

Bidang Unggulan: Mitigasi Bencana

Fakultas : MIPA

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
(PUU)**



**ANALISIS TINGGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN
LAUT MANADO, BITUNG DAN TAHUNA DENGAN
MENGUNAKAN MODEL GSTAR**

**Dr. NELSON NAINGGOLAN, M.Si
(NIDN: 0009036701)**

**TOHAP MANURUNG, S.Si, M.Si.
(NIDN: 0024127902)**

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI
NOVEMBER 2017**

Dibiayai Dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA)
Nomor: SP DIPA - 042.01.2.400959/2017 tanggal 21 April 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Unggulan Unsrat (PUU)

Judul ANALISIS TINGGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN LAUT MANADO, BITUNG
DAN TAHUNA DENGAN MENGGUNAKAN MODEL GSTAR

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : NELSON NAINGGOLAN
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
NIP/NIK : 196703091996031001
NIDN : 0009036701
Jabatan / Golongan : Lektor Kepala - IV/a
Fakultas / Program Studi : Fakultas MIPA - Matematika
Nomor HP : 081340737994
Alamat surel(e-mail) : n-nelson@unsrat.ac.id
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 Tahun
Biaya Yang Diusulkan : Rp. 30,000,000
Biaya Maksimum : Rp. 30,000,000

Anggota

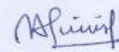
Anggota (1)
Nama : TOHAP MANURUNG
NIDN : 0024127902
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Mengetahui
Dekan Fakultas MIPA,



(Prof. Dr. Benny Pidontoan, M.Sc)
NIP/NIK : 196606041995121001

Manado, 24 November 2017
Ketua,



(DR. DRS NELSON NAINGGOLAN, M.Si)
NIP/NIK : 196703091996031001

Menyetujui,
Ketua LPPM UNSRAT



(Prof. Dr. Ir. Inneke F.M. Rumengan, M.Sc)
NIP/NIK : 195711051984032001

RINGKASAN

Matematika sebagai salah satu disiplin ilmu mempunyai banyak penerapan. Salah satu adalah pemodelan time series. Penerapan matematika dalam kehidupan sehari-hari, salah satu diantaranya adalah pemodelan time series, sebab model time series dapat dipergunakan dalam memprediksi (peramalan/forecasting). Pada penelitian ini akan dianalisis tinggi gelombang laut di perairan laut Provinsi Sulawesi Utara sebagai penerapan dari model time series Generalisasi Space Time Autoregresi (GSTAR). Model GSTAR merupakan model time series yang dapat menjangkau fenomena dengan karakteristik antar lokasi yang satu dengan lainnya heterogen dan mempunyai pola heteroskedastik. Pada penelitian ini ditinjau model GSTAR asumsi variansi konstan (homoskedastik) dan asumsi variansi berubah setiap saat (heteroskedastik). Pada umumnya fenomena riil dilapangan terutama yang berkaitan dengan data finansial merupakan time series dengan pola heteroskedastik (Lo, 2003), (Zivot, 2006).

Potensi sumberdaya wilayah pesisir dan laut potensial dikembangkan untuk jasa kelautan seperti wisata bahari dan perhubungan. Salah satu sektor maritim yang penting adalah kegiatan transportasi laut yang berupa pelayaran. Kondisi pelayaran dikatakan lancar apabila ketinggian ombak berada pada batas normal yaitu 1-2 meter. Kapal akan ditunda pemberangkatannya jika ketinggian ombak mencapai 3 meter atau lebih. Masyarakat dalam melaksanakan kegiatan pelayaran memerlukan informasi cuaca harian seperti tinggi gelombang dan angin kencang yang terjadi di tengah laut melalui laporan yang dikeluarkan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Pada penelitian ini akan dikaji model tinggi gelombang laut menggunakan model Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR).. Selanjutnya telah disusun bahasa pemrograman komputer yang menggunakan software SPlus8 dan program **R**. Program tersebut digunakan untuk analisis/mengolah data dalam rangka deskripsi data dan penaksiran parameter sehingga pengolahan data dapat dilakukan dengan mudah. Hasil penaksiran parameter menghasilkan bahwa tinggi gelombang di perairan laut Manado waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,501. Tinggi gelombang di perairan laut Bitung waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,866. Tinggi gelombang di perairan laut Tahuna waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,351.

Kata Kunci : Model GSTAR, tinggi gelombang laut.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa atas segala Rahmat dan Berkat-Nya penulis dapat melaksanakan penelitian yang berjudul “**Analisis Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Manado, Bitung dan Tahuna dengan Menggunakan Model GSTAR**”. Penelitian ini dilaksanakan hanya satu tahun saja yaitu tahun 2017. Hibah Penelitian ini merupakan salah satu hasil kompetisi tingkat Unsrat dengan dana DIPA Unsrat pada Skim Penelitian Unggulan Unsrat (PUU) tahun 2017. Surat perjanjian penugasan dalam rangka pelaksanaan program penelitian tahun anggaran 2016 No. SP DIPA - 042.01.2.400959/2017 tanggal 21 April 2017.

Dalam melaksanakan penelitian ini, peneliti menghadapi banyak tantangan serta rintangan tetapi oleh kerjasama tim pelaksana solusi diperoleh. Dana penelitian cair pada awal Agustus 2017, namun penelitian dilaksanakan mulai diumumkan bahwa penelitian ini sudah disetujui yaitu sekitar bulan Mei 2016.

Oleh karena itu kami berterimakasih kepada : Pemerintah Republik Indonesia melalui Unsrat atas bantuan dana penelitian, Rektor atas persetujuan pendanaannya, demikian juga kepada Dekan MIPA USRAT Prof. Dr. Benny Pinontoan, MSc atas bantuan untuk selalu member ijin kami melakukan penelitian. Ketua LPPM dan jajarannya juga kami berterimakasih atas segala bantuannya.

Demikianlah laporan ini Kami buat, kirannya dapat bermanfaat. Atasnya kami ucapkan terimakasih.

Manado, November 2017

Ketua Pelaksana

(Dr. Nelson Nainggolan, MSi)
NIP: 196703091996031001

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
BAB IV. METODE PENELITIAN	9
BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	10
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	13
DAFTAR PUSTAKA	14
LAMPIRAN-LAMPIRAN	15

BAB 1. PENDAHULUAN

Secara geografis, Propinsi Sulawesi Utara berada di ujung kepulauan Nusautara yang berperan sebagai pembatas negara Indonesia dengan Negara Pilipina sehingga memiliki nilai strategis. Karena letaknya yang strategis itulah, wilayah pesisir dan perairan di provinsi Sulawesi Utara sangat cocok dijadikan daerah pengembangan sektor maritim, seperti pelabuhan, perikanan, pelayaran dan pemukiman nelayan. Wilayah perairan propinsi Sulawesi Utara merupakan tempat yang sangat potensial dan ideal bagi pengembangan sektor perikanan (tangkap dan budidaya). Hal ini disebabkan karena luasnya perairan kawasan ini. Seperti diketahui, propinsi Sulawesi Utara dikelilingi oleh laut Sulawesi dan laut Maluku dengan sumber daya alam yang sangat besar. Disamping itu kondisi perairan laut tersebut belum tercemar. Potensi sumberdaya wilayah pesisir dan laut potensial dikembangkan untuk jasa kelautan seperti wisata bahari dan perhubungan. Salah satu sektor maritim yang penting adalah kegiatan transportasi laut yang berupa pelayaran. Kondisi pelayaran dikatakan lancar apabila ketinggian ombak berada pada batas normal yaitu 1-2 meter. Kapal akan ditunda pemberangkatannya jika ketinggian ombak mencapai tiga meter atau lebih. Masyarakat dalam melaksanakan kegiatan pelayaran memerlukan informasi cuaca harian seperti tinggi gelombang dan angin kencang yang terjadi di tengah laut melalui laporan yang dikeluarkan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Hal ini diperlukan agar masyarakat dapat merencanakan waktu keberangkatan kapal laut, sehingga diharapkan terhindar dari cuaca buruk. Cuaca buruk dalam dunia pelayaran dapat menimbulkan berbagai kecelakaan di tengah laut.

Model space time merupakan bagian dari suatu proses stokastik yaitu himpunan variabel acak yang diberi indeks waktu. Data space time adalah data yang diamati sebagai fungsi disamping bergantung pada waktu, juga bergantung pada lokasi. Data seperti ini sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, seperti dalam bidang geologi, iklim, ekonomi, dan tindak kriminal/kejahatan. Sebagai contoh data space time yang berhubungan dengan iklim adalah data curah hujan disamping bergantung pada waktu juga bergantung pada lokasi-lokasi.

Salah satu tujuan utama membangun model time series adalah kemampuan untuk memforecast (memprakirakan) nilai-nilai time series untuk waktu mendatang. Pemodelan time series dalam memprediksi nilai-nilai dari proses untuk periode ke depan adalah berdasarkan pada historis observasi. Hoistoris ini disebut himpunan informasi yang tersedia hingga waktu t , yaitu : $\{y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}\}$. Berdasarkan pada historis time series waktu t , maka yang akan diprediksi adalah nilai y_{t+h} , dimana h adalah satuan waktu yang akan datang.

Sejak 1962, Box-Jenkins, telah mengembangkan model time series univariat stasioner yaitu model *Autoregressive Moving Average* (ARMA). Langkah-langkah Box-Jenkins dalam menganalisis model tersebut meliputi: identifikasi, penaksiran parameter, dan *diagnostic checking*

sebagai metodologi analisis time series. Kemudian model time series univariat dikembangkan menjadi model time series yang melibatkan lebih dari satu time series, dinamakan model multivariat (vektor) time series. Hamilton (1994) dan Wei (1990), memperluas model time series univariat menjadi model vektor time series yaitu model Vektor Autoregressive (VAR). Asumsi untuk kedua model ini, yaitu ARMA dan VAR, variansi galat (*error*) diasumsikan konstan setiap waktu.

Perkembangan model time series selanjutnya adalah model time series yang melibatkan lokasi-waktu (space time). Misalnya data cuaca bumi, disamping tergantung waktu juga tergantung pada lokasi. Cliff-Ord (1975) mengembangkan model space-time yang dinamakan dengan model *Space Time Autoregressive* (STAR). Pada model STAR, pengamatan dinyatakan sebagai kombinasi linier dari pengamatan sebelumnya yang telah diboboti dan galat yang saling bebas dan berdistribusi identik (i.i.d.). Selanjutnya Ruchjana (2002) memperluas model STAR menjadi model *Generalisasi Space Time Autoregressive* (GSTAR), dengan asumsi bahwa parameter autoregressive maupun parameter space time berbeda untuk setiap lokasi, sehingga model tersebut berlaku untuk karakteristik lokasi yang heterogen. Kemudian Nainggolan (2011) memperluas model GSTAR dengan asumsi variansi galat tidak konstan yaitu model GSTAR-ARCH.

Jika kita perhatikan bahwa dalam berbagai model yang telah diuraikan di atas, semua model tersebut dengan asumsi bahwa galat adalah mempunyai variansi konstan (sama) dengan kata lain homokedastik.

Dalam penelitian ini pertama-tama akan dianalisis model-model time series yang sudah ada, yaitu model ARMA yang dikembangkan oleh Box-Jenkins (1976), model ARCH oleh Engle (1982), model GARCH oleh Bollerslev (1986), model GSTAR oleh Ruchjana (2002) dan model GSTAR-ARCH oleh Nainggolan (2011). Kemudian akan dikaji pengembangan model yaitu model GSTAR-GARCH, yaitu model dengan mengintegrasikan model GSTAR dengan model GARCH sehingga diperoleh model space time dengan variansi galat yang tidak konstan. Langkah awal dalam penelitian ini adalah melihat secara kasat mata bagaimana pola fenomena data di lapangan yang berhubungan dengan lokasi-waktu. Hal ini dapat dilakukan melalui plot data dan membandingkannya dengan pola dari grafik fungsi ACF maupun PACF data tersebut. Kemudian dengan mengikuti metodologi Box-Jenkins, akan dikaji identifikasi model, penaksiran parameter model dan diagnostik model. Dalam penaksiran parameter, akan disusun algoritma dan dibuat pemrograman penaksiran parameter dengan menggunakan bahasa **S-Plus** dan **R**.

- Permasalahan Penelitian

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis dan memprediksi tinggi gelombang laut di perairan laut kota Manado, Bitung dan Tahuna dengan menerapkan model space time GSTAR?

- Luaran Penelitian
 1. Makalah yang diseminarkan pada Seminar Nasional dengan Prosiding.
 2. Persamaan matematika : Model GSTAR tinggi gelombang laut di perairan laut kota Manado, Bitung dan Tahuna.
- Target yang akan dicapai setelah penelitian ini dilakukan diuraikan dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Rencana Target Dan Capaian

No	Jenis Luaran	Indikator Capaian	
		TS	
1	Publikasi ilmiah	Internasional	-
		Nasional	Sudah publikasi
2	Pemakalah dalam pertemuan ilmiah	Internasional	-
		Nasional	Sudah dilaksanakan
3	Buku Teks (ISBN)		-
4	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)		3

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Autoregressive (AR)

Model *Autoregressive* (AR) adalah model yang menyatakan bahwa nilai pengamatan sekarang bergantung pada nilai pengamatan pada waktu-waktu sebelumnya. Nilai Z pada waktu t diregresikan pada nilai-nilai sebelumnya dari dirinya sendiri ditambah dengan suku galat (*error*).

Misalkan nilai pengamatan pada waktu $t, t-1, t-2, \dots, t-p, \dots$ adalah $z_t, z_{t-1}, z_{t-2}, \dots, z_{t-p}, \dots$, maka Proses *Autoregressive* berorde p ditulis dengan $AR(p)$ atau $ARMA(p,0)$ adalah (Box-Jenkins, 1976) :

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + e_t$$

dimana $e_t \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$. Secara khusus proses Autoregressive orde-1, disingkat AR(1) adalah berbentuk :

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + e_t$$

Dengan operator, model AR(1) dapat ditulis menjadi

$$Z_t = (1 - \phi B)^{-1} a_t = (1 + \phi B + \phi^2 B^2 + \dots) e_t = Z_t = \sum_{j=0}^{\infty} \phi^j e_{t-j}$$

Untuk Model AR(1) :

$$E(Z_t) = E\left(\sum_{j=0}^{\infty} \phi^j e_{t-j}\right) = \sum_{j=0}^{\infty} \phi^j E(e_{t-j}) = 0, \quad |\phi| < 1.$$

$$\text{Var}(Z_t) = \gamma_0 = E[(\phi Z_{t-1} + e_t)^2] = \phi^2 \gamma_0 + \sigma^2$$

sehingga $\gamma_0 = \frac{\sigma^2}{1 - \phi^2}$. Dengan kata lain $\text{Var}(Z_t)$ konstan.

Model *Moving Average* (MA), adalah suatu model yang mana nilai Z_t bergantung pada error orde q sebelumnya. Model *Moving Average* orde q atau disingkat MA(q) memenuhi persamaan

$$Z_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) e_t$$

$$Z_t = \theta(B) e_t$$

dimana $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$.

sedangkan $\theta_1, \dots, \theta_q$: adalah parameter-parameter.

Model ARMA (*Autoregresif Moving Average*) adalah campuran dari model AR dan MA. Persamaan model ARMA (p, q), p adalah orde dari autoregressive dan q adalah orde moving average.

2.2 Prosedur Tahapan dalam Box-Jenkins

Pada umumnya, terdapat tiga tahapan dasar dalam proses pemodelan time series (Box-Jenkins, 1976). Tiga tahapan tersebut adalah identifikasi, penaksiran parameter dan uji diagnostik.

a. Tahap Identifikasi

Tahapan ini adalah menentukan model peramalan yang tampaknya cocok dengan data deret waktu yang dipelajari. Data observasi digunakan untuk membangun fungsi autokorelasi (ACF) dan fungsi autokorelasi parsial (PACF). Fungsi-fungsi autokorelasi (ACF dan PACF) yang dihasilkan dari data observasi diperbandingkan dengan teori fungsi-fungsi autokorelasi, kemudian pilih model yang paling sesuai dengan data asli. Dengan demikian model peramalan sementara telah diidentifikasi. Salah satu cara memilih model ARIMA yang cocok dengan pola data pengamatan adalah dengan membandingkan nilai Akaike's Information Criterion (AIC). Model semakin sesuai jika memiliki nilai AIC terendah (Weiss, 1984). Nilai AIC dari model-model yang berbeda dapat dibandingkan tetapi banyaknya data pengamatan harus sama. Dengan kata lain, nilai m adalah sama dari model-model yang akan dibandingkan.

b. Penaksiran Parameter

Setelah mengidentifikasi model, tahapan kedua adalah menaksir nilai parameter-parameter dalam model yang telah diidentifikasi. Penaksiran nilai parameter yang baik ditentukan setelah model sementara menghasilkan jumlah kuadrat kesalahan terkecil. Perlu diperhatikan bahwa model yang dibatasi kestasioneran atau *invertible*, model tersebut perlu mencapai kekonvergenan.

c. Uji Diagnostik

Dengan menggunakan model sementara yang dianggap paling cocok, nilai kesalahan dipelajari untuk menentukan kelayakan panaksiran nilai parameter. Model peramalan yang baik akan menghasilkan nilai kesalahan yang terdistribusi random dengan rata-rata nol dan variansi yang tetap.

2.3 Model STAR dan GSTAR

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering berhadapan dengan data time series dan analisis time series yang sudah kita kenal adalah model Box-Jenkins yang dikembangkan sejak 1962. Selain data time series kita juga berhadapan dengan data yang bergantung dengan lokasi yang disebut data spasial.

Gabungan data time series $t = 1, 2, \dots, T$, dengan data spasial di lokasi $\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_m$, membentuk pengamatan geografis dengan \mathbf{s} menyatakan posisi lokasi di daerah \mathbf{D} dalam ruang dimensi-2. Model autoregressive orde-1 yang dipadukan dengan spasial lag-1 dinamakan model *Space Time Autoregressive* orde-1, ditulis model **STAR**(1;1).

Dengan mengikuti model AR, maka Cliff dan Ord (1975) mengusulkan model STAR. Model ini menganggap bahwa pengamatan sekarang merupakan kombinasi linier dari pengamatan sebelumnya yang diberi bobot ditambah error sekarang, yang dituliskan sebagai berikut:

$$\mathbf{Z}_t = \sum_{k=1}^p \sum_{l=0}^{\lambda_k} \phi_{kl} \mathbf{W}^{(l)} \mathbf{Z}_{t-k} + \boldsymbol{\varepsilon}_t$$

dimana: $\mathbf{Z}_t = (Z_{1,t}, \dots, Z_{m,t})'$ adalah vektor pengamatan pada m lokasi dengan $E[\mathbf{Z}(t)] = \mathbf{0}$. Notasi ϕ_{kl} menyatakan parameter *autoregressive* pada lag waktu k dan lag spasial l , dan $\mathbf{W}^{(l)}$ menyatakan matriks bobot lag spasial l . Selanjutnya $\boldsymbol{\varepsilon}(t) = (\varepsilon_1(t), \dots, \varepsilon_m(t))'$ menyatakan vektor error pada saat t , berdistribusi identik normal (i.i.d.) dengan rata-rata $\mathbf{0}$ dan matriks kovariansi konstan. Bidang-bidang yang menggunakan model ini diantaranya model produksi minyak bumi (Ruchjana, 2002).

Kemudian, Ruchjana (2002) memperluas model STAR menjadi model GSTAR yaitu :

$$\mathbf{Z}_t = \sum_{k=1}^p \sum_{l=0}^{\lambda_k} \boldsymbol{\Phi}_{kl} \mathbf{W}^{(l)} \mathbf{Z}_{t-k} + \boldsymbol{\varepsilon}_t$$

dimana : Φ_{kl} disebut parameter *autoregressive* pada lag waktu k dan lag spasial l . Sebagai contoh, model GSTAR (1;1) untuk N -lokasi adalah berbentuk :

$$\begin{pmatrix} Z_{1,t} \\ \mathbf{M} \\ Z_{N,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{10}^{(1)} & \Lambda & 0 \\ \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ 0 & \Lambda & \phi_{10}^{(N)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{1,t-1} \\ \mathbf{M} \\ Z_{N,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \phi_{11}^{(1)} & \Lambda & 0 \\ \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ 0 & \Lambda & \phi_{11}^{(N)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_{11}^{(1)} & \Lambda & w_{1N}^{(1)} \\ \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ w_{N1}^{(1)} & \Lambda & w_{NN}^{(1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{1,t-1} \\ \mathbf{M} \\ Z_{N,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \mathbf{M} \\ \varepsilon_{N,t} \end{pmatrix}$$

dan model GSTAR(1,1) untuk 2 lokasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{10}^{(1)} & 0 \\ 0 & \phi_{10}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \phi_{11}^{(1)} & 0 \\ 0 & \phi_{11}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_{11}^{(1)} & w_{12}^{(1)} \\ w_{21}^{(1)} & w_{22}^{(1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1(t) \\ e_2(t) \end{pmatrix}.$$

2.4 Model ARCH dan GARCH

Anggap bahwa Z_1, Z_2, \dots, Z_T merupakan observasi time series and let F_t adalah himpunan informasi dari X_t hingga waktu t , termasuk X_t untuk $t \leq 0$. Proses $\{Z_t\}$ dikatakan sebagai model Autoregressive Conditional Heteroscedasticity orde q , disingkat ARCH(q), jika memenuhi:

$$Z_t | F_{t-1} \sim N(0, h_t)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q Z_{t-q}^2$$

dengan $q > 0$, $\alpha_0 > 0$, dan $\alpha_i \geq 0$, untuk $i = 1, 2, \dots, q$.

Selanjutnya model Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity orde (p, q) disingkat GARCH(p, q), jika memenuhi :

$$Z_t | F_{t-1} \sim N(0, h_t)$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q Z_{t-q}^2 + \beta_1 h_{t-1} + \dots + \beta_p h_{t-p}$$

dengan $q > 0$, $\alpha_0 > 0$, dan $\alpha_i \geq 0$, untuk $i = 1, 2, \dots, q$,

dan $\beta_j \geq 0$, untuk $j = 1, 2, \dots, p$.

Model GARCH yang paling sederhana dan yang sering digunakan dalam penerapan adalah model GARCH(1,1), yaitu:

$$Z_t | F_{t-1} \sim N(0, h_t),$$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}$$

dimana: $\alpha_0 > 0$, and $\alpha_1 \geq 0$, $\beta_1 \geq 0$.

Dengan melakukan substitusi h_{t-1} ke dalam (6) secara berturut-turut, maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
h_t &= \alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-1}^2 + \beta_1 (\alpha_0 + \alpha_1 Z_{t-2}^2 + \beta_1 h_{t-2}) \\
&\quad \text{M} \\
&= \alpha_0 \sum_{j=1}^k \beta_1^{j-1} + \alpha_1 \sum_{j=1}^k \beta_1^{j-1} Z_{t-j}^2 + \beta_1^k h_{t-k}
\end{aligned}$$

Dalam hal ini dapat dilihat bahwa untuk memperoleh variansi X_t hingga, maka diperlukan syarat: $\alpha_1 + \beta_1 < 1$.

2.5. Gelombang Laut

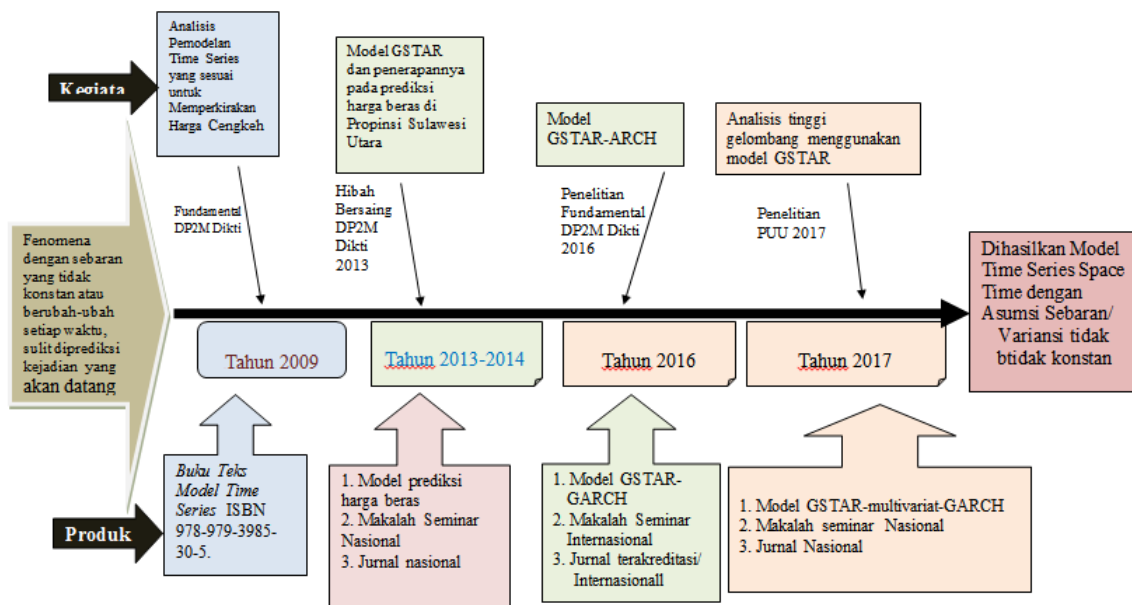
Propinsi Sulawesi Utara berada di ujung kepulauan Nusantara yang berperan sebagai pembatas negara Indonesia dengan Negara Pilipina sehingga memiliki nilai strategis. Karena letaknya yang strategis itulah, wilayah pesisir dan perairan di provinsi Sulawesi Utara sangat cocok dijadikan daerah pengembangan sektor maritim, seperti pelabuhan, perikanan, pelayaran dan pemukiman nelayan. Wilayah perairan propinsi Sulawesi Utara merupakan tempat yang sangat potensial dan ideal bagi pengembangan sektor perikanan (tangkap dan budidaya). Seperti diketahui, propinsi Sulawesi Utara dikelilingi oleh laut Sulawesi dan laut Maluku dengan sumber daya alam yang sangat besar. Disamping itu kondisi perairan laut tersebut belum tercemar. Potensi sumberdaya wilayah pesisir dan laut potensial dikembangkan untuk jasa kelautan seperti wisata bahari dan perhubungan.

Gelombang laut adalah bentuk permukaan laut yang berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang oleh gerak ayun (*oscillatory movement*) akibat tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal (Sunarto, 2003). Gelombang laut memiliki dimensi yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang. Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. (Nichols et al., 2009 dalam Bagus, 2014) menjelaskan bahwa gelombang laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik Bumi - Bulan - Matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi.

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang *fetch* pembangkitnya. *Fetch* adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. *Fetch* ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak *fetch* nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Masyarakat dalam melaksanakan kegiatan pelayaran memerlukan informasi cuaca harian seperti tinggi gelombang dan angin kencang yang terjadi di tengah laut melalui laporan yang dikeluarkan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Hal ini diperlukan agar masyarakat dapat merencanakan waktu keberangkatan kapal laut, sehingga diharapkan terhindar dari cuaca buruk. Cuaca buruk dalam dunia pelayaran dapat menimbulkan berbagai kecelakaan di tengah laut.

Selanjutnya Road Map Penelitian (Fishbone) yang sudah dilakukan dan yang akan dilakukan diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Road map penelitian yang sudah dilakukan dan akan dilaksanakan sampai tahun 2017

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT

- Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah menerapkan model GTAR untuk memprediksi tinggi gelombang laut di perairan laut kota Manado, Bitung dan Tahuna dengan menerapkan model space time GSTAR.

- Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai sumber informasi prediksi/prakiraan tinggi gelombang laut yang sangat bermanfaat terutama bagi yang melakukan kegiatan pelayaran di perairan laut Manado, Bitung dan Tahuna.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian tahun 2017 dilaksanakan di Kantor BMKG Provinsi Sulawesi Utara dalam rangka pengambilan data, kemudian dilanjutkan di Laboratorium Komputer Jurusan Matematika FMIPA UNSRAT untuk analisis dan pengolahan data serta pemrograman.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer, software S-PLUSs dan program R, printer, buku-buku, jurnal dan alat tulis menulis lainnya.

Adapun metode dalam penelitian ini adalah :

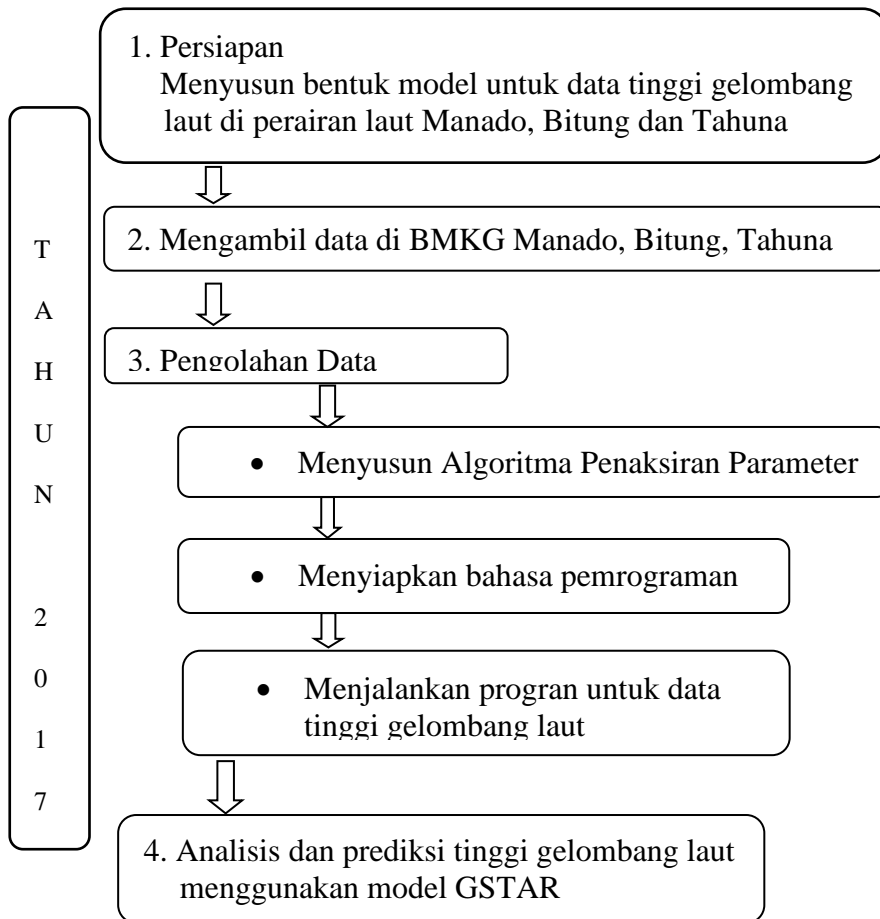
1. Mempersiapkan dan mempelajari jurnal-jurnal dan buku-buku tentang model-model time series yang diperlukan.
2. Mengambil data ke kantor BMKG Provinsi Sulawesi Utara. Selain itu dilakukan studi eksperimen pada data tinggi gelombang laut untuk mencari model Box-Jenkin yang sesuai dengan data.
3. Prosedur Analisis Data.
 - (i). Data tinggi gelombang laut dikumpulkan dari data yang sudah ada (data sekunder).
 - (ii). Tahapan analisis data

Dalam menganalisis data digunakan soft-wear S-Plus. Tahapan yang dilakukan adalah meliputi :

- Memplot data, melihat secara kasat mata apakah data stasioner atau tidak
- Menganalisis dan membandingkan data yang memiliki variansi konstan (homoskedastik) dan variansi tidak konstan (heteroskedastik).
- Merumuskan model GSTAR.
- Menentukan prosedur identifikasi, penaksiran parameter dan diagnostik model.
- Menyusun algoritma dan program penaksiran parameter dengan bahasa pemrograman S-Plus dan R.

DESAIN PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sedemikian rupa agar hasil yang diharapkan dapat tercapai. Adapun disain yang dilakukan adalah sebagai berikut (Gambar 2):



Gambar 2. Bagan Tahapan Pelaksanaan Penelitian Pada Tahun 2017.

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Hasil-Hasil Penelitian

Data pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil pada kantor Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kota Bitung. Data tinggi gelombang laut adalah data harian 1 Jan 2015 s/d 31 Des 2016 (731 data), yang diambil pada tiga lokasi yaitu perairan laut Manado, perairan laut Bitung dan perairan laut Tahuna. Posisi atau lokasi tinggi gelombang yang diteliti adalah sebagai berikut:

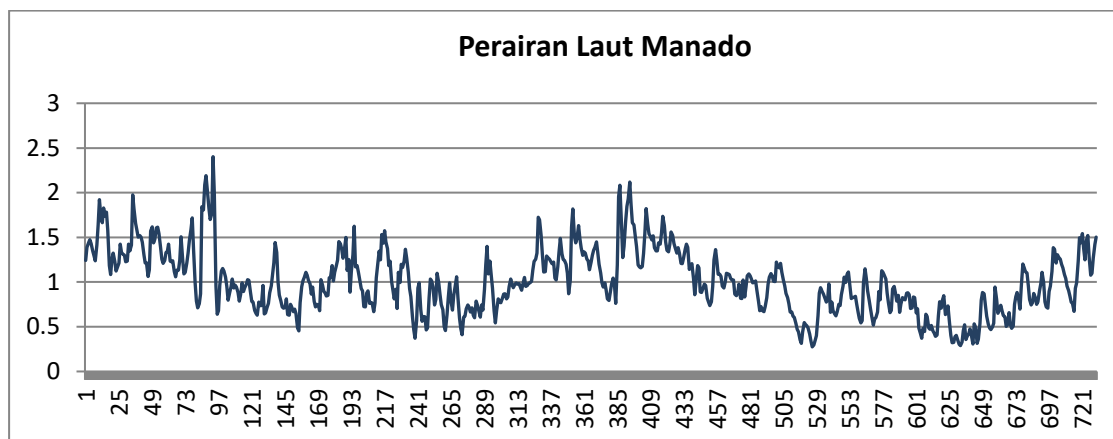
- Perairan laut Manado pada 1,6 lintang utara dan 124,5 bujur timur.
- Perairan laut Manado pada 1,2 lintang utara dan 125,3 bujur timur.
- Perairan laut Manado pada 3,5 lintang utara dan 125,2 bujur timur.

Deskripsi tinggi gelombang laut pada tiga lokasi tersebut dapat dilihat pada tabel 1. Dapat dilihat bahwa rata rata tinggi gelombang laut di perairan laut Tahuna lebih tinggi dibanding dengan perairan laut Manado dan Bitung.

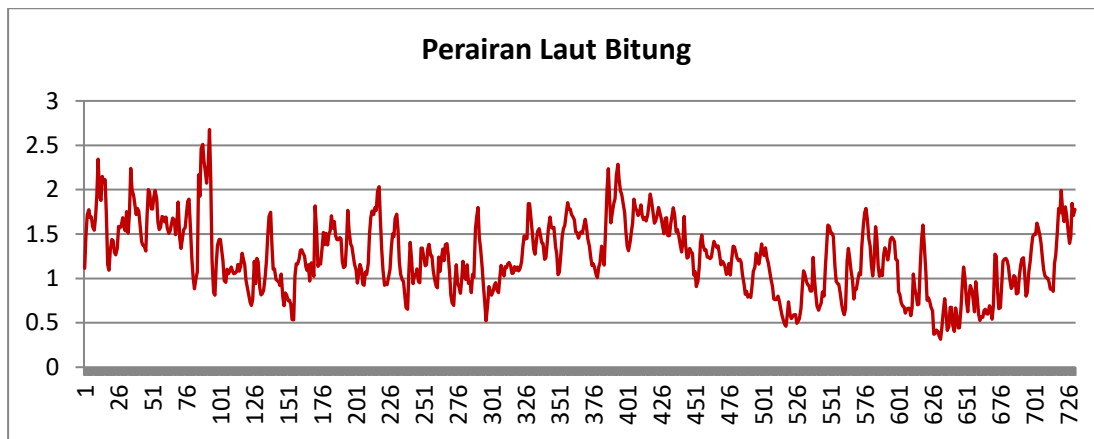
Tabel 1. Deskripsi tinggi gelombang laut di perairan laut Manado, Bitung dan Tahuna

Lokasi Perairan	Tinggi Gelombang Laut			
	Minimum	Mean	Maksimum	St. Deviasi
Laut Manado	0,275 m	1,006 m	2,402 m	0,3602 m
Laut Bitung	0,315 m	1,24 m	2,768 m	0,4041 m
Laut Tahuna	0,2725 m	1,318 m	3,158 m	0,5246 m

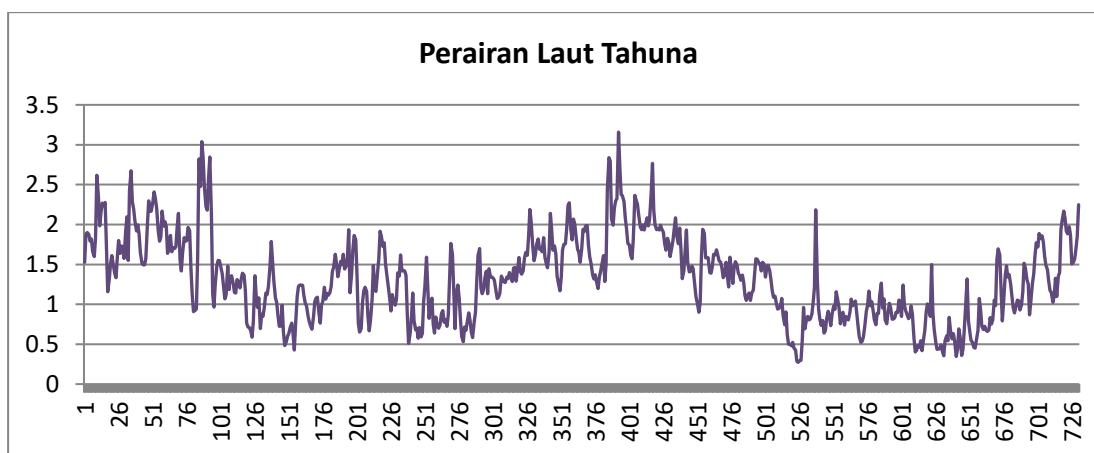
Grafik data tinggi gelombang laut untuk tiga lokasi tersebut dinyatakan berturut-turut pada Gambar 3, 4, dan 5. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pola data sudah menunjukkan pola stasioner, oleh karena itu tidak perlu dilakukan differencing.



Gambar 3. Grafik tinggi gelombang laut di perairan laut Manado



Gambar 4. Grafik tinggi gelombang laut di perairan laut Bitung



Gambar 5. Grafik tinggi gelombang laut di perairan laut Tahuna

Selanjutnya data tinggi gelombang laut untuk tiga lokasi tersebut akan dimodelkan dengan model GSTAR orde satu untuk tiga lokasi dengan bobot seragam.

5.1 Model GSTAR(1,1) untuk 3 lokasi

Matriks bobot seragam yang digunakan untuk pemodelan GSTAR tiga lokasi adalah matrik 3x3 sebagaiberikut:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{pmatrix} .$$

Dengan matriks bobot seragam tersebut, maka model GSTAR (1;1) untuk tiga lokasi adalah berbentuk :

$$\begin{pmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \\ Z_{3,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{10}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & \phi_{10}^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{10}^{(3)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \\ Z_{3,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \phi_{11}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & \phi_{11}^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{11}^{(3)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \\ Z_{3,t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{3,t} \end{pmatrix}$$

Dengan menggunakan soft ware S-Plus, maka disusun program untuk analisis data dan menaksir parameter.

```
#penaksiran parameter gstar tahap-1 : variansi konstan
> nol730=rep(0,730) # mengulang nol sebanyak 730 kali

> z11<- mdol[-1]
  z21<- bit1[-1]
  z31<- tah1[-1]
  z11a<- mdol[-731]
  z21a<- bit1[-731]
  z31a<- tah1[-731]

> v1.gstr1 <- 0.5*(bit1+tah1)
  v2.gstr1 <- 0.5*(mdol+tah1)
  v3.gstr1 <- 0.5*(mdol+bit1)
  v11<- v1.gstr1[-731]
  v21<- v2.gstr1[-731]
  v31<- v3.gstr1[-731]

> Y1<- matrix(c(z11,z21,z31), ncol=1)
> X1<- matrix(c(z11a,nol730,nol730,nol730,z21a,nol730,nol730,nol730,z31a,
               v11,nol730,nol730,nol730,v21,nol730,nol730,nol730,v31),
               ncol=6)
> Cpred1<- solve(t(X1)%*%X1) # invers dari matriks (BA)
> Parm4<- Cpred1%*%t(X1)%*%Y1 # nilai taksiran parameter
> Parm4
      [,1]
[1,] 0.50133633
[2,] 0.83789823
[3,] 0.86593119
[4,] 0.35141157
[5,] 0.07748273
[6,] 0.07484575
```

Dengan hasil analisis ini diperoleh model GSTAR tiga lokasi untuk prediksi tinggi gelombang laut di perairan laut Manado, Bitung dan Tahuna sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= 0,501 Z_1(t-1) + (0,351)(0,5) [Z_2(t-1) + Z_3(t-1)] \\ Z_2(t) &= 0,838 Z_2(t-1) + (0,077)(0,5) [Z_1(t-1) + Z_3(t-1)] \\ Z_3(t) &= 0,866 Z_3(t-1) + (0,075)(0,5) [Z_1(t-1) + Z_2(t-1)] \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= 0,501 Z_1(t-1) + 0,176 Z_2(t-1) + 0,176 Z_3(t-1) \\ Z_2(t) &= 0,838 Z_2(t-1) + 0,038 Z_1(t-1) + 0,038 Z_3(t-1) \\ Z_3(t) &= 0,866 Z_3(t-1) + 0,037 Z_1(t-1) + 0,037 Z_2(t-1) \end{aligned}$$

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Model prediksi tinggi gelombang laut di perairan laut Manado, Bitung dan Tahuna dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= 0,501 Z_1(t-1) + 0,176 Z_2(t-1) + 0,176 Z_3(t-1) \\ Z_2(t) &= 0,838 Z_2(t-1) + 0,038 Z_1(t-1) + 0,038 Z_3(t-1) \\ Z_3(t) &= 0,866 Z_3(t-1) + 0,037 Z_1(t-1) + 0,037 Z_2(t-1) \end{aligned}$$

dimana

$Z_1(t)$ = tinggi gelombang perairan laut Manado

$Z_2(t)$ = tinggi gelombang perairan laut Bitung

$Z_3(t)$ = tinggi gelombang perairan laut Tahuna

Artinya adalah sebagai berikut:

Tinggi gelombang di perairan laut manado waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,501. Tinggi gelombang di perairan laut Bitung waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,866. Tinggi gelombang di perairan laut Tahuna waktu t dipengaruhi oleh tinggi gelombang waktu $t-1$ dengan koefisien 0,351.

DAFTAR PUSTAKA

- Alex H, Kate B. 2001. *Mapping and Analysing Crime Data*. London: Taylor & Francis.
- Boba, R. 2001. *Introduction to Crime Mapping*.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, **31**, 307-327.
- Box, G.E.P., and Jenkins, G.M. (1976). *Time Series Analysis : Forecasting and Control*. Rev Edition. Holden-Day Inc. San Francisco.
- Cliff, A.D, and Ord, J. (1975). Space-Time modeling with an placation to regional forecasting. *Trans. Inst. British Geographers*, **66**, 119-128
- Engle, R.F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica* **50**, 987 – 1008.
- Hamilton, J.D. (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. New Jersey.
- Lo, M.S. (2003). *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedastic Time Series Models*. Master Thesis. Simon Fraser University.
- Greene, W.H. (2002). *Econometric Analysis*, 4th Ed., USA: Pantice Hall.
- Ling, S., and McAleer, M., (2003). Asymptotic Theory For a Vector ARMA-GARCH Model. *Econometric Theory*, **19**, 280-310.
- Nainggolan, N., B. Nurani, R., S. Darwis, R. E. Siregar (2010). GSTAR Models With ARCH Errors and The Simulations. *Proceeding of The Third International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2010*. Bandung, 23-25 November 2010. p.1075-1084.
- Nainggolan, N. (2011). *Pengembangan Model GSTAR dengan Galat ARCH dan Penerapannya pada Inflasi*. (Disertasi) Universitas Padjadjaran.
- Nurhayati, N. (2010). *Analisis Model Generalized STAR(1;1) dengan Galat Berkorelasi Spasial*. (Disertasi) Institut Teknologi Bandung.
- Ruchjana, B.N. (2002). *Suatu Model Generalisasi Space-Time Autoregresi dan Penerapannya pada Produksi Minyak Bumi*. (Disertasi) Institut Teknologi Bandung.
- Sunarto, 2003. *Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai*, Yogyakarta: Laboratorium Geomorfologi Terapan, Jurusan Geografi Fisik, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Wei, W.W.S. (1990). *Time Series Analysis : Univariate and Multivariate Models*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA, 1990.
- Weiss, A. A. (1984). ARMA Models with ARCH Errors. *Journal of Time Series Analysis* 5(2), 129-143.
- Zivot, E. and Wang, J. 2006. *Modelling Financial Time Series with S-PLUS. Second Edition*. USA: Springer Science + Business Media, Inc.

LAMPIRAN – LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini

- 1 Nama : Dr. Nelson Nainggolan, MSi
 - 2 Alamat : Perumahan Bukit Nyiur Permai, Jaga 1, Desa Sea Mitra, Kec. Pineleng berdasarkan Surat Keputusan Nomor : 1466/UN12.17.3.4/KU/2017 dan Perjanjian / Kontrak Nomor : 1710/UN12.13/LT/2017
- mendapatkan Anggaran Penelitian:

Analisis Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Manado, Bitung dan Tahuna
dengan Menggunakan Model GSTAR

sebesar Rp. 30.000.000,-

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Biaya kegiatan penelitian di bawah ini meliputi:

No	Uraian	Jumlah (Rp)
1.	Honorarium	3.000.000
2.	Belanja Bahan	21.250.000
3.	Biaya Perjalanan	5.750.000
4.	Biaya Sewa	-
	Total	30.000.000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan penelitian dimaksud;
3. Bersedia menyimpan dengan baik seluruh bukti pengeluaran belanja yang telah dilaksanakan;
4. Bersedia untuk dilakukan pemeriksaan terhadap bukti-bukti pengeluaran oleh aparat pengawas fungsional Pemerintah;
5. Apabila dikemudian hari, pernyataan yang saya buat ini mengakibatkan kerugian Negara maka saya bersedia dituntut penggantian kerugian negara dimaksud sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Manado, 27 November 2017
Ketua Peneliti,
materai 6000

Dr. Nelson Nainggolan, MSi..

Lampiran 2. Foto-Foto Kegiatan Penelitian







Lampiran 3 . Bukti Fisik Luaran Penelitian

1. Publikasi Ilmiah Jurnal Nasional Ber ISSN

Jurnal De Cartesian (JdC), Vol. 6 No. 2, hal. 73- 79

Prediksi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Sulawesi Utara dengan Menggunakan Model *Vector Autoregressive (VAR)*

Deastic Sumihi¹, John S. Kekenusa², Nelson Nainggolan^{3*}

^{1,2,3} **Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi Manado**

*corresponding author email : n-nelson@unsrat.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang tinggi gelombang laut di perairan laut Sulawesi Utara yang bertujuan untuk menerapkan model *Vector Autoregressive (VAR)* dalam memprediksi tinggi gelombang laut di wilayah perairan Bitung, perairan Manado, dan perairan Tahuna. Model VAR merupakan salah satu model *time series* yang menghendaki pemodelan secara simultan dengan beberapa peubah. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah perairan Bitung, wilayah perairan Manado, dan wilayah perairan Tahuna yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Maritim Bitung pada periode Januari 2015 sampai Desember 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang sesuai untuk memprediksi tinggi gelombang laut yaitu model VAR(3) dimana model ini cukup baik untuk digunakan dalam memprediksi tinggi gelombang laut wilayah Bitung, Manado, dan Tahuna pada periode 5 hari yakni tanggal 01 Januari 2017 sampai 05 Januari 2017, wilayah Bitung memiliki rata-rata tinggi gelombang mencapai 1,6 - 1,7 Meter, untuk tinggi gelombang laut wilayah Manado mencapai 1,3 - 1,5 Meter, dan wilayah Tahuna mencapai tinggi gelombang sebesar 1,8 - 2,1 Meter.

Kata Kunci : Model *Vector Autoregressive (VAR)*, Tinggi Gelombang Laut, Sulawesi Utara

Prediction of Sea Waves Height in North Sulawesi Sea Using Vector Autoregressive Model (VAR)

Abstract

There has been a study of sea wave height in sea ocean being applied for Vector Autoregressive model (VAR) model in the prediction of sea wave height in Bitung sea location, Manado sea, and Tahuna sea. VAR model is one of the time series models that require simultaneous modeling with several variables. The data used in this study is the average daily data of sea wave height in the location of Bitung sea, Manado sea, and Tahuna sea obtained from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency Bitung from January 2015 to December 2016. The results show that the model is suitable for predicting the sea wave height of the VAR model (3) where this model is good enough to be used in predicting the wave height of the Bitung, Manado, and Tahuna regions in the 5-day period from 01 January 2017 to 05 January 2017, Bitung region has a high average wave at 1.6 - 1.7 meters, for Manado the wave height reaches 1.3 - 1.5 meters, and the Tahuna region reaches wave height of 1.8 - 2.1 meters.

Keywords : *Vector Autoregressive Model (VAR), High Wave of the Sea, North Sulawesi*

1. Pendahuluan

Provinsi Sulawesi utara secara geografis berada di ujung kepulauan Nusa Utara yang berperan sebagai pembatas Negara Indonesia dan Negara Filipina. Salah satu sektor maritim yang penting adalah kegiatan transportasi laut yang berupa pelayaran. Masyarakat dalam melaksanakan kegiatan pelayaran memerlukan informasi cuaca harian seperti tinggi gelombang dan angin kencang yang terjadi ditengah laut melalui laporan yang dikeluarkan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Gelombang laut dapat dibangkitkan oleh angin, sistem badai, gempa bumi, dan gaya tarik bulan dan matahari. Peramalan gelombang berdasarkan data angin

sebagai pembangkit utama gelombang dan daerah pembentukan gelombang (*feth*) [1]. Gelombang laut adalah bentuk permukaan laut yang berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang oleh gerak ayun (*oscillatory movement*) akibat tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal [2]. Gelombang laut memiliki dimensi yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang.

Model *Time Series* dapat menganalisis data stasioner dan non-stasioner, juga data musiman atau non-musiman. Beberapa model yang berbasiskan *Time Series* antara lain pemodelan ARIMA yang hanya menggunakan satu peubah (univariat). Pemodelan ARIMA ini telah dilakukan sebelumnya [3] dengan judul “Pemodelan ARIMA Dalam Prediksi Penumpang Pesawat Terbang Pada Bandara Internasional Sam Ratulangi Manado”. Sedangkan untuk pemodelan secara simultan dengan beberapa peubah, dapat menggunakan model VARIMA. Salah satu model multivariat *time series* adalah model *Vector Autoregressive* (VAR) dimana Model VAR merupakan salah satu analisis *time series* multivariat yang berguna untuk melihat keterkaitan hubungan antara variabel. Sehingga pada penelitian ini dilakukan analisis *time series* dengan beberapa peubah menggunakan model *Vector Autoregressive* (VAR) dan menggunakan data tinggi gelombang laut pada tiga wilayah perairan laut Sulawesi Utara.

2. Model *Time Series*

Model *Time Series* dikenalkan oleh George E. P. Box dan Gwilym M. Jenkins pada tahun 1970 melalui bukunya *Time Series Analysis : forecasting and control*. Analisis *Time Series* merupakan metode peramalan kuantitatif untuk menentukan pola data pada masa lampau yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu, yang disebut data *Time Series*. Langkah penting dalam memilih suatu metode runtun waktu (*Time Series*) yang tepat adalah dengan mempertimbangkan jenis pola data, sehingga metode yang paling tepat adalah dengan pola data tersebut data diuji [4].

Prediksi adalah proses memperkirakan secara sistematis tentang sesuatu yang mungkin terjadi di masa depan berdasarkan informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki, agar kesalahannya dapat diperkecil. Prediksi tidak harus memberikan jawaban secara pasti suatu kejadian yang akan terjadi, melainkan berusaha untuk mencari jawaban sedekat mungkin yang akan terjadi [5].

Stasioneritas berarti bahwa tidak terdapat perubahan yang drastis pada data. Fluktuasi data berada di sekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan varians dari fluktuasi tersebut [4]. Untuk mengatasi data deret waktu yang tidak stasioner dalam rata-ratanya, dapat dilakukan proses pembedaan (*differencing*) terhadap deret data asli. Metode ini dilakukan dengan cara mengurangi nilai data pada suatu periode dengan nilai data periode sebelumnya yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W_t = Z_t - Z_{t-1} \dots \dots \dots (1)$$

Autokorelasi adalah korelasi atau hubungan antara satu variabel satu atau lebih periode sebelumnya dengan dirinya sendiri. Koefisien autokorelasi untuk lag-k dari data runtun waktu dinyatakan sebagai berikut [4]:

$$r_k = \rho_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z}_t)(Z_{t+k} - \bar{Z}_t)}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z}_t)^2} \dots \dots \dots (2)$$

Autokorelasi parsial digunakan untuk mengukur tingkat keeratan antara Z_t dan Z_{t-k} apabila pengaruh dari lag waktu (time lag) 1, 2, 3, ..., k-1 dianggap terpisah. Koefisien autokorelasi parsial orde m didefinisikan sebagai koefisien autoregresif terakhir dari model AR (m). Rumus fungsi autokorelasi parsial ditulis dengan [6]:

$$\phi_{k+1,k+1} = \frac{\rho_{k+1} - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{kj} \rho_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{kj} \rho_j} \dots \dots \dots (3)$$

Misalkan Z_t adalah multivariat *time series* stasioner lemah berdimensi m . Maka matriks kovariansi dari Z_t lag-k adalah

$$\Gamma(k) = Cov(Z_t, Z_{t+k}) = E\{(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu)'\}$$

$$\Gamma(k) = E \begin{bmatrix} Z_{1,t} - \mu_1 \\ Z_{2,t} - \mu_2 \\ \vdots \\ Z_{m,t} - \mu_m \end{bmatrix} [(Z_{1,t} - \mu_1) (Z_{2,t} - \mu_2) \dots Z_{m,t} - \mu_m]'$$

$$= \begin{bmatrix} \gamma_{11}(k) & \gamma_{12}(k) & \dots & \gamma_{1m}(k) \\ \gamma_{21}(k) & \gamma_{22}(k) & \dots & \gamma_{2m}(k) \\ \vdots & & & \vdots \\ \gamma_{m1}(k) & \gamma_{m2}(k) & \dots & \gamma_{mm}(k) \end{bmatrix}$$

dengan :

$$\gamma_{ij}(k) = E(Z_{i,t} - \mu_i)(Z_{j,t+k} - \mu_j)$$

$$= E(Z_{i,t-k} - \mu_i)(Z_{j,t} - \mu_j)$$

$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, adalah lag – waktu,
 $m = \text{dimensi dari } \mathbf{Z}_t$
 $i = 1, 2, 3, \dots, m$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

$\Gamma(k)$ dinamakan fungsi *matriks kovariansi* untuk proses vektor \mathbf{Z}_t , sedangkan $\gamma_{ij}(k)$ dinamakan fungsi *matriks cross-kovariansi* antara $Z_{i,t}$ dan $Z_{j,t+k}$ [7].

Dari definisi fungsi matriks korelasi $\rho(k)$, maka elemen-elemen dari matriks korelasi ini $\rho_{ij}(k)$ dapat dituliskan sebagai:

$$\rho_{ij}(k) = \frac{\gamma_{ij}(k)}{[\gamma_{ii}(0)\gamma_{jj}(0)]^{1/2}} = \frac{\text{Cov}(Z_{i,t}, Z_{j,t+k})}{(\text{Var}(Z_{i,t})(\text{Var}(Z_{j,t}))^{1/2}} \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

$\rho_{ij}(k)$ adalah fungsi *cross-korelasi* antara $Z_{i,t}$ dan $Z_{j,t+k}$.

3. Model Vector Autoregressive (VAR)

Vector Autoregressive (VAR) dikemukakan pertama kali oleh Sims (1980). *Metode Vector Autoregressive* (VAR) adalah suatu pendekatan peramalan kuantitatif yang biasanya diterapkan pada data *Multivariate time series*. Model vektor yang paling sederhana adalah model *Vector Autoregressive* (VAR) [7]. Misalkan \mathbf{Z}_t adalah vektor *time series* stasioner lemah berdimensi m . Model VAR Orde-1, VAR(1), adalah berbentuk:

$$(I - \Phi_1 B)\mathbf{Z}_t = \varepsilon_t \quad \text{atau} \quad \mathbf{Z}_t = \Phi_1 \mathbf{Z}_{t-1} + \varepsilon_t$$

i.i.d

dengan $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma)$, dimana Σ matriks $m \times m$, simetri, definit positif. Untuk proses white noise diasumsikan: $\Sigma = \sigma^2 \mathbf{I}_m$. Secara khusus, untuk $m = 2$, maka VAR(1) dapat dituliskan sebagai :

$$Z_{1,t} = \phi_{11}Z_{1,t-1} + \phi_{12}Z_{2,t-1} + \varepsilon_{1,t}$$

$$Z_{2,t} = \phi_{21}Z_{1,t-1} + \phi_{22}Z_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{pmatrix}$$

proses VAR(1) stasioner apabila akar-akar dari persamaan $|I - \Phi_1 B| = 0$ terletak di luar lingkaran satuan. Misalkan $\lambda = B^{-1}$, maka $|I - \Phi_1 B| = 0 \Leftrightarrow |\lambda \mathbf{I} - \Phi_1| = 0$

Dalam proses pembentukan model tahap identifikasi meliputi identifikasi plot deret waktu, fungsi autokorelasi (ACF) dan fungsi autokorelasi parsial (PACF). Selain itu penentuan orde juga mempertimbangkan nilai AIC (Akaike's Information Criterion) yang paling minimum. Model semakin sesuai jika memiliki nilai AIC terendah. AIC adalah bentuk akhir dari fungsi loglikelihood [7] yaitu:

$$AIC = -2 \log(L) + 2m$$

dengan L adalah maksimum likelihood dan m adalah banyaknya parameter yang akan ditaksir dalam AR, model MA dan koefisien regresi.

Dalam data terdapat sebagian data yang diketahui dapat digunakan untuk memprediksi sisa data berikutnya sehingga dapat dilakukan perhitungan ketepatan prediksi secara lebih baik. Penaksiran parameter model VAR(p) dapat dilakukan dengan menggunakan metode Kuadrat Terkecil (Ordinary Least Squares).

Uji diagnostik perlu dilakukan untuk menguji bahwa model tersebut cukup memadai dan menentukan model mana yang terbaik untuk peramalan [4]. Model dikatakan memadai jika asumsi dari error memenuhi proses white noise dan berdistribusi normal. Apabila dijumpai penyimpangan yang cukup serius maka harus dirumuskan kembali model yang baru, selanjutnya di estimasi dan dilakukan pemeriksaan kembali.

4. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Maritim Bitung berupa data rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah perairan Bitung, perairan Manado, dan perairan Tahuna pada periode Januari 2015 sampai Desember 2016. Langkah-langkah penerapan model VAR sebagai berikut: Pengumpulan Data, Plot Data, Pemeriksaan Kestasioneran Data, Identifikasi Model, Penaksiran Parameter VAR, Penentuan Persamaan VAR, Verifikasi Model, Validasi Model, Prediksi.

5. Hasil dan Pembahasan

Pada analisis data untuk melihat apakah data sudah stasioner atau tidak, maka dilakukan Uji stasioneritas menggunakan uji akar-akar unit (*unit root test*) dengan metode Augmented Dickey Fuller Test (ADF-Test). Variabel dikatakan stasioner (tidak mempunyai unit root) apabila nilai probabilitas (Prob*) berada di bawah 0,05. Berdasarkan hasil uji ADF menunjukkan bahwa ketiga variabel sudah stasioner pada tingkat level, Sehingga dapat dikatakan data sudah bersifat stasioner karena nilai statistic Uji dari Augmented Dickey Fuller Test (ADF-Test) lebih kecil daripada nilai Kritik dari 1 %, 5 % dan 10 % serta nilai probabilitasnya berada di bawah 0,05.

Kemudian berdasarkan hasil plot *correlogram* fungsi autokorelasi (ACF) dan fungsi autokorelasi parsial (PACF) dari data rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah perairan Bitung, Manado, dan Tahuna sudah bersifat stasioner.

Setelah data sudah stasioner langkah selanjutnya adalah identifikasi model. Pada tahap ini dilakukan pemilihan kriteria untuk menentukan orde VAR yaitu dengan melihat nilai AIC (*Akaike's Information Criterion*) dan SIC (*Schwarz Information Criterion*) terkecil pada beberapa orde model. Berdasarkan hasil perhitungan dengan bantuan *software Eviews 7*, diperoleh nilai AIC sebesar -3,732907 dan nilai SIC sebesar -3,597072. Hasil menunjukkan nilai AIC lebih kecil dari nilai SIC dari berbagai lag yang diajukan yaitu berada pada lag ke-3 yang berarti bahwa lag optimal ialah lag ke-3. Sehingga dapat diduga pada tahap identifikasi diperoleh model sementara yang sesuai adalah VAR orde-3 atau VAR(3).

Selanjutnya penaksiran parameter yang dilakukan dengan metode kuadrat terkecil (*Ordinary least square*) menggunakan *software Eviews 7*, dibuat persamaan dari model VAR Orde-3 atau VAR(3) menjadi:

$$\hat{Z}_{1,t} = 0,125 + 1,071 Z_{1,t-1} - 0,077 Z_{2,t-1} + 0,200 Z_{3,t-1} - 0,191 Z_{1,t-2} - 0,018 Z_{2,t-2} - 0,216 Z_{3,t-2} - 0,026 Z_{1,t-3} + 0,034 Z_{2,t-3} + 0,106 Z_{3,t-3} \dots \dots \dots (5)$$

$$\hat{Z}_{2,t} = 0,065 + 0,283 Z_{1,t-1} + 0,639 Z_{2,t-1} + 0,261 Z_{3,t-1} - 0,133 Z_{1,t-2} - 0,071 Z_{2,t-2} - 0,218 Z_{3,t-2} - 0,015 Z_{1,t-3} + 0,034 Z_{2,t-3} + 0,083 Z_{3,t-3} \dots \dots \dots (6)$$

$$\hat{Z}_{3,t} = 0,081 + 0,108 Z_{1,t-1} + 0,011 Z_{2,t-1} + 1,024 Z_{3,t-1} - 0,031 Z_{1,t-2} + 0,044 Z_{2,t-2} - 0,355 Z_{3,t-2} - 0,036 Z_{1,t-3} + 0,028 Z_{2,t-2} + 0,166 Z_{3,t-3} \dots \dots \dots (7)$$

dimana :

- $Z_{1,t}$ = tinggi gelombang laut Bitung pada waktu t
- $Z_{2,t}$ = tinggi gelombang laut Manado pada waktu t
- $Z_{3,t}$ = tinggi gelombang laut Tahuna pada waktu t

Dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} \hat{Z}_{1,t} \\ \hat{Z}_{2,t} \\ \hat{Z}_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,125 \\ 0,065 \\ 0,081 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1,071 & -0,077 & 0,200 \\ 0,283 & 0,639 & 0,261 \\ 0,108 & 0,011 & 1,024 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \\ Z_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,191 & -0,018 & -0,216 \\ -0,133 & -0,071 & -0,218 \\ -0,031 & 0,044 & 0,355 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-2} \\ Z_{2,t-2} \\ Z_{3,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,026 & 0,034 & 0,083 \\ -0,015 & 0,034 & 0,083 \\ -0,036 & 0,028 & 0,166 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-3} \\ Z_{2,t-3} \\ Z_{3,t-3} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

Selanjutnya dilakukan uji verifikasi model. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah model telah merepresentasikan data dengan baik. Uji kelayakan ini dilakukan dengan menggunakan *correlogram* residual dan plot dari *error*. Adapun hipotesis dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

Hipotesis :

H₀ : Data memenuhi syarat cukup (residual memenuhi syarat white noise)

H₁ : Data belum memenuhi syarat cukup (residual belum memenuhi syarat white noise)

Dengan α sebesar 5%

Jika P-value < $\alpha = 5\%$ maka menolak H₀ yang dimana berarti data belum memenuhi syarat cukup (residual belum memenuhi syarat white noise).

Berdasarkan *correlogram* residual dari ketiga model, terlihat bahwa nilai probabilitas dari masing-masing lag yang diajukan lebih besar dari alpha 0,05 dengan kata lain H₀ diterima yang berarti data sudah memenuhi syarat cukup (residual memenuhi syarat *white noise*).

Berdasarkan plot residual dari masing-masing variabel menunjukkan bahwa *error* tidak membentuk suatu pola tertentu dan terdistribusi disekitar nol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sifat interpendensi pada *error* (*error* tidak autokorelasi) telah terpenuhi. Dengan demikian, asumsi pada model VAR terpenuhi.

Dalam uji validasi model, dilakukan dengan membandingkan kondisi data dari ketiga wilayah tersebut untuk mengetahui kondisi data sebenarnya(aktual) dengan data prediksi. Validasi model VAR(3) dari bulan Januari 2015 sampai bulan Desember 2016. Dari hasil plot data, masing-masing wilayah tersebut terlihat dari hari pertama Januari 2015 sampai hari terakhir bulan Desember 2016 data aktual tidak berbeda jauh dengan hasil prediksi, terlihat keakuratan dari model prediksi setiap harinya saling tumpang tindih. Sehingga dapat dikatakan model VAR(3) bisa digunakan untuk memprediksi tinggi gelombang laut Bitung, Manado, dan Tahuna pada beberapa hari ke depan.

Hasil prediksi untuk rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah Bitung, wilayah Manado dan wilayah Tahuna mulai dari periode 25 Desember 2016 sampai 05 Januari 2017 disajikan pada tabel 1. Hasil analisisnya yaitu pada tanggal 01 Januari 2017 ketiga wilayah tersebut mengalami kenaikan tinggi gelombang laut dimana gelombang laut wilayah Bitung mencapai tinggi gelombang sebesar 1,78 meter, wilayah Manado mencapai 1,53 meter dan di wilayah Tahuna mencapai 2,19 meter dimana pada periode 01 Januari 2017 sampai 05 Januari 2017 wilayah Tahuna adalah wilayah yang mempunyai gelombang laut tertinggi dibandingkan dengan wilayah Bitung dan wilayah Manado. Dan pada periode itu juga wilayah Manado adalah wilayah yang mempunyai tinggi gelombang laut terendah diantara wilayah Bitung dan Tahuna dengan ketinggian gelombang laut sebesar 1,34 meter.

Tabel 1. Hasil prediksi rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah Bitung,Manado, dan Tahuna pada periode 5 hari

Periode	Prediksi			Aktual		
	Bitung (m)	Manado (m)	Tahuna (m)	Bitung (m)	Manado (m)	Tahuna (m)

25 Desember 2016	1,80	1,49	1,94	1,70	1,52	1,86
26 Desember 2016	1,60	1,40	1,79	1,52	1,28	1,50
27 Desember 2016	1,41	1,15	1,45	1,39	1,07	1,52
28 Desember 2016	1,40	1,10	1,56	1,47	1,09	1,56
30 Desember 2016	1,48	1,14	1,55	1,84	1,27	1,69
31 Desember 2016	1,86	1,36	1,70	1,71	1,42	1,85
01 Januari 2017	1,64	1,37	1,81	1,77	1,50	2,25
03 Januari 2017	1,78	1,53	2,19	-	-	-
04 Januari 2017	1,70	1,46	2,03	-	-	-
05 Januari 2017	1,64	1,40	1,95	-	-	-
	1,61	1,37	1,90	-	-	-
	1,59	1,34	1,85			

Pada penelitian ini koefisien determinasi atau nilai R^2 (R-squared) digunakan untuk menentukan kebaikan model dalam memprediksi. Dengan kata lain, menggambarkan berapa persen model tersebut mampu menerangkan kondisi yang sebenarnya (aktual). Nilai R^2 yang diperoleh dari masing-masing variabel yakni untuk wilayah Bitung sebesar 0,85154 atau 85,154%; untuk wilayah Manado sebesar 0,870404 atau 87,040% dan untuk wilayah Tahuna 0,840676 atau 84,067%. Hal ini berarti model VAR cukup baik atau sesuai untuk memprediksi tinggi gelombang laut menggunakan ketiga variabel tersebut. Sedangkan sisanya sebesar 14,846%; 12,96%; dan 15,93% dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

6. Kesimpulan

1. Model time series untuk prediksi tinggi gelombang laut di perairan laut Sulawesi Utara khususnya wilayah Bitung, Manado dan Tahuna menggunakan data rata-rata harian tinggi gelombang laut periode Januari 2015 sampai dengan Desember 2016 diperoleh model VAR(3) yang dipilih dari nilai AIC terkecil.
2. Prediksi rata-rata harian tinggi gelombang laut di wilayah Bitung, Manado, dan Tahuna yakni tanggal 01 Januari 2017 sampai 05 Januari 2017 wilayah Bitung memiliki rata-rata tinggi gelombang laut mencapai 1,6 – 1,7 meter, tinggi gelombang laut wilayah Manado sebesar 1,3 – 1,5 meter dan wilayah Tahuna mencapai tinggi gelombang signifikan sebesar 1,8 – 2,1 meter. Dengan nilai R^2 yang diperoleh dari masing-masing variabel yakni 0,85154 atau 85,154% untuk wilayah Bitung, 0,870404 atau 87,040% untuk wilayah Manado dan 0,840676 atau 84,067% untuk wilayah Tahuna. Hal ini berarti model VAR sesuai untuk memprediksi tinggi gelombang laut di wilayah Bitung, Manado, dan Tahuna.

7. Daftar Pustaka

- [1] Zakaria, A. 2009. Bahan Ajar Teori Gelombang Amplitudo Kecil Dan Peramalan Gelombang. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- [2] Sunarto, 2003. Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai, Yogyakarta: Laboratorium Geomorfologi Terapan, Jurusan Geografi Fisik, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- [3] Salmon, H. A. S., N. Nainggolan, D. Hatidja. 2015. Pemodelan ARIMA Dalam Prediksi Penumpang Pesawat Terbang Pada Bandara Internasional Sam Ratulangi Manado. *Journal de Cartesian*. 4(1): 60-67.

- [4] Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & McGee, V.E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan Jilid 1 Edisi Kedua*. Terjemahan Ir. Untung S. Andriyanto dan Ir. Abdul Basith. Erlangga, Jakarta.
- [5] Lilipaly, G. S., D. Hatidja, J.S. Kekenusa. 2014. Prediksi Harga Saham PT. BRI, Tbk. Menggunakan Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). *Jurnal Ilmiah Sains*. 14(2): 61-67.
- [6] Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods*. 2nd Edition. New York: Addison Wesley Publishing Company, Inc. America.
- [7] Nainggolan, N. 2009. *Model Time Series Heteroskedastik*. Unpad Press. Bandung.

2. HKI

Judul : Pengembangan Model Generalized Space Time Autoregressive Integrated – Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity (GSTARI-ARCH)


REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta yaitu Undang-Undang tentang perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra (tidak melindungi kekayaan intelektual lainnya), dengan ini menerangkan bahwa hal-hal tersebut di bawah ini telah tercatat dalam Daftar Umum Ciptaan:

I. Nomor dan tanggal permohonan	: C002017002219, 31 Mei 2017
II. Pencipta	
Nama	: 1. Dr. HUDI NURANI RUCIJANA; 2. HOT BONAR; 3. FIQRY REVADIANSTAH; 4. Drs. ATJE SETIAWAN ABDULLAH, M.S.; 5. GUNGGUN DAERMAWAN; 6. NELSON NAINGGOLAN; 7. Prof. Dr. H. RUSTAM SIREGAR; 8. SUTAWANIR; 9. ANNISA NUR FALAH
Alamat	: Kemp. Bukit Padjajaran No.34 Kel. Cikadut, Kec. Cimeryan, Kab. Bandung Jawa Barat
Kewarganegaraan	: Indonesia
III. Pemegang Hak Cipta	
Nama	: UNIVERSITAS PADJADJARAN
Alamat	: Jalan Raya Bandung-Sumedang Km.21 Kec. Jatinangor, Kab. Sumedang, Jawa Barat 45363.
Kewarganegaraan	: -
IV. Jenis Ciptaan	: Program Komputer
V. Judul Ciptaan	: PENGEMBANGAN MODEL GENERALIZED SPACE TIME AUTOREGRESSIVE INTEGRATED- AUTOREGRESSIVE CONDITIONALLY HETEROSCEDASTICITY (GSTARI-ARCH)
VI. Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia	: 10 Januari 2017, di Bandung
VII. Jangka waktu perlindungan	: Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak pertama kali diumumkan.
VIII. Nomor pencatatan	: 087428

Pencatatan Ciptaan atau produk Hak Terkait dalam Daftar Umum Ciptaan bukan merupakan pengesahan atas isi, arti, maksud, atau bentuk dari Ciptaan atau produk Hak Terkait yang dicatat. Menteri tidak bertanggung jawab atas isi, arti, maksud, atau bentuk dari Ciptaan atau produk Hak Terkait yang terdaftar. (Pasal 72 dan Penjelasan Pasal 72 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta)

s.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
s.d.
DIREKTUR HAK CIPTA DAN DESAIN INDUSTRI


Dr. Dya. Emi Widhyastari, Apt., M.Si.
NIP. 196003181991032001

3. Makalah yang dipresentasikan pada Seminar Nasional dan Rapat Tahunan MIPAnet 2017 (SEMIRATA), yang dilaksanakan di Universitas Sam ratulangi, Manado, tanggal 24-26 Agustus 2017.



4 : Script Program S-Plus untuk Analisis Data

```
## Script Tinggi gelombang data rata rata harian

>manadol<- SDF8[,1]
  bitung1<- SDF8[,2]
  tahuna1<- SDF8[,3]
>par(mfrow=c(3,1))
  ts.plot(manadol)
  ts.plot(bitung1)
  ts.plot(tahuna1)

summaryStats(manadol)
summaryStats(bitung1)
summaryStats(tahuna1)

#unitroot(manadol);unitroot(bitung1);unitroot(tahuna1);
#archTest(manadol,lag.n=10);archTest(bitung1,lag.n=10);archTest(tahuna1,lag.n=10);

# Grafik data awal
par(mfrow = c(1,1));
  tsplot(manadol,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),xlab="waktu (harian)", ylab="tinggi
gelombang laut", col=3);
  par(new=T); tsplot(bitung1,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),col=4);
  par(new=T); tsplot(tahuna1,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),col=6);

par(mfrow = c(3,1));
  tsplot(manadol,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),xlab="waktu (harian)", ylab="tinggi
gelombang laut", col=3);
  tsplot(bitung1,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),col=4);
  tsplot(tahuna1,xlim=c(1,732), ylim=c(0,2.85),col=6);
### Uji akar unit
adfMDO.out=unitroot(manadol, trend="c", statistic="t", method="adf", lags=2);
adfBTG.out= unitroot(bitung1, trend="c", statistic="t", method="adf", lags=2);
adfTMH.out= unitroot(tahuna, trend="c", statistic="t", method="adf", lags=2);
adfMINUT.out= unitroot(CR, trend="c", statistic="t", method="adf", lags=2);

mdol = manadol-mean(manadol)
bit1 = bitung1-mean(bitung1)
tah1 = tahuna1-mean(tahuna1)

# unitroot(manadol);unitroot(bitung1);unitroot(tahuna1);
d.manadol=diff(manadol)
unitroot(d.manadol)
tmp = acf (d.manadol, lag=20)
tmp = acf (d.manadol, lag=20, type="partial")

>archTest(manadol,lag.n=12)
  archTest(bitung1,lag.n=12)
  archTest(tahuna1,lag.n=12)
# p.value: 0.000, 0.000, 0.000

> par(mfrow=c(3,1))
  hist(manadol)
  hist(bitung1)
  hist(tahuna1)

# model autoregressi orde-1 dengan OLS

> ar1.mdol = OLS(manadol~ar(1))
  ar1.btg1 = OLS(bitung1~ar(1))
  ar1.tah1 = OLS(tahuna1~ar(1))

#analisis terhadap error dari OLS
names(ar1.1)
e1.1<- ar1.mdol$residuals

> par(mfrow = c(2,3))
  tmp = acf (manadol, lag=100)
  tmp = acf (manadol, lag=100, type="partial")
```

```

tmp = acf (bitung1, lag=100)
tmp = acf (bitung1, lag=100, type="partial")
tmp = acf (tahuna1, lag=100)
tmp = acf (tahuna1, lag=100, type="partial")

> autocorTest(e1.1, lag=12)
#pvalue:

> par(mfrow = c(2,3))
tmp = acf (e1.1^2, lag=20)
tmp = acf (e1.1^2, lag=20, type="partial")

> autocorTest(e1.1^2, lag=12)
autocorTest(e2.1^2, lag=12)
autocorTest(e3.1^2, lag=12)
#p.value: 0.0000, 0.0045, 0.0077

> #z11<- numeric(99)
#z11<- z1.arch[-1]
#z11pred<- z11-e1.1
#z21<- numeric(99)
#z21<- z2.arch[-1]
#z21pred<- z21-e2.1
#z31<- numeric(99)
#z31<- z3.arch[-1]
#z31pred<- z31-e3.1

#penaksiran parameter gstar tahap-1 : variansi konstan
> nol730=rep(0,730) # mengulang nol sebanyak 730 kali

> z11<- mdol[-1]
z21<- bit1[-1]
z31<- tah1[-1]
z11a<- mdol[-731]
z21a<- bit1[-731]
z31a<- tah1[-731]

> v1.gstr1 <- 0.5*(bit1+tah1)
v2.gstr1 <- 0.5*(mdol+tah1)
v3.gstr1 <- 0.5*(mdol+bit1)
v11<- v1.gstr1[-731]
v21<- v2.gstr1[-731]
v31<- v3.gstr1[-731]

> Y1<- matrix(c(z11,z21,z31), ncol=1)
> X1<- matrix(c(z11a,nol730,nol730,nol730,z21a,nol730,nol730,nol730,z31a,
v11,nol730,nol730,nol730,v21,nol730,nol730,nol730,v31),
ncol=6)
> Cpred1<- solve(t(X1)%*%X1) # invers dari matriks (BA)
> Parm4<- Cpred1%*%t(X1)%*%Y1 # niali taksiran parameter
> Parm4
      [,1]
[1,] 0.50133633
[2,] 0.83789823
[3,] 0.86593119
[4,] 0.35141157
[5,] 0.07748273
[6,] 0.07484575

# Hitung Prediksi tahap-1
> z11<- mdol[-1]
z21<- bit1[-1]
z31<- tah1[-1]
manado2=manadol[-1]
bitung2=bitung1[-1]
tahuna2=tahuna1[-1]
manado3=manadol[-731]
bitung3=bitung1[-731]
tahuna3=tahuna1[-731]

z1.topi = Parm4[1]*manado3+ 0.5*Parm4[4]*(bitung3+tahuna3);

```

```

z2.topi = Parm4[2]*bitung3+ 0.5*Parm4[5]*(manado3+tahuna3);
z3.topi = Parm4[3]*tahuna3+ 0.5*Parm4[6]*(bitung3+manado3);

par(mfrow = c(3,1));
plot(manado2, ylab = "Z(t)", main="Tinggi Gel. Laut Manado", col=1 ,type="l",
      xlim=c(1,731), ylim=c(0,3));
par(new=T); plot(z1.topi, xlab="Time", ylab=" ", col=6 ,type="l",
      xlim=c(1,731),ylim=c(0,3));

plot(bitung2, ylab = "Z(t)", main="Tinggi Gel. Laut Bitung", col=3 ,type="l",
      xlim=c(1,731), ylim=c(0,3));
par(new=T); plot(z2.topi, xlab="Time", ylab=" ", col=6 ,type="l",
      xlim=c(1,731),ylim=c(0,3));

plot(tahuna2, ylab = "Z(t)", main="Tinggi Gel. Laut Tahuna", col=3 ,type="l",
      xlim=c(1,731), ylim=c(0,3));
par(new=T); plot(z3.topi, xlab="Time", ylab=" ", col=6 ,type="l",
      xlim=c(1,731),ylim=c(0,3));
par(mfrow = c(1,1));

```

Lampiran 4 . Surat Tugas



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Kampus UNSRAT Manado
Telp. (0431) 827560, Fax. (0431) 827560

Email: lppm@unsrat.ac.id Laman: <http://lppm.unsrat.ac.id>

SURAT TUGAS

Nomor: 1218/UN12.13/LT/2017

Ketua Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan ini menugaskan kepada:

1. Nama : Dr. Nelson Nainggolan, MSi (Ketua)
NIP : 19670309 199603 1 001
Pangkat Gol. : Pembina/IVa
Jabatan : Lektor Kepala
2. Nama : Tohap Manurung, SSi, MSi (Anggota)
NIP : 19791224 200604 1 003
Pangkat Gol. : Penata Muda Tingkat I/IIIb
Jabatan : Lektor

Untuk melaksanakan Penelitian skim Penelitian Unggulan Universitas Sam Ratulangi (PUU), yang di danai oleh dana PNBPN UNSRAT tahun 2017 dengan judul "*Analisis Tinggi Gelombang Laut Di Perairan Laut Manado, Bitung Dan Tahuna Dengan Menggunakan Model GSTAR*".

Demikian surat tugas ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Manado, 10 Juli 2017



Inncke F.M. Rumengan

NIP: 195711051984032001

ce

Lampiran 4 . **Data Luaran**

(*JdC*), Vol. 6 No. 2, hal. 73- 79

Prediksi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Sulawesi Utara dengan Menggunakan Model *Vector Autoregressive* (VAR)

Deastic Sumihi¹, John S. Kekenusa², Nelson Nainggolan^{3*}

PUBLIKASI JURNAL

No	Nama Dosen (Ketua dan Anggota)	Nama Jurnal	Jenis Jurnal* (isi menurut no urut)	Judul	ISSN	VOL	NO	Halaman (...s/d...)	URL (http://...)	Tahun
1	Dr. Nelson Nainggolan, MSi Tohap Manurung, SSi, MSi	<i>Jurnal De Cartesian (JdC)</i>	3	Prediksi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Sulawesi Utara dengan Menggunakan Model <i>Vector Autoregressive</i> (VAR)	230 3- 4224	6	2	73-79	ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian/article/view/17837	2017

* Keterangan :

1. Jurnal Internasional 2. Jurnal Nasional Terakreditasi 3. Jurnal Nasional Tidak Terakreditasi (mempunyai ISSN)

PEMAKALAH FORUM ILMIAH

No	Nama Dosen (Ketua dan Anggota)	Nama Forum	Jenis Forum* (isi menurut no urut)	Judul Makalah	Institusi Penyelenggara	Waktu Pelaksanaan	Tempat Pelaksanaan	Status** (isi menurut no urut)	Tahun
1	Dr. Nelson Nainggolan, MSi Tohap Manurung, SSI, MSi	Seminar Nasional	2	Prediksi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Laut Manado, Bitung dan Tahuna Provinsi Sulawesi Utara dengan Menggunakan Model GSTAR Orde-1	Universitas Sam Ratulangi	24-26 Agustus 2017	FMIPA UNSRAT	1	2017

Keterangan

*) : 1. Internasional
2. Nasional

**): 1. Pemakalah Biasa
2. Invited/Keynote Speaker

3. Regional

HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

No	Nama Dosen (Ketua dan Anggota)	Judul HKI	Jenis HKI* (isi menurut no urut)	Nomor Pendaftaran	Status (Terdaftar atau Granted) pilih salah satu	Tahun
1	Nelson Nainggolan	Pengembangan Model Generalized space Time Autoregressive Integrated-Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity (GSTARI-ARCH)	3	C00201702219	Terdaftar	2017

*) Keterangan

1. Paten
2. Paten Sederhana
3. Hak Cipta

4. Merek Dagang
5. Rahasia Dagang
6. Desain Produksi Industri

7. Indikasi Geografis
8. Perlindungan Varietas Tanaman
9. Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu

