

**PENERAPAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS*  
(VARX) UNTUK MERAMALKAN DEBIT *INFLOW* DAN DEBIT  
*OUTFLOW* HARIAN BENDUNGAN BATU TEGI TAHUN 2021-2022**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**INTANIA MELATI LIBNA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## ABSTRACT

### **THE APPLICATION OF THE *VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS (VARX)* METHOD TO FORECAST DAILY DEBIT *INFLOW* AND DEBIT *OUTFLOW* BATU TEGI DAM IN 2021-2022**

By

**INTANIA MELATI LIBNA**

Uneven distribution of rainfall often occurs in Indonesia, especially in the rainy season which can cause flooding and the dry season which can cause drought. The distribution of rainfall affects the availability of existing water, as well as the *inflow* and *outflow* of a dam. Therefore, forecasting *inflow* and *outflow* is considered important as a reference for water availability, especially in dams. The *Vector Autoregressive Exogenous (VARX)* method is a statistical analysis that is often used in multivariate time series data and can be used to determine the relationship between endogenous and exogenous variables. In this study, the VARX method was used to forecast the *inflow* and *outflow* of the Batu Tegi Dam for the next period. The results of the analysis show that the VARX (6,1) model is feasible and suitable for use. The use of the VARX (6,1) model with endogenous variables namely *inflow* and *outflow* as well as exogenous variables rainfall, resulted in good forecasting accuracy with MAE values of 19.46 for *inflow* and 15.39 for *outflow*.

Key words: Batu Tegi Dam, Debit Inflow, Debit Outflow, Vector Autoregressive Exogenous, Forecasting, MAE

## ABSTRAK

### PENERAPAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS* (VARX) UNTUK MERAMALKAN DEBIT *INFLOW* DAN DEBIT *OUTFLOW* HARIAN BENDUNGAN BATU TEGI TAHUN 2021-2022

Oleh

INTANIA MELATI LIBNA

Distribusi curah hujan yang tidak merata sering terjadi di Indonesia terutama pada musim hujan sehingga dapat menyebabkan banjir dan musim kemarau dapat menyebabkan kekeringan. Penyebaran curah hujan tersebut mempengaruhi ketersediaan air yang ada, demikian pula dengan pengaliran masuk dan pengaliran keluar suatu bendungan. Oleh karena itu peramalan debit *inflow* dan debit *outflow* dirasa penting sebagai acuan ketersediaan air terutama di bendungan. Metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) adalah salah satu analisis statistika yang sering digunakan pada data deret waktu multivariat dan dapat digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel endogen dengan eksogen. Pada penelitian tersebut metode VARX digunakan untuk meramalkan debit *inflow* dan debit *outflow* Bendungan Batu Tegi periode yang akan datang. Hasil analisis menunjukkan bahwa model VARX (6,1) layak dan cocok digunakan. Penggunaan model VARX (6,1) dengan variabel endogen yaitu debit *inflow* dan debit *outflow* serta variabel eksogen curah hujan, menghasilkan keakuratan peramalan yang baik dengan nilai MAE yaitu 19,46 untuk debit *inflow* dan 15,39 untuk debit *outflow*.

Kata Kunci: Bendungan Batu Tegi, Debit *Inflow*, Debit *Outflow*, *Vector Autoregressive Exogenous*, Peramalan, MAE

**PENERAPAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS*  
(VARX) UNTUK MERAMALKAN DEBIT *INFLOW* DAN DEBIT  
*OUTFLOW* HARIAN BENDUNGAN BATU TEGI TAHUN 2021-2022**

Oleh

**INTANIA MELATI LIBNA**

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**BANDAR LAMPUNG**  
**2022**

Judul Skripsi

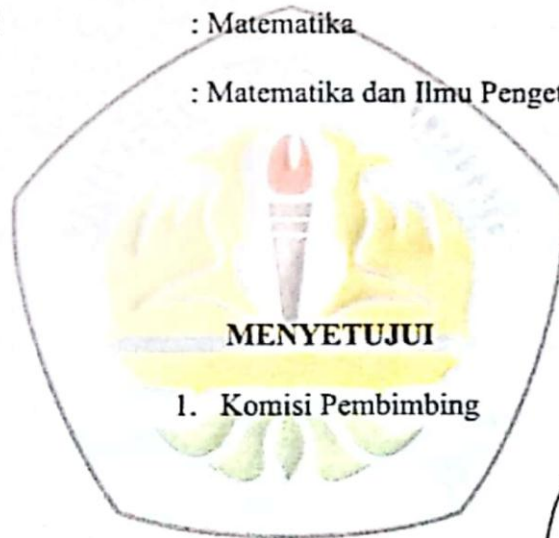
: PENERAPAN METODE *VECTOR*  
*AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS (VARX)*  
UNTUK MERAMALKAN DEBIT *INFLOW*  
DAN DEBIT *OUTFLOW* HARIAN  
BENDUNGAN BATU TEGI TAHUN 2021-  
2022

Nama Mahasiswa : Intania Melati Libna

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817031043

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Ir. Warsono, M.S., Ph.D.  
NIP. 196302161987031003

Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.  
NIP. 196412231994031003

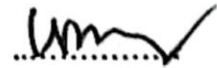
2. Ketua Jurusan Matematika

Dr. Aang Nurvaman, S.Si. M.Si.  
NIP. 197403162005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

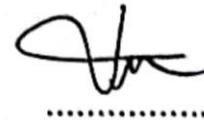
Ketua : Ir. Warsono, M.S., Ph.D.



Sekretaris : Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S




Penguji  
Bukan Pembimbing : Drs. Nusyirwan, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.  
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2022

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Intania Melati Libna

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817031043

Jurusan : Matematika

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Juni 2022

Penulis



**Intania Melati Libna**

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Intania Melati Libna, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 14 Juli 2000, sebagai anak kedua dari dua bersaudara pasangan dari Bapak Rakhmat Tulus dan Ibu Yulianti. Serta adik dari Mulia Mahardika.

Penulis memulai pendidikannya di Taman Kanak-Kanak (TK) Pratama 1 diselesaikan tahun 2006, melanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 2 Rawa Laut pada tahun 2012, kemudian SMP Negeri 1 Bandar Lampung diselesaikan pada 2015, dan SMA Negeri 10 Bandar Lampung diselesaikan tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis diterima sebagai mahasiswi S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswi penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika (HIMATIKA) dan organisasi internasional bernama AIESEC in Universitas Lampung. Semasa perkuliahan, penulis mendapatkan bantuan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) oleh Kemenristedikti tahun ajaran 2019/2020 dan juga mendapatkan Djarum Beasiswa Plus oleh PT. Djarum Foundation tahun ajaran 2020/2021.

Pada awal tahun 2021, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Sukarame, Kecamatan Sukarame, Bandar Lampung selama 40 hari. Kemudian, sebagai mata kuliah wajib, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di kantor perwakilan Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional (BKKBN) Provinsi Lampung sejak 12 Juli hingga 20 Agustus 2021. Di tahun 2021 juga, penulis mengikuti program magang di SDGs Centre Universitas Lampung. Pada Februari 2022, selain menyelesaikan tugas akhir skripsi penulis



juga melakukan magang di salah satu perusahaan *Startup Food & Beverages* yang berada di Jakarta Pusat sebagai *Customer Success Management Intern* selama 3 bulan.

## **KATA INSPIRASI**

"Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu di antara kamu sekalian."

**(Q.S Al-Mujadilah: 11)**

“Karunia Allah yang paling lengkap adalah menjalani kehidupan berdasarkan ilmu.”

**(Ali bin Abi Thalib)**

"Belajarlah mengucap syukur dari hal-hal baik di hidupmu dan belajarlah menjadi pribadi yang kuat dengan hal-hal buruk di hidupmu"

**(B.J. Habibie)**

*“Life isn’t a hundred-meter race against your friends, but a lifelong marathon against yourself.”*

**(Haemin Sunim)**

## PERSEMBAHAN

*Alhamdulillahirobbil'alamin,*

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkah dan nikmat-Nya, Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan kabar gembira kepada umat manusia.

Dengan kerendahan hati dan kasih sayang ku persembahkan karya sederhanaku ini sebagai rasa sayang dan terima kasih untuk kedua orangtua ku

“Rakhmat Tulus dan Yulianti”

Yang telah memberikan kasih sayang kepadaku dan telah menyekolahkanku, sehingga aku dapat sekolah sampai perguruan tinggi, dengan kesabarannya merawatku hingga seperti sekarang. Terima kasih atas segala perhatian, kasih sayang, dan doa yang diberikan tiada henti.

Selain itu, karya ini kupersembahkan untuk abangku

“Mulia Mahardika”

Terima kasih telah mendoakan, memberi semangat, dukungan, dan motivasi yang sangat berharga.

Serta

Almamaterku tercinta.

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala kelimpahan rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi berjudul “Penerapan Metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) untuk Meramalkan Debit *Inflow* dan Debit *Outflow* Harian Bendungan Batu Tegi Tahun 2021-2022” merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Matematika di Universitas Lampung.

Penulisan skripsi ini dapat terselesaikan karena penulis telah banyak memperoleh bantuan, saran, bimbingan, dorongan, dan doa baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat di kemudian hari, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Warsono, M.S., Ph. D., selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan ilmu yang bermanfaat dan senantiasa membimbing penulis dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S, selaku Pembimbing II yang senantiasa sabar membimbing penulis, memberikan saran, ide, meluangkan waktu dan memberikan sumbangan pemikiran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si., selaku Penguji pada ujian komprehensif skripsi atas kesediaannya dalam memberikan arahan dan pengetahuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Subian Saidi, S.Si., M. Si., selaku Pembimbing Akademik atas kesediaan waktu, pengetahuan, bimbingan, saran, dan kritik selama kuliah sampai penyelesaian skripsi.
7. Bapak/Ibu Dosen dan staff karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, yang telah mendidik dan memberikan ilmu yang sangat berguna untuk penulis.
8. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Rakhmat Tulus dan Ibu Yulianti, serta abangku Mulia Mahardika terima kasih atas kasih sayang, dukungan, doa, dan pengorbanan yang diberikan hingga saat ini.
9. Teman-teman seperjuanganku, Vira, Lauren, Kintan, Aul, Ranti, Amel, Pia, terima kasih atas kerjasama, bantuan, serta dukungan dalam segala hal dalam proses menempuh pendidikan di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Serta teman-teman angkatan 2018. Doa ku selalu menyertai kalian.
10. Kepada teman-teman satu bimbingan, Caca, Vivo, Zamhara, Juliana, Naufal, Intan, Reajeng, Nane, Rafid, Robby, Syahrul yang telah banyak membantu dan berdiskusi selama pengerjaan skripsi ini.
11. Kepada rekan-rekan AIESEC in Universitas Lampung, Nothe, Kia, Waliyyan, Adel, Safira, dan seluruh anggota, terima kasih telah memberikan semangat dan motivasi.
12. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan agar penyusunan tugas akhir ini menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 14 Juni 2022  
Penulis,

**Intania Melati Libna**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Analisis Deskriptif.....	5
2.2 Peramalan.....	5
2.3 Deret Waktu.....	6
2.4 Model AR .....	7
2.5 Model VAR.....	7
2.6 Model VARX.....	9
2.7 Stasioneritas Data .....	10
2.8 Uji Kausalitas <i>Granger</i> .....	11
2.9 Panjang <i>Lag</i> Optimal .....	11
2.10 Identifikasi Model VARX .....	12
2.11 Estimasi Parameter Model VARX.....	13
2.12 Uji Signifikansi Parameter Model VARX .....	14
2.13 Asumsi Model VARX .....	15
2.13.1 Asumsi <i>Residual White Noise</i> .....	15
2.13.2 Asumsi <i>Normalitas</i> Multivariat .....	16
2.14 Keakuratan Peramalan .....	17
2.15 Bendungan .....	17
2.16 Bendungan Batu Tegi .....	18

<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Data Penelitian.....	19
3.3 Metode Penelitian .....	19
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Analisis Statistika Deskriptif .....	21
4.2 Plot Data Asli.....	24
4.3 Uji Kestasioneran Data .....	25
4.3.1 Uji Kestasioneran Data Debit <i>Inflow</i> .....	26
4.3.2 Uji Kestasioneran Data Debit <i>Outflow</i> .....	27
4.3.3 Uji Kestasioneran Data Curah Hujan .....	28
4.4 Uji Kausalitas <i>Granger</i> .....	28
4.5 Penentuan Panjang <i>Lag</i> Optimal.....	30
4.6 Penentuan Orde Model VARX.....	31
4.7 Estimasi Parameter Model VARX.....	32
4.8 Uji Signifikansi Parameter Model VARX .....	34
4.9 Uji Asumsi Residual <i>White Noise</i> .....	35
4.10 Uji Asumsi <i>Normalitas</i> Multivariat .....	36
4.11 Peramalan Dengan Model VARX Terpilih .....	37
4.12 Uji Keakuratan Peramalan Model VARX Terpilih .....	41
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>44</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>47</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Analisis Statistika Deskriptif Data Bendungan Batu Tegi.....	22
2. Struktur Data Bendungan Batu Tegi.....	23
3. Hasil Uji ADF Debit <i>Inflow</i> .....	26
4. Hasil Uji ADF Debit <i>Inflow Differencing</i> Pertama.....	26
5. Hasil Uji ADF Debit <i>Outflow</i> .....	27
6. Hasil Uji ADF Debit <i>Outflow Differencing</i> Pertama .....	27
7. Hasil Uji ADF Curah Hujan.....	28
8. Hasil Uji Kausalitas <i>Granger</i> Variabel Debit <i>Inflow</i> .....	29
9. Hasil Uji Kausalitas <i>Granger</i> Variabel Debit <i>Outflow</i> .....	29
10. Hasil Uji Kausalitas <i>Granger</i> Variabel Curah Hujan .....	30
11. Nilai <i>Lag</i> yang Memungkinkan dan Nilai AIC.....	30
12. Orde Model VARX yang Memungkinkan dan Nilai AIC .....	31
13. Estimasi Parameter Model VARX (6,1) .....	32
14. Hasil Uji Signifikansi Parameter Model .....	34
15. Hasil Uji Portmanteau.....	35
16. Hasil Uji Jarque-Bera <i>Residual</i> .....	37
17. Hasil Peramalan Debit <i>Inflow</i> dan Debit <i>Outflow</i> Tahun 2021-2022 .....	38
18. Nilai <i>Mean Absolute Error</i> (MAE) Hasil Peramalan.....	41
19. Data Asli Bendungan Batu Tegi Tahun 2019-2020.....	48
20. Data Debit <i>Inflow</i> dan Debit <i>Outflow</i> Setelah Dilakukan <i>Differencing</i> .....	49
21. Nilai Informasi Kriteria Penentuan Panjang <i>Lag</i> Optimal.....	50
22. Data Residual Debit <i>Inflow</i> dan Debit <i>Outflow</i> .....	67



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar	Halaman
1. Plot Data Debit <i>Inflow</i> dan Debit <i>Outflow</i> Bendungan Batu Tegi.....	21
2. Plot Data Curah Hujan Bendungan Batu Tegi .....	22
3. Plot <i>Time Series</i> Debit <i>Inflow</i> Bendungan Batu Tegi .....	24
4. Plot <i>Time Series</i> Debit <i>Outflow</i> Bendungan Batu Tegi.....	24
5. Plot <i>Time Series</i> Curah Hujan Bendungan Batu Tegi.....	25
6. Plot <i>Residual</i> Q-Q Plot Debit <i>Inflow</i> dan Debit <i>Outflow</i> .....	36
7. Plot Data Hasil Peramalan Debit <i>Inflow</i> .....	39
8. Plot Data Hasil Peramalan Debit <i>Outflow</i> .....	39
9. Plot Data Asli dan Data Peramalan Debit <i>Inflow</i> .....	40
10. Plot Data Asli dan Data Peramalan Debit <i>Outflow</i> .....	40

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Pola berpikir manusia akan terus berkembang seiring dengan perubahan zaman. Pola pikir tersebut mempengaruhi cara seseorang berperilaku dan bersikap. Sebagai salah satu contoh adalah pola pikir manusia untuk memprediksi atau meramalkan sesuatu yang mungkin akan terjadi di masa depan. Manusia tidak dapat memastikan hal-hal yang akan terjadi. Namun, dengan melakukan prediksi atau peramalan dan melakukannya dengan meminimalisir galat atau *error* sekecil mungkin, maka hasil prediksi atau peramalan akan mendekati nilai sebenarnya. Prediksi atau peramalan yang dilakukan tersebut harus menggunakan data atau informasi yang relevan. Oleh karena itu menurut Ferry, dkk. (2018), data yang relevan dan pemilihan teknik peramalan yang tepat menjadi hal yang perlu diperhatikan sebelum melakukan prediksi atau peramalan. Dua hal tersebut akan sangat mempengaruhi hasil prediksi atau peramalan yang akurat.

Terdapat berbagai macam jenis data, salah satunya yaitu data deret waktu. Data deret waktu merupakan sekumpulan data berbentuk suatu nilai dari hasil observasi terhadap suatu kejadian atau peristiwa yang diukur dalam waktu tertentu dengan interval waktu yang konstan. Interval waktu tersebut seperti tahunan, bulanan, mingguan, harian, dan sebagainya. Untuk melakukan analisis data deret waktu, terdapat berbagai macam jenis analisis data yang dapat digunakan. Berdasarkan jumlah peubah atau variabel yang diamati, terdapat analisis data deret waktu univariat dan multivariat. Pada analisis data deret waktu multivariat, variabel yang diamati tidak hanya dipengaruhi oleh periode pengamatan sebelumnya, namun dipengaruhi oleh variabel lain juga pada periode pengamatan sebelumnya. Salah satu metode analisis data deret waktu multivariat yaitu *Vector Autoregressive Exogenous* atau VARX (Vinie dkk., 2019).

Menurut Ferry, dkk. (2018), metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) adalah perluasan dari metode *Vector Autoregressive* (VAR). Hal ini karena metode VARX merupakan metode VAR dengan adanya tambahan variabel eksogen didalamnya. Berbeda halnya dengan metode VAR, penerapan metode VARX menggunakan dua jenis variabel dalam pengamatan, yaitu variabel endogen dan eksogen. Metode VARX adalah salah satu metode analisis data deret waktu multivariat yang bertujuan untuk menjelaskan perubahan data dan hubungan timbal balik antara variabel endogen dan variabel eksogen. Untuk pemodelan metode VARX dapat dinotasikan dengan  $VARX(p,q)$  dengan  $p$  adalah orde untuk variabel endogen dan  $q$  adalah orde untuk variabel eksogen.

Melihat hal tersebut, peranan statistika sangat penting dalam proses peramalan terlebih penerapannya dalam kasus di kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh seperti yang kita ketahui bahwa dalam satu tahun, Indonesia memiliki dua musim, antara lain musim hujan dan musim kemarau. Umumnya pada bulan Oktober hingga April terjadi musim hujan dan pada bulan April hingga Oktober terjadi musim kemarau. Penyebaran curah hujan yang tidak sama rata pada musim hujan dan kemarau tersebut dapat menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah ketersediaan air secara signifikan. Hal ini dapat menyebabkan banjir karena curah hujan yang berlebih di musim hujan dan kekeringan karena kekurangan air pada musim kemarau. Untuk mengatasi hal tersebut agar menjaga keseimbangan jumlah air dan memaksimalkan pemanfaatan air yang ada, banyak bendungan yang telah dibangun di Indonesia. Salah satu bendungan yang ada yaitu Bendungan Batu Tegi. Bendungan Batu Tegi berlokasi di Pekon Batu Tegi, Kecamatan Air Naningan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Lokasinya kurang lebih 90 km sebelah barat daya Kota Bandar Lampung (Amran, 2012).

Menurut Somura, *et al.* (2018), daerah tangkapan Bendungan Batu Tegi memiliki ketinggian elevasi antara 138 hingga 1.740 mdpl dengan iklim lembab tropis dan rata-rata curah hujan tahunan yaitu 1.948 mm. Sejak 2012 hingga 2016 rata-rata temperatur bulanan antara 25.8°C hingga 28.7°C. Terdapat tiga sungai yang mengalir ke Bendungan Batu Tegi antara lain Sungai Sekampung Hulu, Sungai

Sangharus, dan Sungai Rilau. Bendungan tersebut direncanakan untuk mengatasi permintaan beras yang terus meningkat di Indonesia khususnya Provinsi Lampung dan juga untuk mengatur sumber daya air ketika menstabilkan produksi beras terutama pada musim kemarau. Tujuan utama dari Bendungan Batu Tegi yaitu sebagai penyimpanan suplai irigasi seluas 63.000 ha dan menjalankan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)  $2 \times 14$  MW dengan volume Bendungan sebesar 578 juta  $m^3$ . Selain itu air dari bendungan tersebut juga dimanfaatkan sebagai salah satu sumber utama air baku Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Bandar Lampung (Ridwan dkk., 2013).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang telah menjelaskan penggunaan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) dalam kasus di kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh yaitu pemodelan *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) dalam memprediksi hasil produksi karet PTPN XIII Provinsi Kalimantan Barat oleh Vinie, Martha, dan Rizki tahun 2019. Selain itu Rosyidah, Rahmawati, dan Prahutama tahun 2017 yang meneliti pemodelan *Vector Autoregressive X* (VARX) untuk meramalkan jumlah uang beredar di Indonesia. Berdasarkan beberapa penelitian yang disebutkan diatas, dapat dipahami bahwa metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) digunakan untuk meneliti kasus yang memiliki variabel endogen dan variabel eksogen. Hal ini membuat peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan menerapkan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) pada data debit *inflow* ( $m^3/det$ ), debit *outflow* ( $m^3/det$ ), dan curah hujan (mm) di Bendungan Batu Tegi. Penerapan metode VARX tersebut bertujuan agar dapat memperoleh data hasil peramalan debit *inflow* (pengaliran masuk) dan debit *outflow* (pengaliran keluar) Bendungan Batu Tegi untuk periode waktu yang akan datang. Hasil peramalan tersebut nantinya dapat digunakan sebagai tolak ukur dalam membuat perencanaan dan kebijakan pada pengelolaan Bendungan Batu Tegi. Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian tersebut, peneliti menggunakan bantuan *software R-Studio* dalam melakukan peramalan data Bendungan Batu Tegi.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) pada data Bendungan Batu Tegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.
2. Menentukan model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) terbaik pada data Bendungan Batu Tegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.
3. Melakukan peramalan debit *inflow* (pengaliran masuk) dan debit *outflow* (pengaliran keluar) Bendungan Batu Tegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung untuk beberapa periode yang akan datang.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai sarana pembelajaran pengembangan wawasan dan menambah referensi dalam penerapan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) pada kasus di kehidupan nyata. Selain itu, penelitian tersebut dapat dijadikan sebagai tolak ukur dalam meramalkan debit *inflow* (pengaliran masuk) dan debit *outflow* (pengaliran keluar) Bendungan Batu Tegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung untuk merancang strategi dan kebijakan yang harus dipertimbangkan dan diambil kedepannya baik bagi pengelola Bendungan Batu Tegi maupun pemangku kepentingan bersangkutan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif didefinisikan sebagai analisis yang digunakan dengan tujuan untuk menggambarkan suatu data. Pada analisis deskriptif terdapat pengukuran gejala pusat misalnya *Mean*, *Mode*, dan *Median*. Selain itu, terdapat pula pengukuran penyimpangan yaitu *Range*, *Standard Deviation Baku*, dan *Variance*. Gambaran secara sistematis suatu data mengenai fakta-fakta dan fenomena yang diteliti dapat dilakukan dengan analisis deskriptif (Riduwan & Akdon, 2007). Tahapan analisis deskriptif ini juga sebagai deteksi awal untuk menentukan metode apa yang tepat untuk digunakan pada analisis statistika selanjutnya.

### 2.2 Peramalan

Menurut Roza, dkk. (2020), peramalan merupakan prosedur untuk menghasilkan informasi faktual tentang situasi masa depan berdasarkan informasi atau data yang telah ada. Teknik peramalan dapat dilakukan dengan dua cara, antara lain:

1. Secara kualitatif yaitu teknik peramalan yang menekankan pada pendapat pribadi seseorang. Hal ini penting karena hasil peramalan ditentukan berdasarkan pemikiran yang bersifat intuisi, pendapat, dan pengetahuan dari orang yang menyusunnya.
2. Secara kuantitatif yaitu teknik peramalan yang menitik beratkan pada perhitungan numerik dengan menggunakan berbagai metode statistika. Hasil peramalan yang dihasilkan sangat bergantung berdasarkan metode yang diterapkan dalam peramalan tersebut.

Metode peramalan kuantitatif dibagi menjadi dua jenis model peramalan yaitu:

1. Model kausal yang memiliki tujuan untuk mengetahui hubungan sebab akibat dan meramalkan nilai variabel tersebut pada periode selanjutnya.
2. Model deret waktu (*time series*) dimana metode ini pendugaan masa depan dilakukan berdasarkan nilai masa lalu dari suatu variabel.

### 2.3 Deret Waktu

Menurut Spiegel & Stephens (2007), deret waktu (*time series*) merupakan serangkaian nilai pengamatan (observasi) yang diambil selama kurun waktu tertentu dan pada umumnya dalam interval waktu yang tetap. Beberapa contoh deret waktu adalah data inflasi tahunan selama beberapa tahun, data iklim harian di stasiun BMKG selama sebulan, suhu udara sebuah kota dalam sehari, dan penjualan bulanan pasar swalayan selama kurun waktu satu tahun. Secara matematis, deret waktu didefinisikan dengan nilai-nilai  $Y_1, Y_2, \dots$  dari suatu variabel  $Y$  (inflasi, iklim, suhu udara, penjualan, dan sebagainya) pada titik-titik waktu  $t_1, t_2, \dots$ . Dengan demikian,  $Y$  adalah sebuah fungsi dari  $t$  dan disimbolkan dengan  $Y = F(t)$ .

Menurut Cahyani & Wachidah (2020), data deret waktu adalah kumpulan observasi atau pengamatan secara beruntun dari waktu ke waktu. Berdasarkan jumlah peubahnya, analisis data deret waktu dibagi menjadi dua jenis, yaitu analisis data deret waktu univariat dan multivariat. Analisis data yang hanya menggunakan satu peubah atau variabel dalam pengamatan disebut dengan analisis data deret waktu univariat. Salah satu metode yang termasuk ke dalam analisis data deret waktu univariat yaitu *Autoregressive (AR)*, *Moving Average (MA)*, *Autoregressive Moving Average (ARMA)*, dan *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*. Untuk analisis data deret waktu multivariat digunakan ketika menganalisis beberapa variabel yang saling berkaitan satu dengan yang lain. Salah satu metode yang termasuk ke dalam analisis data deret

waktu multivariat adalah *Vector Autoregressive* (VAR), *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX), dan *Cointegration*.

## 2.4 Model AR

Model *autoregressive* (AR) bertujuan untuk menggambarkan suatu kondisi dimana nilai saat ini dari data deret waktu bergantung pada nilai pada periode sebelumnya (Rosyidah dkk., 2017). Menurut Wei (2006), model *autoregressive* (AR) dengan orde  $p$  (AR( $p$ )) menyatakan bahwa data periode sekarang dipengaruhi oleh data pada periode sebelumnya. Secara umum model AR( $p$ ) memenuhi persamaan berikut:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

dengan:

$z_t$	= nilai variabel $z_t$ pada waktu ke $t$
$z_{t-1}, z_{t-2}, \dots, z_{t-p}$	= nilai dari <i>time series</i> pada waktu $t-1, t-2, \dots, t-p$
$\phi_i$	= parameter <i>autoregressive</i> ke- $i$ dengan $i = 1, 2, \dots, p$
$\varepsilon_t$	= nilai <i>error</i> pada saat $t$ , dengan $\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma^2)$
$p$	= orde AR( $p$ )

## 2.5 Model VAR

Menurut Enders (2014), *vector autoregressive* (VAR) adalah model yang dikembangkan dengan tujuan memberikan alternatif pendekatan pemodelan ekonomi, yang diketahui memiliki banyak hubungan antar variabel yang saling berkaitan yang digunakan dalam model persamaan simultan. Model *vector autoregressive* (VAR) adalah perluasan dari model *autoregressive* (AR) dengan lebih dari satu variabel. Pada model VAR semua variabel dianggap sebagai variabel endogen dan saling berkaitan (Rosyidah dkk., 2017). Ada beberapa keuntungan penggunaan model VAR yang umum digunakan dalam analisis data deret waktu multivariat, yaitu modelnya relatif mudah untuk diestimasi, yaitu



untuk model VAR, LSE secara asimtotik setara dengan metode MLE dan OLS. Selain itu, sifat-sifat model VAR telah dibahas secara luas dalam literatur dan juga model VAR mirip dengan regresi linier berganda multivariat (Tsay, 2014).

Bentuk umum dari model VAR dengan orde  $p$  (VAR( $p$ )) menurut Wei (2006) adalah sebagai berikut:

$$z_t = a_t + \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

dengan:

$z_t, z_{t-i}$  = vektor berukuran  $m \times 1$  berisi  $m$  variabel yang masuk dalam model VAR pada waktu  $t$  dan  $t-i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$

$a_t$  = vektor ukuran  $m \times 1$  berisi konstanta

$\phi_i$  = matriks parameter variabel endogen berukuran  $m \times m$  untuk setiap  $i = 1, 2, \dots, p$

$\varepsilon_t$  = vektor *error* berukuran  $m \times 1$

Jika dimisalkan model VAR orde 1 (VAR(1)) dengan dua variabel, maka dapat ditulis sebagai berikut:

$$z_{1,t} = a_{10} + \phi_{11} z_{1,t-1} + \phi_{12} z_{2,t-1} + \varepsilon_{1,t} \quad (2.3)$$

$$z_{2,t} = a_{20} + \phi_{21} z_{1,t-1} + \phi_{22} z_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t} \quad (2.4)$$

maka dalam bentuk matriks dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} z_{1,t} \\ z_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,t-1} \\ z_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1,t} \\ e_{2,t} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Model *Vector Autoregressive* (VAR) dengan variabel eksogen ditambahkan ke model dapat dikembangkan menjadi model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) (Cahyani & Wachidah, 2020).

## 2.6 Model VARX

Terdapat beberapa contoh model analisis data deret waktu multivariat salah satunya yaitu model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX). Menurut Rosyidah, dkk. (2017), model VARX merupakan perluasan dari model VAR dengan menambahkan variabel eksogen ke dalam model. Model VARX merupakan model deret waktu yang memodelkan beberapa variabel endogen yang saling berhubungan pada waktu sebelumnya dan terdapat variabel eksogen yang mempengaruhi variabel endogen tersebut.

Menurut Cahyani & Wachidah (2020), bentuk umum model VARX adalah  $VARX(p,q)$  dimana  $p$  adalah orde untuk variabel endogen dan  $q$  adalah orde untuk variabel eksogen. Model  $VARX(p,q)$  tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$z_t = a_t + \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \Theta_1 x_{t-1} + \dots + \Theta_q x_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

dengan:

- $z_t, z_{t-i}$  = vektor berukuran  $m \times 1$  berisi  $m$  variabel yang masuk dalam model VAR pada waktu  $t$  dan  $t-i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$
- $a_t$  = vektor ukuran  $m \times 1$  berisi konstanta
- $\phi_i$  = matriks parameter variabel endogen berukuran  $m \times m$  untuk setiap  $i = 1, 2, \dots, p$
- $x_{t-j}$  = vektor dari variabel eksogen pada waktu  $t-j$ ,  $j = 1, 2, \dots, q$
- $\Theta_j$  = matriks parameter variabel eksogen berukuran  $m \times q$  untuk setiap  $j = 1, 2, \dots, q$
- $\varepsilon_t$  = vektor *error* berukuran  $m \times 1$

Menurut Warsono, *et al.* (2019), salah satu tujuan utama analisis data deret waktu multivariat adalah peramalan. Peramalan dengan menggunakan model VAR ( $p$ ) pada dasarnya hampir sama dengan peramalan dengan menggunakan model AR ( $p$ ) univariat. Pertama, dasar dalam proses peramalan adalah bahwa model VAR terbaik harus diidentifikasi menggunakan kriteria tertentu untuk memilih model

terbaik. Setelah model terbaik ditemukan, dapat digunakan untuk peramalan. Demikian pula dengan penggunaan model VARX  $(p,q)$ .

## 2.7 Stasioneritas Data

Asumsi stasioneritas dalam analisis data deret waktu adalah fundamental dan harus diperiksa sebelum menganalisis data. Beberapa metode untuk memeriksa stasioneritas data deret waktu yaitu berdasarkan plot data atau melalui uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) (Warsono *et al.*, 2019). Menurut Hendayanti & Nurhidayati (2018), uji stasioneritas digunakan untuk menganalisis ada atau tidaknya akar unit dalam variabel yang diestimasi. Regresi palsu akan terjadi ketika variabel yang akan diestimasi mengandung akar unit. Regresi palsu sebenarnya menunjukkan bahwa persamaan tersebut tampaknya memiliki variabel yang saling berkorelasi namun nyatanya hubungan antara variabel-variabel tersebut tidak valid.

Pengujian stasioneritas data yang sangat populer diperkenalkan oleh David Dickey dan Wayne Fuller yaitu uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Untuk memudahkan pengertian mengenai pengujian stasioneritas data dengan uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF), berikut ini model *autoregressive* (AR) dengan orde 1 (AR(1)) seperti persamaan berikut:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

Jika persamaan (2.7) dikurangi  $z_{t-1}$  pada sisi kanan dan kiri akan menghasilkan persamaan yaitu:

$$\begin{aligned} z_t - z_{t-1} &= \phi_1 z_{t-1} - z_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta z_t &= (\phi_1 - 1) z_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta z_t &= \phi^* z_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8) dapat dibuat hipotesis yaitu:

$H_0 : \phi^* = 0$  (Data deret waktu tidak stasioner atau mengandung akar unit)

$H_1 : \phi^* < 0$  (Data deret waktu stasioner atau tidak mengandung akar unit)

dengan statistik uji yang digunakan adalah:

$$\tau = \frac{\hat{\phi}^*}{SE(\hat{\phi}^*)} \quad (2.9)$$

jika  $\tau > \tau_{(\alpha,n)}$  atau  $p\text{-value} < 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang berarti data deret waktu stasioner atau tidak mengandung akar unit, sedangkan jika  $\tau \leq \tau_{(\alpha,n)}$  maka tidak cukup alasan untuk menolak  $H_0$  yang berarti data deret waktu tidak stasioner atau mengandung akar unit. Jika data deret waktu tidak stasioner, maka akan dilakukan *differencing* kemudian pengujian stasioneritas dilakukan kembali (Vinie dkk., 2019).

## 2.8 Uji Kausalitas *Granger*

Menurut Enders (2014), uji kausalitas *granger* bertujuan untuk melihat apakah *lag* pada satu variabel cocok dengan persamaan untuk variabel lain. Dengan kata lain, uji kausalitas *granger* menguji hubungan antara variabel satu dengan variabel lainnya.

Seringkali dinyatakan bahwa adanya hubungan kausal atau hubungan timbal balik dari berbagai variabel. Menurut Purnomo (2001), jika terdapat dua variabel yaitu variabel X dan Y, maka hasil uji kausalitas *granger* yang memungkinkan yaitu:

1. Terdapat kausalitas satu arah antara variabel Y ke X
2. Terdapat kausalitas satu arah antara variabel X ke Y
3. Tidak ada hubungan kausalitas antara kedua variabel X dan Y
4. Terdapat kausalitas dua arah antara variabel Y dan variabel X

## 2.9 Panjang *Lag* Optimal

Penentuan panjang *lag* optimal harus dilakukan dengan tepat, karena penentuan panjang *lag* optimal juga dilakukan untuk mencari nilai orde  $p$  dan  $q$  sehingga nantinya model yang dihasilkan akan memenuhi asumsi yang ada (Ocampo & Rodriguez, 2011). Menurut Montgomery, *et al.* (2015), penentuan panjang *lag*

optimal dapat menggunakan nilai kriteria informasi yang sering digunakan yaitu *Akaike Information Criterion* (AIC). Panjang *lag* yang optimal adalah *lag* dengan nilai AIC terkecil yang dapat menentukan mana model terbaik diantara model-model yang memungkinkan.

## 2.10 Identifikasi Model VARX

Langkah pertama dalam mendefinisikan model VARX( $p, q$ ) adalah dengan menentukan orde  $p$  dari VAR( $p$ ) dan kemudian menentukan orde  $q$  dari variabel eksogen (Rosyidah dkk., 2017). Untuk menentukan orde  $p$  dan orde  $q$ , dapat digunakan nilai minimum dari nilai kriteria pemilihan model. Kriteria pemilihan model yang umum digunakan yaitu *Akaike Information Criterion* (AIC). Menurut Cahyani & Wachidah (2020), nilai AIC dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$AIC(p) = \ln(|\Sigma p|) + \frac{2m^2h}{n} \quad (2.10)$$

dengan:

- $|\Sigma p|$  = determinan matriks kovarian *residual* model VAR( $p$ )
- $n$  = banyaknya pengamatan
- $h$  = panjang *lag*
- $m$  = banyaknya variabel endogen dalam model

Idealnya, nilai AIC akan sangat kecil dan dapat bernilai negatif. Ketika kecocokan model meningkat, maka nilai AIC akan mendekati  $-\infty$ . Kita dapat menggunakan kriteria tersebut untuk menentukan model yang paling tepat. Model A dikatakan lebih cocok dibandingkan model B jika nilai AIC pada model A lebih kecil daripada model B (Enders, 2014).

## 2.11 Estimasi Parameter Model VARX

Estimasi parameter model VARX dilakukan cara mengkuadratkan galat agar diperoleh galat yang kecil menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (MKT) (Rosyidah dkk., 2017). Menurut Cahyani & Wachidah (2020), estimasi parameter dilakukan dengan tujuan untuk menyatakan fungsi densitas tanpa menggunakan matriks parameter tetapi dengan menggunakan matriks parameter struktural. Secara bentuk matriks dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2.11)$$

dengan:

$$Y = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}, \text{ matriks berukuran } n \times 1$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{1-1} & \cdots X_{1-p} & X_{1-1} & \cdots X_{1-q} \\ \vdots & \vdots & \ddots \vdots & \vdots & \vdots \vdots \\ 1 & X_{n-1} & \cdots X_{n-p} & X_{n-1} & \cdots X_{n-q} \end{bmatrix}, \text{ matriks berukuran } n \times (p+q+1)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} a \\ \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_p \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_q \end{bmatrix}, \text{ matriks berukuran } (p+q+1) \times 1$$

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}, \text{ matriks berukuran } n \times 1$$

Untuk meminimumkan  $\varepsilon^T \varepsilon$  dari persamaan (2.11) diperoleh:

$$\varepsilon = Y - X\beta \quad (2.12)$$

oleh karena itu,

$$\begin{aligned} \varepsilon^T \varepsilon &= (Y - X\beta)^T (Y - X\beta) \\ &= Y^T Y - Y^T X\beta - \beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \\ &= Y^T Y - 2\beta^T X^T Y + \beta^T X^T X\beta \end{aligned} \quad (2.13)$$

Perhitungan berikut dilakukan untuk mendapatkan nilai minimum jumlah kuadrat galat

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \varepsilon^T \varepsilon}{\partial \beta} &= Y^T Y - 2\beta^T X^T Y + \beta^T X^T X \beta \\
&= -2X^T Y + 2X^T X \beta \\
X^T X \beta &= X^T Y \\
\beta &= (X^T X)^{-1} X^T Y
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Maka nilai estimasi parameter untuk  $\beta$  adalah  $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$

## 2.12 Uji Signifikansi Parameter Model VARX

Model VARX yang terbentuk dari hasil estimasi parameter model selanjutnya dilakukan uji signifikansi parameter. Menurut Rosyidah, dkk. (2017), uji signifikansi parameter model VARX digunakan untuk menentukan parameter apa saja yang berpengaruh signifikan terhadap model VARX. Pengujian signifikansi parameter dapat menggunakan uji t statistik dengan hipotesis sebagai berikut:

$H_0$  : parameter tidak berpengaruh signifikan terhadap model VARX

$H_1$  : parameter berpengaruh signifikan terhadap model VARX

dimana uji t statistik untuk parameter endogen memiliki rumus yaitu:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}_i}{SE(\hat{\phi}_i)} \tag{2.15}$$

dan uji t statistik untuk parameter eksogen memiliki rumus yaitu:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}_j}{SE(\hat{\phi}_j)} \tag{2.16}$$

jika nilai  $|t_{hitung}| > t_{\frac{\alpha}{2},(n-m)}$  atau  $p\ value < \alpha$  maka  $H_0$  ditolak atau dengan kata lain parameter berpengaruh signifikan terhadap model VARX. Dimana  $n$  adalah jumlah pengamatan dan  $m$  adalah jumlah variabel endogen atau eksogen sesuai dengan pengujian signifikansi pada parameter endogen atau eksogen (Vinie dkk., 2019).

## 2.13 Asumsi Model VARX

Menurut Wei (2006), setelah model diidentifikasi dan parameter model diestimasi, maka perlu memeriksa kecukupan model sebelum melakukan peramalan, kontrol, dan tujuan lain. Sama seperti model univariat, dalam melakukan pemodelan VARX asumsi-asumsi yang sebaiknya dipenuhi yaitu asumsi *residual white noise* dan asumsi berdistribusi normal multivariat (Rosyidah dkk., 2017). Hal ini digunakan untuk memastikan bahwa model yang dihasilkan memenuhi asumsi klasik dan layak digunakan.

### 2.13.1 Asumsi *Residual White Noise*

Menurut Cahyani & Wachidah (2020), untuk menguji *residual white noise* maka digunakan uji Portmanteau. Uji Portmanteau bertujuan untuk mengetahui korelasi antar vektor *residual* dari model yang sudah terpilih. Uji Portmanteau menggunakan semua *residual* dari sampel dengan statistik uji sebagai berikut:

$$Q = n(n + 2) \sum_{k=1}^k (n - k)^{-1} \hat{\rho}_{k-p-q}^2 \quad (2.17)$$

dengan:

$\hat{\rho}$  = autokorelasi *residual*

k = banyaknya *lag residual*

n = banyaknya pengamatan

dan memiliki hipotesis uji sebagai berikut:

$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$  (*residual* memenuhi asumsi *white noise*)

$H_1 : \text{minimal ada satu } \rho_j \neq 0, j = 1, 2, 3, \dots, k$  (*residual* tidak memenuhi asumsi *white noise*)

ketika  $Q > X_{k-p-q}^2$  atau *p-value*  $< \alpha$ , maka tolak  $H_0$  yang artinya *residual* tidak memenuhi asumsi *white noise*.



### 2.13.2 Asumsi *Normalitas Multivariat*

Menurut Santoso (2018), uji *normalitas* bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi data mengikuti distribusi normal, yaitu data mengikuti atau mendekati distribusi yang datanya berbentuk lonceng. Data yang baik adalah data yang memiliki pola seperti sebaran normal. Artinya, distribusi data tidak melenceng ke kiri atau ke kanan. Uji *normalitas* pada multivariat sebenarnya kompleks karena harus dilakukan pada seluruh variabel secara bersama-sama. Namun uji ini bisa juga dilakukan pada variabel secara individual, dengan logika bahwa jika secara individual masing-masing variabel memenuhi asumsi *normalitas* maka secara bersama-sama atau secara multivariat, variabel-variabel tersebut juga dianggap memenuhi asumsi *normalitas*.

Salah satu metode untuk menguji kenormalan adalah dengan plot *residual* terhadap *residual* yang distandarisasi (*residual* dibagi simpangan baku). Bila plot tersebut membentuk garis lurus maka *residual* mengikuti distribusi normal. Selain melalui plot *residual*, untuk menguji kenormalan dapat menggunakan uji Jarque-Bera (*JB test*). Uji ini diperkenalkan oleh Fisher (1948), tetapi dipopulerkan oleh Jarque-Bera sehingga dinamakan uji Jarque-Bera (Firdaus, 2020). Uji Jarque-Bera memiliki hipotesis sebagai berikut:

$H_0$  : *residual* berdistribusi normal multivariat

$H_1$  : *residual* tidak berdistribusi normal multivariat

dengan statistik uji yaitu:

$$JB = \frac{n}{6} \left( S^2 + \frac{(k-3)^2}{4} \right) \quad (2.18)$$

dengan:

$n$  = banyaknya pengamatan

$S$  = kemenjuluran (*skewness*)

$k$  = keruncingan (*kurtosis*)

jika  $JB > X^2$  tabel atau  $p\text{-value} < \alpha$ , maka tolak  $H_0$  yang berarti *residual* tidak berdistribusi normal multivariat (Cahyani & Wachidah, 2020).

## 2.14 Keakuratan Peramalan

Kemampuan model dalam peramalan dapat dilihat dari hasil perhitungan keakuratan peramalan. Salah satu ukuran statistik yang dapat digunakan untuk mengukur keakuratan peramalan adalah *Mean Absolute Error* (MAE). Menurut Suryanto & Muqtadir (2019), *Mean Absolute Error* (MAE) menghitung rata-rata kesalahan/ *error* absolut antara hasil peramalan dengan nilai sebenarnya. MAE memberikan bobot rata-rata kesalahan/ *error* yang sama untuk keseluruhan data secara intuitif. Pada kasus peramalan, MAE menjadi tepat karena seluruh data memiliki bobot yang sama. MAE memiliki rentang nilai dari 0 hingga  $\infty$ , semakin kecil nilai MAE akan semakin baik keakuratan peramalan yang ada. MAE memiliki rumus yaitu:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (2.19)$$

dengan:

$f_i$  = nilai peramalan data

$y_i$  = nilai aktual data

$n$  = jumlah data peramalan model VARX

## 2.15 Bendungan

Menurut Amran (2012), bendungan merupakan bangunan yang melintang sungai yang bertujuan untuk meninggikan muka air dan menyimpan air. Tujuan dan manfaat bendungan antara lain sebagai peningkatan manfaat area persawahan dan intensitas tanam, tenaga listrik, pengendalian banjir, pariwisata, dan perikanan.

Menurut Saidah, dkk. (2021), bendungan adalah bangunan air yang dapat berupa timbunan tanah, timbunan batu, beton dan/atau bata, yang bertujuan untuk menahan, menyimpan, dan menaikkan elevasi muka air. Bendungan juga sering dibuat khusus untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*) atau

untuk menampung lumpur. Bendungan juga memiliki kaitan dengan pengendalian banjir, bendungan memiliki fungsi untuk menampung debit banjir yang semuanya memasuki sungai atau kanal, sehingga dapat mengurangi beban saluran drainase atau sungai.

## 2.16 Bendungan Batu Tegi

Bendungan Batu Tegi berlokasi di Pekon Batu Tegi, Kecamatan Air Nanningan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Lokasinya kurang lebih 90 km sebelah barat daya Kota Bandar Lampung dan kurang lebih 65 km di hulu Bendung Argoguruh pada Sungai Sekampung (Amran, 2012).

Bendungan Batu Tegi merupakan salah satu aset Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung. Bendungan Batu Tegi adalah tipe bendungan timbunan batu dengan inti tanah kedap air (*rock fill dam*). Karakteristik tubuh bendungan yaitu panjang puncak adalah 701 meter, elevasi puncak  $\pm 284,50$  meter, lebar puncak 12 meter, tinggi bendungan 122 meter, volume timbunan  $9.641.071 \text{ m}^3$ , dan panjang *access gallery* adalah 233 meter (Direktorat Jenderal Kekayaan Negara, 2009).

Menurut Setiawan, dkk. (2017), kapasitas tampungan air Bendungan Batu Tegi dipengaruhi oleh debit *inflow* (pengaliran masuk) dari Sungai Way Sekampung dengan volume efektif bendungan adalah  $665 \times 106 \text{ m}^3$ . Bendungan Batu Tegi menyediakan 2.250 lt/dt air baku untuk air minum dan daya listrik sebesar  $2 \times 14$  MW. Biasanya pada musim kemarau bendungan mengalami kekurangan debit air karena pengaruh kurangnya curah hujan. Untuk itu, diperlukan elevasi muka air 274 meter di atas permukaan laut guna memenuhi kebutuhan irigasi dengan luas 46.108 ha yang mengairi 7 kabupaten/kota di Provinsi Lampung, sedangkan untuk keperluan PLTA, dibutuhkan elevasi muka air 253 meter di atas permukaan laut.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester genap sejak Februari hingga Juni 2022 tahun ajaran 2021/2022 bertempat di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

#### 3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu data debit *inflow* ( $m^3/det$ ), debit *outflow* ( $m^3/det$ ), dan curah hujan (mm) yang berasal dari data Bendungan Batu Tegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Dimana data debit *inflow* ( $m^3/det$ ) dan debit *outflow* ( $m^3/det$ ) sebagai variabel endogen, sedangkan curah hujan (mm) sebagai variabel eksogen. Data yang digunakan adalah data harian sejak 1 Januari 2019 hingga 31 Desember 2020. Total data yang digunakan adalah sebanyak 2.193 data.

#### 3.3 Metode Penelitian

Tahapan dalam melakukan penelitian tersebut dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis statistika deskriptif sebagai gambaran sistematis data yang faktual dan akurat.
2. Menguji kestasioneran semua variabel dengan menggunakan uji akar unit *Augmented Dicky Fuller* (ADF).

3. Menguji hubungan sebab akibat variabel satu dengan variabel lainnya menggunakan uji kausalitas *granger*.
4. Menentukan panjang *lag* optimal untuk membatasi *lag* pada model VARX.
5. Menentukan orde model VARX dengan melihat nilai minimum kriteria informasi yang sering digunakan yaitu *Akaike's Information Criterion* (AIC).
6. Melakukan estimasi parameter model VARX dengan estimasi Metode Kuadrat Terkecil (MKT).
7. Menguji signifikansi parameter model VARX menggunakan uji t statistik.
8. Menguji kelayakan residual model VARX yang meliputi asumsi – asumsi berikut:
  - a. Asumsi *residual white noise* dengan menggunakan uji Portmanteau.
  - b. Asumsi *normalitas* multivariat dengan menggunakan uji Jarque-Bera.
9. Melakukan peramalan untuk periode waktu yang akan datang dengan model VARX terpilih.
10. Menguji keakuratan peramalan model VARX terpilih dengan melihat nilai *Mean Absolute Error* (MAE).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa analisis untuk meramalkan debit *inflow* dan debit *outflow* Bendungan Batu Tegi, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) dapat diterapkan untuk melakukan peramalan debit *inflow* dan debit *outflow* Bendungan Batu Tegi dengan hasil peramalan yang cocok dan baik.
2. Model VARX terbaik yang terpilih merupakan model VARX (6,1) dengan model persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -2,451 \\ 0,477 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,40 & 0,612 \\ -0,02 & -0,441 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -0,125 & 0,508 \\ -0,057 & -0,361 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-2) \\ Z_2(t-2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,004 & 0,327 \\ -0,065 & -0,249 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-3) \\ Z_2(t-3) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -0,024 & 0,191 \\ -0,038 & -0,234 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-4) \\ Z_2(t-4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,056 & 0,146 \\ -0,010 & -0,080 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-5) \\ Z_2(t-5) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -0,001 & -0,004 \\ -0,031 & -0,130 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1(t-6) \\ Z_2(t-6) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,098 \\ -0,017 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t-1) \\ x_2(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \end{bmatrix} \quad (5.1) \end{aligned}$$

3. Diperoleh data hasil peramalan debit *inflow* dan debit *outflow* sebanyak 546 hari kedepan sejak 1 Januari 2021 hingga 30 Juni 2022. Hasil peramalan yang dihasilkan dikategorikan baik karena nilai MAE variabel debit *inflow* dan debit *outflow* memiliki keakuratan peramalan yang baik pula.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan pada penelitian tersebut, maka saran yang dapat peneliti berikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya jika ingin melakukan penelitian yang serupa diharapkan melakukan peramalan debit *inflow*, debit *outflow*, dan curah hujan Bendungan Batu Tegi menggunakan data akumulasi sebanyak sepuluh hari atau data dasarian agar menghindari data yang bernilai nol.
2. Peramalan debit *outflow* Bendungan Batu Tegi dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemodelan model VARX, namun nilai debit *outflow* (pengaliran keluar) yang dikeluarkan oleh Bendungan Batu Tegi pada kenyataannya tetap bergantung pada permintaan suplai air pada waktu tertentu.
3. Jika ingin melakukan penelitian yang serupa diharapkan dapat melakukan peramalan data debit *inflow* dan debit *outflow* Bendungan Batu Tegi menggunakan metode peramalan yang lain selain menggunakan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX).
4. Untuk melakukan peramalan pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan model VARX yang telah memenuhi semua asumsi untuk memastikan model yang digunakan memenuhi kecukupan model VARX.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y. 2012. Pemberdayaan Masyarakat Dalam Rangka Pengelolaan Waduk dan Daerah Tangkapan Air Waduk Batu Tegi. *Jurnal TAPAK*. **02**(1): 50-55.
- Cahyani, E. & Wachidah, L. 2020. Pemodelan *Vector Autoregressive X* (VARX) Untuk Meramalkan Impor Ekspor Migas dan Non Migas di Indonesia, hlm. 41-48. Prosiding Statistika Seminar Penelitian Sivitas Akademika Unisba, Bandung.
- Chang, P. C., Wang, Y. W., & Liu, C. H. 2007. The Development of A Weighted Evolving Fuzzy Neural Network For PCB Sales Forecasting. *Journal Expert Systems with Applications*. **32**: 86-96.
- DJKN. 2009. Bendungan Batutegi. <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/berita/baca/2138/Bendungan-Batutegi.html>. Diakses pada 21 Oktober 2021.
- Enders, W. 2014. *Applied Econometric Time Series*. 4<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc., USA.
- Ferry, C. R., Irwan, & Nurfadilah. 2018. Peramalan Tingkat Suku Bunga Pasar Uang Antar Bank (PUAB) dengan *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX). *Jurnal MSA*. **06**(1): 51-60.
- Firdaus, M. 2020. *Aplikasi Ekonometrika dengan E-Views, Stata, dan R*. IPB Press, Bogor.
- Hendayanti, N. P. N. & Nurhidayati, M. 2018. Pemodelan Inflasi, Uang Beredar, dan Nilai Tukar Rupiah Dengan VARX, hlm. 966-972. Prosiding Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi, Pontianak.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. 2015. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc., USA.



- Ocampo, S. & Rodriguez, N. 2011. *An Introductory Review of A Structural VAR-X Estimation and Applications*. Borradores de Economia, Kolombia.
- Purnomo, D. 2001. Penggunaan Metode *Granger* Untuk Uji Kausalitas. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*. **02**(1): 91-100.
- Riduwan & Akdon. 2007. *Rumus dan Data Dalam Analisis Statistika*. Edisi Kedua. Alfabeta, Bandung.
- Ridwan, Sudira, P., Susanto, S., dkk. 2013. Manajemen Sumberdaya Air Daerah Aliran Sungai Sekampung di Antara Bendungan Batutegi dan Bendung Argoguruh, Propinsi Lampung: Kerangka Analitis Penyusunan Pola Operasional Waduk Harian. *Jurnal Agritech*. **33**(2): 226-233.
- Rosyidah, H., Rahmawati, R., & Prahutama, A. 2017. Pemodelan *Vector Autoregressive X* (VARX) Untuk Meramalkan Jumlah Uang Beredar di Indonesia. *Jurnal Gaussian*. **06**(3): 333-343.
- Roza, R., Fauzan, M., N., & Rahayu, W., I. 2020. *Tutorial Sistem Informasi Prediksi Jumlah Pelanggan Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda Berbasis Web Menggunakan Framework Codeigniter*. Kreatif Industri Nusantara, Bandung.
- Saidah, H., Nur, N., K., Mukrim, P., R., R., M., I., dkk. 2021. *Drainase Perkotaan*. Yayasan Kita Menulis, Medan.
- Santoso, S. 2018. *Mahir Statistik Multivariat Dengan SPSS*. PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Setiawan, A. H., Anwar, N., & Margini, N. F. 2017. Optimasi Pola Tanam Menggunakan Program Linier (Waduk Batu Tegi, Das Way Sekampung, Lampung). *Jurnal Hidroteknik*. **02**(1): 1-6.
- Somura, H., Yuwono, S., B., Ismono, H., *et al.* 2018. Relationship between Water Quality Variations and Land Use in The Batutegi Dam Watershed, Sekampung, Indonesia. *Lakes & Reservoirs, Journal of the International Lake Environment Committee (ILEC)*. **24**(1): 93-101.

- Spiegel, M., R. & Stephens, L., J. 2007. *Schaum's Outlines Teori dan Soal-Soal Statistik*. Ed. ke-3. Terjemahan Wiwit Kastawan & Irzam Harmein. Erlangga, Jakarta.
- Suryanto, A., A. & Muqtadir, A. 2019. Penerapan Metode *Mean Absolute Error* (MAE) Dalam Algoritma Regresi Linear Untuk Prediksi Produksi Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. **11**(1): 78-83.
- Tsay, R.S. 2014. *Multivariate Time Series Analysis*. John Wiley & Sons Inc., USA.
- Vinie, R.A.E., Martha, S., & Rizki, S.W. 2019. Model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) Dalam Memprediksi Hasil Produksi Karet PTPN XIII Provinsi Kalimantan Barat. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*. **08**(4): 667-674.
- Warsono, Russel, E., Wamiliana, *et al.* 2019. Vector Autoregressive with Exogenous Variable Model and its Application in Modeling and Forecasting Energy Data: Case Study of PTBA and HRUM Energy. *International Journal of Energy Economics and Policy*. **09**(2): 390-398.
- Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. 2<sup>nd</sup> Edition. Pearson Education Inc., USA.