digunakan untuk mengestimasi parameter regresi. Menurut Greene (1997) dalam Suryani dan Saputro (2008), teknis estimasi parameter dengan metode *Maximum*

Likelihood dengan meminimumkan jumlah kuadrat sisa/residual (JKS) tergeneralisasi. Misalkan diberikan persamaan regresi berikut:

$$Y = X\Phi + \varepsilon \quad (12)$$

Asumsi model regresi persamaan (12) *error* terdistribusi secara normal *multivariate* $e \sim N(X\Phi, \Sigma)$ dengan matriks definit positif Σ berukuran $m \times m$ yang fungsi peluang bersamanya variabel *random error* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$l(Y|\Phi, \Sigma) = \prod_{j=1}^m f(\Phi, \Sigma|Y) \quad (13)$$

(Salam, 2013)

Berdasarkan pada persamaan (13) diperoleh fungsi *likelihood* sebagai berikut:

$$l(\Phi, \Sigma|Y) = (2\pi)^{-\frac{m}{2}} |\Sigma|^{-\frac{m}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(Y - X\Phi)^T \Sigma^{-1} (Y - X\Phi)\right) \quad (14)$$

Sehingga fungsi *log-likelihood*nya adalah:

$$\begin{aligned} L(\Phi, \Sigma|Y) &= \ln(l(\Phi, \Sigma|Y)) \\ &= \ln(2\pi)^{-\frac{m}{2}} \ln|\Sigma|^{-\frac{m}{2}} \ln(\exp)\left(-\frac{1}{2}(Y - X\Phi)^T \Sigma^{-1} (Y - X\Phi)\right) \\ &= -\frac{m}{2} \ln(2\pi) - \frac{m}{2} \ln|\Sigma| - \frac{1}{2}(Y - X\Phi)^T \Sigma^{-1} (Y - X\Phi) \\ &= -\frac{m}{2} \ln(2\pi) - \frac{m}{2} \ln|\Sigma| - \frac{1}{2}(Y^T - \Phi^T X^T) \Sigma^{-1} (Y - X\Phi) \\ &= -\frac{m}{2} \ln(2\pi) - \frac{m}{2} \ln|\Sigma| - \frac{1}{2}(Y^T - \Phi^T X^T) (\Sigma^{-1} Y - \Sigma^{-1} X\Phi) \\ &= -\frac{m}{2} \ln(2\pi) - \frac{m}{2} \ln|\Sigma| - \frac{1}{2}(Y^T \Sigma^{-1} Y - Y^T \Sigma^{-1} X\Phi \\ &\quad - \Phi^T X^T \Sigma^{-1} Y + \Phi^T X^T \Sigma^{-1} X\Phi) \end{aligned} \quad (15)$$

(Salam, 2013)

Sama seperti estimasi OLS, dengan *Maximum Likelihood* metode yang sama digunakan, yaitu dengan mengidentifikasi turunan pertama dan mengurangi GSS. $(\Phi, \Sigma|Y)$ atau persamaan (15) terhadap Φ^T , yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(L(\Phi, \Sigma|Y))}{\partial(\Phi^T)} &= \frac{\partial(-\frac{m}{2}\ln(2\pi)-\frac{m}{2}\ln|\Sigma|-\frac{1}{2}(Y^T\Sigma^{-1}Y-Y^T\Sigma^{-1}X\Phi)}{\partial(\Phi^T)} \\
&\quad -\frac{\Phi^T X^T \Sigma^{-1} Y + \Phi^T X^T \Sigma^{-1} X \Phi}{\partial(\Phi^T)} \\
&= 0 - 0 - \frac{1}{2}(0 - 0 - X^T \Sigma^{-1} Y + X^T \Sigma^{-1} X \Phi) \\
&= -\frac{1}{2}(-X^T \Sigma^{-1} Y + X^T \Sigma^{-1} X \Phi) \\
&= \frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} Y - \frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} X \Phi \tag{16}
\end{aligned}$$

Selanjutnya meminimumkan GSS apabila dipenuhi $\frac{\partial(L(\Phi, \Sigma|Y))}{\partial(\Phi^T)} = 0$ sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} Y - \frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} X \Phi &= 0 \\
-\frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} X \Phi &= -\frac{1}{2} X^T \Sigma^{-1} Y \\
X^T \Sigma^{-1} X \Phi &= X^T \Sigma^{-1} Y \\
\Phi &= (X^T \Sigma^{-1} X)^{-1} X^T \Sigma^{-1} Y \tag{17}
\end{aligned}$$

Jadi penduga parameter GSTAR adalah:

$$\hat{\Phi}_{ml} = (X^T \Sigma^{-1} X)^{-1} X^T \Sigma^{-1} Y \tag{18}$$

(Salam, 2013)

Seperti yang dinyatakan oleh Jannah (2018), untuk menentukan estimasi dari Σ^{-1} dengan nilai kuadrat terkecil sehingga perkiraan dari $\hat{\Phi}_{ols}$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\Phi_{a_{ols}} &= (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T Z_a \\
&= (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T (M_a \Phi_a + e_a) \\
&= (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T M_a \Phi_a + (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T e_a \\
&= I \Phi_a + (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T e_a \\
&= \Phi_a + (M_a^T M_a)^{-1} M_a^T e_a
\end{aligned} \tag{19}$$

2.7 Uji Kelayakan Model GSTAR

Uji ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa model yang dihasilkan dapat digunakan untuk peramalan. Dua asumsi harus terpenuhi. dalam model deret waktu multivariat yaitu residual bersifat *white noise* dan berdistribusi normal multivariat.

2.7.1 Uji *White Noise*

Sebelum melakukan validasi model, nilai sisa *white noise* harus diperoleh dari model GSTAR. Nilai sisa *white noise* diperoleh dari distribusi identik independen (iid), yang dideteksi dengan uji *white noise* untuk mengetahui apakah ada korelasi nilai sisa antara lag.. Menurut Hanke and Wichern (2005), *Uji Ljung and Box* dapat digunakan untuk memeriksa *white noise*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Perumusan Hipotesis

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0 \text{ (sisaan bersifat } white \text{ noise)}$$

H_1 : minimal ada satu $\rho_k \neq 0, k = 1, 2, \dots, k$ (sisaan tidak bersifat *white noise*)

b. Statistik Uji

$$Q_{LB} = n(n+2) \sum_{k=1}^p \left(\frac{1}{n-k} \right) \hat{\rho}_k^2$$

dengan n adalah banyaknya pengamatan, k adalah banyaknya lag dan $\hat{\rho}_k^2$ adalah autokorelasi duga pada lag ke- k .

c. Kriteria Pengujian

Dengan mengambil taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$) dan ukuran sampel n , tolak H_0 jika $Q_{LB} > \chi_{1-\alpha, k}^2$ atau nilai *p-value* $< \alpha$. Selain itu, kriteria minimum *Akaike's Information Criterion* (AIC) dari residual dapat digunakan untuk memeriksa asumsi *white noise*. Nilai AIC residual minimum berada pada lag ke-0, yang menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara masing-masing residual. Jika sisaan tidak *white noise*, kembali ke tahap pertama untuk menemukan model. Ini dilakukan dengan memilih lag *autoregressive* yang paling rendah dari yang telah dipilih sebelumnya, juga dikenal sebagai *prewhitening*.

2.7.2 Uji Normalitas Multivariat

Uji normalitas merupakan sebuah uji yang dilakukan untuk menilai sebaran data, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. *Quantile-quantile plot* atau *Q-Q plot*, digunakan untuk melakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah sebaran data berdistribusi normal. Jika plot Q-Q tampak seperti garis lurus, residual akan mengikuti distribusi normal. Uji normalitas dapat juga dilakukan dengan uji Kolmogorov-Smirnov dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Perumusan Hipotesis

H_0 : $F(x) = F_0(x)$, untuk semua x (residual berdistribusi normal)

H_1 : $F(x) \neq F_0(x)$, untuk minimal satu nilai x (residual tidak berdistribusi normal)

b. Statistik Uji

$$D = \sup |F_0(X) - S_n(X)|$$

dengan $F_0(X)$ adalah fungsi distribusi frekuensi kumulatif dan $S_n(X)$ adalah probabilitas kumulatif dari distribusi normal. Tolak H_0 jika $D > D_{n(\alpha)}$ atau nilai $p\text{-value} < \alpha$.

2.8 Validasi Model GSTAR

2.8.1 Root Mean Square Error (RMSE)

Setelah dinyatakan bahwa model memiliki sisaan *white noise* dan residual berdistribusi normal, validasi model dilakukan untuk memastikan ketepatan model. *Root Mean Square Error* (RMSE), yang meningkat bersamaan dengan total *square error*, dapat digunakan untuk menunjukkan seberapa besar nilai sisa dalam model yang digunakan. Selain itu, RMSE dapat menunjukkan ketidakcocokan dalam pemodelan (Wilmott and Matsuura, 2005). Validasi model GSTAR dilakukan untuk mengevaluasi ketepatan prediksi dan kebaikan model dengan nilai pengamatan sebenarnya. *Root Mean Square Error* (RMSE) dapat ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Z_t - \hat{Z}_t)^2}{n}} \quad (20)$$

dimana Z_t adalah data aktual (data awal), \hat{Z}_t adalah data prediksi (data ramalan) dengan sistem pembobotan lokasi yang dipilih, dan n jumlah pengamatan. Nilai RMSE terkecil adalah model yang dipilih. suatu model dikatakan baik dan tepat apabila nilai RMSEnya mendekati nol.

2.8.2 Mean Absolute Percent Error (MAPE)

Mean Absolute Percent Error (MAPE) merupakan ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil pendugaan. Pendekatan ini berguna ketika ukuran atau besar variabel ramalan itu penting dalam mengevaluasi ketepatan ramalan. MAPE mengindikasikan seberapa besar kesalahan dalam menduga yang dibandingkan dengan nilai nyata. Secara matematis, nilai MAPE dapat ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t} \right| \times 100\%}{n} \quad (21)$$

dimana Z_t adalah data aktual (data awal), \hat{Z}_t adalah data ramalan atau prediksi dengan sistem pembobotan lokasi tertentu, dan n adalah jumlah pengamatan yang dilakukan. Semakin kecil nilai MAPE, maka kemampuan dari model peramalan yang digunakan dapat dikatakan semakin baik. Nilai MAPE dianggap sangat baik jika nilainya <10%, baik jika nilainya antara 10% dan 20%, cukup jika nilainya antara 20% dan 50%, dan buruk jika nilainya lebih dari 50% (Chang, dkk., 2007).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun akademik 2021/2022 yang bertempat di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang bersumber dari sumbar.bps.go.id, lampung.bps.go.id, dan jambi.bps.go.id berupa data Nilai Ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat dari Januari 2015 hingga Desember 2022 yang dipublikasikan secara berkala oleh Badan Pusat Statistik (BPS).

Terdapat 3 (tiga) variabel endogen yaitu:

a. Variabel Endogen

1. Z_1 = Data Nilai Ekspor di Provinsi Lampung (Juta US Dollar)
2. Z_2 = Data Nilai Ekspor di Provinsi Jambi (Juta US Dollar)
3. Z_3 = Data Nilai Ekspor di Provinsi Sumatera Barat (Juta US Dollar)

Dengan jumlah data masing-masing sebanyak 96 data.

b. Struktur Data

Tabel 1. Data nilai ekspor

No.	Lampung (Z_1)	Jambi (Z_2)	Sumatera Barat (Z_3)
1	275,56	266,59	142,4
2	297,01	265,75	137,5
3	348,03	287,19	142,2
4	291,35	217,79	184,1
5	318,8	210,15	133,2
6	302,39	215,39	172,8
7	333,55	193,13	144,1
8	402,05	229,04	127,7
9	364,11	205,25	143,1
10	351,48	204,6	157,8
...
96	419,51	258,59	194,49

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software RStudio*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membagi data menjadi dua bagian, yaitu data training dari bulan Januari 2015 – Desember 2021 (84 data) dan data testing dari bulan Januari 2022 – Desember 2022 (12 data). Untuk melakukan pendugaan parameter *autoregressive* menggunakan data training dan melakukan validasi model menggunakan data testing.
2. Menginput data training nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat ke *software R*.

3. Melakukan statistik deskriptif data dan membuat plot data nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat.
4. Mengidentifikasi keeratan dan arah hubungan nilai ekspor antar lokasi dengan melihat besaran koefisien korelasi.
5. Dengan menggunakan data training kemudian memeriksa kestasioneran data secara visual dengan melihat plot *Autocorrelation Function* (ACF). Dan untuk melihat kestasioneran terhadap *mean* dapat dilihat dari hasil Uji Akar Unit (*Unit Root Test*) dari uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF) jika data tidak stasioner terhadap *mean* dapat dilakukan *differencing* pada data.
6. Mengidentifikasi orde *autoregressive* (p) dengan melihat nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC) yang paling kecil untuk memilih model terbaik pada identifikasi orde model VAR(p).
7. Menghitung matriks pembobot pada model GSTAR. Matriks pembobot yang akan digunakan adalah matriks pembobot invers jarak dan normalisasi korelasi silang.
8. Menentukan estimasi parameter pada model GSTAR dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood*.
9. Melakukan uji *white noise* residual menggunakan uji *Ljung Box*. Apabila data tidak memenuhi asumsi *white noise* dapat dilakukan *prewhitening*.
10. Meramalkan data dengan model GSTAR yang telah terbentuk sesuai bobot lokasi.
11. Menghitung nilai RMSE dan MAPE dengan menggunakan data testing pada masing-masing model GSTAR untuk validasi model dan memilih model GSTAR terbaik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah menggunakan bobot invers jarak dan bobot normalisasi korelasi silang untuk membentuk model GSTAR pada data nilai ekspor di Provinsi Lampung, Jambi, dan Sumatera Barat. Diperoleh nilai RMSE terkecil yaitu 0,316 dan nilai MAPE terkecil yaitu 7,0137% pada model GSTAR(1₁) I(1) dengan bobot invers jarak, sehingga model dengan bobot tersebut adalah model terbaik.

Dari tabel hasil peramalan dapat dilihat bahwa nilai ekspor di provinsi Lampung memiliki rata-rata nilai ekspor paling tinggi dibandingkan dua provinsi lainnya yaitu sebesar 470,08 dalam satuan juta dollar dan nilai ekspor di provinsi Sumatera Barat memiliki rata-rata nilai ekspor paling rendah yaitu sebesar 243,54 dalam satuan juta dollar. Dan dari grafik hasil peramalan, provinsi Lampung paling mendekati data aktualnya dibandingkan provinsi lainnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa model GSTAR(1₁) I(1) dengan bobot invers jarak memiliki akurasi terbaik dalam meramalkan nilai ekspor di provinsi Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Borovka, S.A., Lopuhaa, H.P., dan Ruchjana, B.N. 2002. Generalized STAR Model with Experimental Weights. *Proceedings of the 17th International Workshop on Statistical Modelling*, Chania: 139-147.
- BPS. 2022. Ekspor-Import. Badan Pusat Statistik. Diakses pada 20 Februari 2022 pukul 05.53 WIB. <https://sumbar.bps.go.id>, <https://lampung.bps.go.id>, <https://jambi.bps.go.id>
- Cryer, J.D. 1986. *Time Series Analysis*. PWS-Kent Publishing Co, Boston.
- Dudewicz, E. 1995. *Statistika Matematika Modern*. Bandung:ITB.
- Gujarati, D. 2004. *Basic Econometrics*, Fourth Edition. The McGraw-Hill Companies.
- Hanke, J.E., and Wichern, D.W. 2005. *Business Forecasting*. Prentice Hall, New York.
- Johnson & Wichern. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis, 6.Ed.* Pearson Education Inc. New Jersey.
- Makridakis, S., & *et all.* 1991. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Diterjemahkan oleh Ardiyanto, U.S., & Basith, A. Jilid 1, edisi 2. PT Erlangga. Jakarta
- Pfeifer, P. E., & Deutsch, S. T. 1980. *A Three-Stage Iterative Procedure for Space-Time Modeling*. *Technometrics*, Vol. 22: 35-47.

- Ruchjana, B. N. 2002. Pemodelan Bobot lokasi yang optimal pada model Generalisasi STAR, Forum Statistika dan Komputasi. Bogor.
- Salam, N. 2013. Estimasi *Likelihood Maximum Panaralized* dari Model Regresi Semiparametrik. Prosiding Seminar Nasional Statistika. Universitas Diponegoro.
- Suhartono dan Atok, R.M. 2006. Pemilihan Bobot Lokasi yang Optimal pada Model GSTAR. *National Mathematics Conference XIII*.
- Suhartono dan Subanar. 2006. The Optimal Determination of Space Weight in GSTAR Model by Using Cross-Correlation Inference. *Journal Of Quantitative Methods: Journal Devoted to The Mathematical and Statistical Application in Various Field*. 2(2): 45-53.
- Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. Person Education Inc, USA.
- Wilmott, C. J., & Matsuura, K. 2005. *Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) Over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance*. Department of Geography, University of Delaware, Newark. USA.
- Wutsqa, D.U., dan Suhartono. 2010. Peramalan Deret Waktu Multivariat Seasonal pada Data Pariwisata dengan Model VAR-GSTAR. *Jurnal Ilmu Dasar*, 11(1): 101-109.