



TUGAS AKHIR - KS184822

***STATISTICAL DOWNSCALING OUTPUT GENERAL
CIRCULATION MODEL DENGAN PENDEKATAN
GAUSSIAN COPULA MARGINAL REGRESSION
UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DAN BANJIR
GENANGAN DI KOTA SURABAYA***

DEVITA PRIMA VERNANDA
NRP 062115 4000 0115

Dosen Pembimbing
Dr. rer. pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - KS184822

***STATISTICAL DOWNSCALING OUTPUT GENERAL
CIRCULATION MODEL DENGAN PENDEKATAN
GAUSSIAN COPULA MARGINAL REGRESSION
UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DAN BANJIR
GENANGAN DI KOTA SURABAYA***

**DEVITA PRIMA VERNANDA
NRP 062115 4000 0115**

**Dosen Pembimbing
Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - KS184822

**STATISTICAL DOWNSCALING FOR GENERAL
CIRCULATION MODEL OUTPUT USING GAUSSIAN
COPULA MARGINAL REGRESSION APPROACH TO
PREDICT RAINFALL AND FLOOD IN SURABAYA**

**DEVITA PRIMA VERNANDA
NRP 062115 4000 0115**

**Supervisor
Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STATISTICAL DOWNSCALING OUTPUT GCM DENGAN
PENDEKATAN GAUSSIAN COPULA MARGINAL REGRESSION
UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN DAN BANJIR DI KOTA
SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Devita Prima Vernanda
NRP : 062115 4000 0115
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si.,
M.Si.

Abstrak

Kota Surabaya merupakan kota metropolitan kedua di Indonesia dengan karakteristik wilayah berupa dataran rendah sehingga menyebabkan kota Surabaya rawan terkena bencana banjir. Banjir dapat disebabkan oleh dua hal, yakni penyebab alami dan tindakan manusia dimana salah satunya disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Kota Surabaya memiliki enam pos hujan pengamatan curah hujan yang terletak di Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek dan Gubeng. Karakteristik curah hujan pada enam pos hujan didapatkan pada bulan Mei hingga bulan Oktober curah hujan rendah sedangkan bulan November curah hujan tinggi. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan data asli, data tanpa nilai nol di masing – masing curah hujan dan menggunakan lag ARIMA pada grid 1x1 dan grid 3x3 dengan Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR). Hasil pemodelan terbaik untuk curah hujan diperoleh dengan tanpa melibatkan nilai 0 (tidak hujan) dengan prediktor seluruh variabel output General Circulation Model (GCM). Model terbaik dipilih berdasarkan dari nilai RMSE terendah dari masing – masing pos hujan. Diantara enam pos hujan yang berada di kota Surabaya, hanya pos hujan Kedungcowek yang tidak memiliki potensi untuk banjir.

Kata kunci: *Banjir, Curah Hujan, Gaussian Copula Marginal Regression, GCM, PCA, Statistical Downscaling*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STATISTICAL DOWNSCALING FOR GENERAL
CIRCULATION MODEL OUTPUT USING GAUSSIAN COPULA
MARGINAL REGRESSION APPROACH TO PREDICT
RAINFALL AND FLOOD IN SURABAYA**

Name : Devita Prima Vernanda
Student Number : 062115 4000 0115
Department : Statistics
Supervisor : Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si.,
M.Si.

Abstrak

Surabaya is the second metropolitan city in Indonesia with the characteristics in the form of lowlands, which causing Surabaya prone to floods. Floods can be caused by two things, natural causes and human actions. one of the causes is a high rainfall. Surabaya has six rainfall observation posts located in Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek and Gubeng. The characteristis of rainfall at six rainfall posts were obtained in May until October rainfall was low while in November rainfall was high. Modelling has been done with original data, data without zero values and using lag ARIMA for grid 1x1 and grid 3x3 using Gaussian Copula Marginal Regression. The best model for rainfall is obtained without involving zero values (no rain) with predictor from all of General Circulation Model (GCM) output variables. The best model is selected based on the lowest RMSE value. The analysis is done separately for each rain post. Among the six rain posts in the Surabaya, only Kedung Cowek rain post doesn't have the potential to flood.

Keywords: Flood, Gaussian Copula Marginal Regression, GCM, PCA, Rainfall, Statistical Downscaling

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**STATISTICAL DOWNSCALING OUTPUT GENERAL
CIRCULATION MODEL DENGAN PENDEKATAN
GAUSSIAN COPULA MARGINAL REGRESSION UNTUK
PREDIKSI CURAH HUJAN DAN BANJIR GENANGAN DI
KOTA SURABAYA**

TUGAS AKHIR

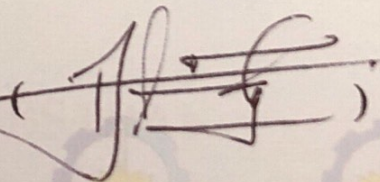
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

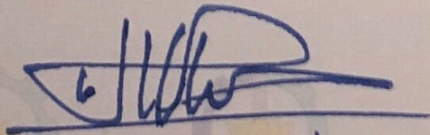
Devita Prima Vernanda
NRP. 062115 4000 0115

Disetujui oleh Pembimbing:

Dr.rer.pol.Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.
NIP. 19831204 200812 1 002



Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika



Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas rahmat dan hidayah yang diberikan Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Statistical Downscaling Output General Circulation Model* dengan Pendekatan *Gaussian Copula Marginal Regression* untuk Prediksi Curah Hujan dan Banjir Genangan di Kota Surabaya” dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Mama, papa dan adek atas segala do’a, nasehat, kasih sayang, dan dukungan yang diberikan kepada penulis demi kesuksesan dan kebahagiaan penulis.
2. Dr. Suhartono selaku Ketua Departemen Statistika dan Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana yang telah memberikan fasilitas, sarana, dan prasarana.
3. Dr. Dra. Kartika Fithriarsari, M.Si. selaku dosen wali selama masa studi yang telah banyak memberikan saran dan arahan dalam proses belajar di Departemen Statistika.
4. Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan dengan sangat sabar memberikan bimbingan, saran, dukungan serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir.
5. Dr. rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si. dan Imam Safawi Ahmad S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang selalu sabar dalam mengomentari serta memberikan masukan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang tak ternilai harganya, serta segenap karyawan Departemen Statistika ITS.

7. Teman-teman Statistika ITS $\Sigma 26$ angkatan 2015, yang selalu memberikan dukungan kepada penulis selama ini.
8. Mochamad Ihsan Ananto yang selalu sabar dan menemani penulis disaat berkuliah hingga menyelesaikan tugas akhir ini serta memberikan semangat serta motivasi terutama di masa – masa sulit penulis selama berkuliah.
9. Fattara Diwa Serin, Nesia Balqis, dan Tria Ayu Lestari yang selalu memberikan *support* terutama saat penyusunan buku tugas akhir ini.
10. Fara, Anin, Risa, Puput, Alya, Danny, Dio, Baraja, Ahada, Sani, Rezzy, Oza, dan Hilmy yang selalu setia menemani dan membantu penulis kapanpun.
11. Teman – teman badminton yang selalu setia mengajak badminton selama penulis berkuliah.
12. Afifah, Henidar, Risda, Icha, Shindi Shella, Angga, dan Dio yang telah berjuang bersama selama penyusunan tugas akhir ini mulai dari pembagian dosen pembimbing hingga mengerjakan revisi.
13. Teman – teman HIMASTA – ITS, BEM-ITS Wahana Juang, BEM – ITS Gelora Aksi yang telah memberi kesempatan penulis untuk belajar dan berkembang.
14. Semua teman, relasi dan berbagai pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.

Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Banjir.....	9
2.2 Curah Hujan.....	10
2.3 <i>General Circulation Model</i> (GCM).....	11
2.4 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	12
2.5 <i>Statistical Downscaling</i>	13
2.6 Copula dan Variabel Random Multivariat.....	15
2.7 Keluarga Copula.....	16
2.8 Copula <i>Ellips</i>	16
2.8.1 Copula Normal.....	16
2.8.2 Copula <i>t</i>	17
2.9 Copula Archimedean.....	18
2.10 Estimasi Paramter Copula.....	20
2.11 <i>Gaussian Copula Marginal Regression</i> (GCMR).....	21
2.12 Evaluasi Keباikan Model.....	23

2.13 Hubungan Empiris Curah Hujan dan Limpasan Menggunakan Metode Rasional	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Sumber Data	29
3.2 Variabel Penelitian.....	30
3.3 Struktur Data.....	32
3.4 Langkah Analisis	34
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 <i>Pre – Processing</i> Data Curah Hujan Balai PSDA WS Brantas	39
4.2 Karakteristik Data Curah Hujan dan <i>Output</i> GCM CSIRO Mk3.6.....	40
4.3 <i>Reduksi Variabel Output GCM</i> Grid 3x3 Menggunakan <i>PCA</i>	42
4.4 Pemodelan Curah Hujan Pos Hujan PSDA WS Brantas	44
4.4.1 Pemodelan Curah Hujan Keputih	45
4.4.2 Pemodelan Curah Hujan Kedungcowek	90
4.4.3 Pemodelan Curah Hujan Gubeng	93
4.4.4 Pemodelan Curah Hujan Wonorejo	95
4.4.5 Pemodelan Curah Hujan Wonokromo	97
4.4.6 Pemodelan Curah Hujan Gunungsari	100
4.5 Prediksi Banjir	102
4.5.1 Prediksi Banjir Keputih	104
4.5.2 Prediksi Banjir Kedungcowek	105
4.5.3 Prediksi Banjir Gubeng.....	106
4.5.4 Prediksi Banjir Wonorejo	107
4.5.5 Prediksi Banjir Wonokromo	109
4.5.6 Prediksi Banjir Gunungsari.....	110
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	113
5.1 Kesimpulan.....	113
5.2 Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN	119

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi <i>Downscaling</i>	14
Gambar 2.2 Contoh bentuk PDF dari Copula- <i>t</i>	18
Gambar 2.3 Contoh bentuk PDF Copula Archimedean untuk Clayton, Frank, dan Gumbel.....	19
Gambar 2.4 Bentuk Saluran.....	26
Gambar 3.1 Lokasi Pengamatan Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Rancangan Variabel Penelitian.....	30
Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah Analisis.....	36
Gambar 4.1 <i>Time Series Plot</i> Data Curah Hujan Harian.....	41
Gambar 4.2 <i>Boxplot</i> Data Curah Hujan Harian.....	42
Gambar 4.3 Plot Curah Hujan Keputih dengan Masing – Masing Variabel Grid 1x1.....	46
Gambar 4.4 Plot Curah Hujan Keputih dengan Masing – Masing Variabel Grid 1x1 dan Dummy.....	48
Gambar 4.5 Plot Curah Hujan Keputih dengan <i>Output</i> GCM Grid 1x1.....	50
Gambar 4.6 Plot Curah Hujan Keputih dengan Lag 1 Hingga Lag 7 Grid 1x1.....	55
Gambar 4.7 Plot Curah Hujan Keputih dengan PCA Masing – Masing Variabel Grid 3x3.....	57
Gambar 4.8 Plot Curah Hujan Keputih dengan PCA Variabel Grid 3x3.....	60
Gambar 4.9 Plot Curah Hujan Keputih Lag 1 hingga Lag 7 dengan PCA Variabel Grid 3x3.....	65
Gambar 4.10 Plot ACF dan PACF Curah Hujan Keputih.....	67
Gambar 4.11 Plot ACF dan PACF Curah Hujan Keputih <i>Differencing</i> 365.....	68
Gambar 4.12 Plot Curah Hujan Keputih dengan Lag ARIMA.....	69

Gambar 4.13	Plot Curah Hujan Keputih Grid 1x1 Data NA.....	70
Gambar 4.14	Plot Curah Hujan Keputih dengan Seluruh Grid 1x1 Data NA.....	72
Gambar 4.15	Plot CH Keputih dengan Lag 1 Hingga Lag 7 Grid 1x1.....	76
Gambar 4.16	Plot Curah Hujan Keputih Grid 3x3 Data NA dengan Variabel Output GCM Tanpa Nilai 0.....	79
Gambar 4.17	Plot CH Keputih dengan PCA Grid 3x3 Tanpa Nilai 0.....	81
Gambar 4.18	Plot CH Keputih Lag 1 Hingga 7 dan PCA Grid 3x3 Tanpa Nilai 0.....	87
Gambar 4.19	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Keputih Tanpa Nilai 0.....	88
Gambar 4.20	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Keputih Grid 1x1.....	89
Gambar 4.21	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Kdcowek Tanpa Nilai 0.....	88
Gambar 4.22	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Kdcowek Grid 1x1.....	91
Gambar 4.23	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Gubeng Tanpa Nilai 0.....	93
Gambar 4.24	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Gubeng Grid 1x1.....	94
Gambar 4.25	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Wono- Rejo Tanpa Nilai 0.....	96
Gambar 4.26	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Wonorejo Grid 1x1.....	96
Gambar 4.27	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Wono- kromo Tanpa Nilai 0.....	98
Gambar 4.28	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Wonokromo Grid 1x1.....	99
Gambar 4.29	Plot ACF PACF Residual Grid 1x1 CH Gunung- sari Tanpa Nilai 0.....	101
Gambar 4.30	Prediksi Data <i>Testing</i> CH Gunungsari Grid 1x1.....	102
Gambar 4.31	Rayon PU Binamarga & Pematusan Surabaya...	103

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Keluarga Copula Archimedean	14
Tabel 2.2 Estimasi Parameter Copula Archimedean.....	21
Tabel 2.3 <i>Link Function</i> dan <i>Link Imverse</i>	23
Tabel 2.4 Tabel Kekasaran Manning untuk Saluran.....	27
Tabel 2.5 Tabel Koefisien <i>Runoff</i> (C).....	28
Tabel 3.1 Ilustrasi Grid 1x1 dan Grid 3x3.....	30
Tabel 3.2 Variabel Penelitian.....	31
Tabel 3.3 Struktur Data Curah Hujan Pada Masing – Masing Stasiun dan Variabel Klimatologi pada <i>Output GCM</i> dengan Grid 1x1.....	32
Tabel 3.4 Struktur Data Variabel Klimatologi <i>Output GCM</i> Grid 3x3.....	33
Tabel 4.1 Identifikasi <i>Missing Value</i> Data Curah Hujan.....	39
Tabel 4.2 Karakteristik Data Curah Hujan Harian.....	40
Tabel 4.3 <i>Output Principle Component Analysis</i> (PCA).....	43
Tabel 4.4 Pemodelan Curah hujan Keputih dengan PR Grid 1x1.....	45
Tabel 4.5 Pemodelan Curah hujan Keputih dengan TAS Grid 1x1.....	45
Tabel 4.6 Pemodelan Curah hujan Keputih dengan HUSS Grid 1x1.....	45
Tabel 4.7 Pemodelan Curah hujan Keputih dengan SFCWIND Grid 1x1.....	46
Tabel 4.9 Pemodelan CH Keputih dengan PR dan Dummy Grid 1x1.....	47
Tabel 4.9 Pemodelan CH Keputih dengan TAS dan Dummy Grid 1x1.....	47
Tabel 4.10 Pemodelan CH Keputih dengan HUSS dan Dummy Grid 1x1.....	47

Tabel 4.11 Pemodelan CH Keputih dengan SFCWIND dan Dummy Grid 1x1.....	48
Tabel 4.12 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1.....	49
Tabel 4.13 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 1.....	51
Tabel 4.14 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 2.....	51
Tabel 4.15 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 3.....	52
Tabel 4.16 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 4.....	52
Tabel 4.17 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 5.....	53
Tabel 4.18 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 6.....	53
Tabel 4.19 Pemodelan CH Keputih dengan <i>Output GCM</i> Grid 1x1 Lag 7.....	54
Tabel 4.20 Pemodelan CH Keputih dengan PR PCA Grid 3x3	56
Tabel 4.21 Pemodelan CH Keputih dengan TAS PCA Grid 3x3	56
Tabel 4.22 Pemodelan CH Keputih dengan HUSS PCA Grid 3x3.....	57
Tabel 4.23 Pemodelan CH Keputih dengan SFCWIND PCA Grid 3x3.....	57
Tabel 4.24 Pemodelan CH Keputih dengan PCA Grid 3x3.....	58
Tabel 4.25 Pemodelan CH Keputih Lag 1 dengan PCA Grid 3x3.....	60
Tabel 4.26 Pemodelan CH Keputih Lag 2 dengan PCA Grid 3x3.....	60
Tabel 4.27 Pemodelan CH Keputih Lag 3 dengan PCA Grid 3x3.....	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.28 Pemodelan CH Keputih Lag 4 dengan PCA Grid 3x3.....	62
Tabel 4.29 Pemodelan CH Keputih Lag 5 dengan PCA Grid 3x3.....	62
Tabel 4.30 Pemodelan CH Keputih Lag 6 dengan PCA Grid 3x3.....	63
Tabel 4.31 Pemodelan CH Keputih Lag 7 dengan PCA Grid 3x3.....	64
Tabel 4.32 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan PR5 Grid 1x1.....	69
Tabel 4.33 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan TAS5 Grid 1x1.....	69
Tabel 4.34 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan HUSS5 Grid 1x1.....	70
Tabel 4.35 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan SFCWIND5 Grid 1x1.....	70
Tabel 4.36 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1.....	71
Tabel 4.37 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 1.....	72
Tabel 4.38 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 2.....	73
Tabel 4.39 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 3.....	73
Tabel 4.40 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 4.....	73
Tabel 4.41 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 5.....	74
Tabel 4.42 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 6.....	75

Tabel 4.43 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 7.....	76
Tabel 4.44 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan PR PCA Grid 1x1.....	78
Tabel 4.45 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan TAS PCA Grid 1x1.....	78
Tabel 4.46 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan HUSS PCA Grid 1x1.....	78
Tabel 4.47 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan SFCWIND PCA Grid 1x1.....	79
Tabel 4.48 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 1x1.....	80
Tabel 4.49 Pemodelan CH Keputih Lag 1 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	81
Tabel 4.50 Pemodelan CH Keputih Lag 2 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	82
Tabel 4.51 Pemodelan CH Keputih Lag 3 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	82
Tabel 4.52 Pemodelan CH Keputih Lag 4 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	83
Tabel 4.53 Pemodelan CH Keputih Lag 5 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	84
Tabel 4.54 Pemodelan CH Keputih Lag 6 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	85
Tabel 4.55 Pemodelan CH Keputih Lag 7 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3.....	85
Tabel 4.56 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Keputih.....	89
Tabel 4.57 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Kedungcowek.....	92
Tabel 4.58 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Gubeng.....	94
Tabel 4.59 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Wonorejo.....	97
Tabel 4.60 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Wonokromo.....	100
Tabel 4.60 Hasil Prediksi Data <i>Testing</i> CH Gunungsari.....	102
Tabel 4.61 Sinkronisasi Enam Pos Hujan terhadap Rayon.....	104

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.62 Hasil Prediksi Curah Hujan Maksimum	104
Tabel 4.63 Perhitungan Banjir di Keputih.....	105
Tabel 4.64 Perhitungan Banjir di Kedungcowek.....	105
Tabel 4.65 Perhitungan Banjir di Gubeng.....	106
Tabel 4.66 Perhitungan Banjir di Wonorejo.....	107
Tabel 4.67 Perhitungan Banjir di Wonokromo.....	109
Tabel 4.68 Perhitungan Banjir di Gunungsari.....	110

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Curah Hujan Masing – Masing Pos	119
Lampiran 2. Data <i>Output</i> GCM CSIRO Mk 3.6.....	120
Lampiran 3. <i>Syntax</i> R <i>preprocessing</i> untuk mengambil variabel sesuai ilustrasi pembagian Grid 3x3.....	124
Lampiran 4. <i>Syntax</i> R Imputasi Mean.....	124
Lampiran 5. <i>Syntax</i> R Statistika Deskriptif <i>Boxplot</i>	125
Lampiran 6. <i>Syntax</i> R Statistika Deskriptif <i>Time Series Plot</i>	126
Lampiran 7. <i>Syntax</i> R Statistika Deskriptif <i>Scatter Plot</i>	128
Lampiran 8. <i>Syntax</i> R PCA.....	131
Lampiran 9. <i>Syntax</i> R Data <i>Training</i>	131
Lampiran 10. <i>Syntax</i> R Pemodelan CH Keputih Univariabel...	132
Lampiran 11. <i>Syntax</i> R Pemodelan CH Keputih Multivariabel	135
Lampiran 12. <i>Syntax</i> R Pemodelan CH Keputih Multivariabel Dan Dummy.....	137
Lampiran 13. <i>Syntax</i> R Pemodelan CH Keputih Multivariabel Dan Dummy Grid 1x1 dan Lag.....	138
Lampiran 14. <i>Syntax</i> R Prediksi GCMR.....	139
Lampiran 15. <i>Syntax</i> R Mengubah Nilai 0 menjadi NA.....	140
Lampiran 16. <i>Syntax</i> R Lag ARIMA.....	141
Lampiran 17. RMSE Wonorejo Grid 1x1 NA.....	142
Lampiran 18. RMSE Wonokromo Grid 1x1 NA.....	143
Lampiran 19. RMSE Kedungcowek Grid 1x1 NA.....	144
Lampiran 20. RMSE Gunung Sari Grid 1x1 NA.....	145
Lampiran 21. RMSE Gubeng Grid 1x1 NA.....	146
Lampiran 22. RMSE Wonorejo Grid 3x3 NA.....	147
Lampiran 23. RMSE Wonokromo Grid 3x3 NA.....	148
Lampiran 24. RMSE Kedungcowek Grid 3x3 NA.....	149

Lampiran 25. RMSE Gunung Sari Grid 3x3 NA.....	150
Lampiran 26. RMSE Gubeng Grid 3x3 NA.....	151
Lampiran 27. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Keputih.....	152
Lampiran 28. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Kedungcowek.....	152
Lampiran 29. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Gubeng.....	153
Lampiran 30. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Wonorejo.....	153
Lampiran 31. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Wonokromo.....	154
Lampiran 32. <i>Output</i> R Model Terbaik Pos Hujan Gunungsari.....	154
Lampiran 33. Surat Keterangan Pengambilan Data Tugas Akhir.....	155
Lampiran 34. Surat Keterangan Pengambilan Data Tugas Akhir.....	156

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peristiwa bencana alam merupakan salah satu fenomena yang dapat terjadi setiap saat diluar kendali manusia. Bencana alam dapat menimbulkan kerugian bagi makhluk hidup yang berada disekitarnya baik kerugian material maupun nonmaterial karena tidak dapat diketahui kapan akan terjadi. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 menjelaskan bahwa bencana alam merupakan bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor (BNPB, 2007).

Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana diketahui bahwa sepanjang tahun 2008 hingga 2018, terdapat 19.549 bencana yang terjadi di Indonesia meliputi banjir, tanah longsor, gelombang pasang, puting beliung, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, gempa bumi, tsunami, gempa bumi dan tsunami, dan letusan gunung berapi. Badan Nasional Penanggulangan Bencana membagi kerugian bencana alam menjadi meninggal dan hilang, luka-luka, terdampak dan mengungsi, rumah rusak berat, rumah rusak sedang, rumah rusak ringan, terendam, fasilitas kesehatan, fasilitas peribadatan, dan fasilitas pendidikan. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, kejadian bencana alam paling banyak terjadi pada tahun 2017 dengan jumlah kejadian sebanyak 2.853 bencana dengan jumlah bencana paling banyak adalah banjir sebanyak 978 kejadian di Indonesia (BNPB, 2018).

Bencana banjir adalah salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia terutama pada musim penghujan antara bulan Oktober hingga bulan Maret. Banjir yang terjadi setiap tahun di wilayah Indonesia dapat menimbulkan korban jiwa maupun kerugian material seperti rusaknya fasilitas umum, fasilitas kesehatan, dan fasilitas pendidikan. Banjir adalah peristiwa

terjadinya genangan (limpahan) air di wilayah tertentu sebagai akibat meluapnya air sungai, danau, atau laut yang menimbulkan kerugian baik materi maupun non-materi terhadap manusia dan lingkungan. Banjir bisa terjadi perlahan-lahan dalam waktu lama atau terjadi mendadak dalam waktu yang singkat yang disebut banjir bandang (Departemen Kesehatan RI, 2007). Salah satu jenis banjir berdasarkan lokasi sumber aliran permukaannya adalah banjir lokal atau genangan, yaitu yang terjadi karena volume hujan setempat yang melebihi kapasitas pembuangan di suatu wilayah (Rahayu, Wahdiny, Utami, & Asparini, 2009)

Banjir paling nyata terjadi di kota-kota besar yang ada di Indonesia tidak terkecuali di Kota Surabaya, salah satu kota metropolitan yang menjadi ibukota dari Provinsi Jawa Timur. Kota Surabaya merupakan kota metropolitan kedua di Indonesia dengan karakteristik wilayah berupa dataran rendah dengan ketinggian 3-6 meter diatas permukaan laut, kecuali disebelah selatan memiliki ketinggian 25-50 meter diatas permukaan laut. Luas wilayah kota Surabaya sebesar 326.36 km² yang terbagi kedalam 31 kecamatan dan 161 desa/kelurahan (BPS Kota Surabaya, 2017). Kota Surabaya merupakan pusat kegiatan ekonomi Jawa Timur sehingga pertumbuhan kota Surabaya selalu menjadi perhatian utama pemerintah dalam menjaga stabilitas perekonomian khususnya Provinsi Jawa Timur. Penghargaan yang telah diperoleh oleh Kota Surabaya diantaranya Penghargaan Kalpataru, rekor muri untuk pembangunan taman kota dilahan bekas SPBU sebanyak 13 taman selama kurun waktu 2008-2009, penghargaan adipura selama enam tahun berturut-turut (Pemerintah Kota Surabaya, 2016) serta penghargaan internasional diantaranya Lee Kuan Yew World City Prize dari *Urban Development Authority* (URA) dan *Center Liveable Cities* (CLC) pada tahun 2018 (Surya, 2018). Banyaknya penghargaan yang telah diraih oleh Kota Surabaya membuktikan bahwa Pemerintah Kota Surabaya terus menerus melakukan perbaikan seiring dengan perkembangan pola perilaku kehidupan masyarakat akibat adanya arus globalisasi. Pembangunan

berkelanjutan ini menyebabkan perubahan tata guna lahan yang sebelumnya digunakan sebagai daerah resapan air menjadi daerah pemukiman maupun daerah industri sehingga menyebabkan terjadinya bencana banjir. Sehingga dengan perubahan tata guna lahan ini menyebabkan pemerintah memberikan perhatian khusus untuk meminimalisir resiko yang diberikan dengan adanya banjir genangan terutama pada kawasan yang menjadi pusat kegiatan ekonomi baik kota Surabaya maupun provinsi Jawa Timur. Banjir perkotaan mengandung tantangan serius untuk pembangunan dan kehidupan manusia, terutama bagi para penduduk yang tinggal di wilayah negara berkembang (Bloch, Jha, & Lamond, 2012).

Salah satu banjir genangan yang terjadi di Kota Surabaya adalah yang terjadi pada tanggal 31 Januari 2019. Hujan yang mengguyur wilayah Surabaya khususnya Surabaya Barat mengakibatkan sejumlah ruas jalan tergenang banjir dengan ketinggian bervariasi antara 50 sentimeter hingga 1,5 meter. Banjir tersebut mengakibatkan perumahan mewah serta kawasan kampus di Surabaya Barat juga ikut terendam serta puluhan kendaraan yang terparkir dikawasan tersebut juga ikut tenggelam (Okezone, 2019). Banjir di kota Surabaya merupakan salah satu permasalahan yang serius karena dapat mengurangi tingkat produktifitas masyarakat serta dapat mengganggu pertumbuhan ekonomi di kota Surabaya. Resiko bahaya dan kerugian dari bencana banjir dapat dikurangi dengan menerapkan manajemen resiko bencana, yang manfaatnya dapat mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya dan mengurangi daya rusak suatu bahaya yang tidak dapat dihindarkan (Widiati, 2008).

Banjir genangan dapat disebabkan oleh dua hal, yakni alami dan tindakan manusia. Salah satu penyebab terjadinya banjir alami adalah curah hujan. Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan sebelum mengalami aliran permukaan, evaporasi dan peresapan dalam tanah (Aldrian, Mimin, & Budiman, 2011). Curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir jika air hujan yang ditampung disungai melebihi tebing sungai sehingga akan menimbulkan genangan.

Curah hujan 1 (satu) mm artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter (Kodoatie, 2006). Curah hujan disuatu daerah dapat diukur dengan mengetahui kondisi iklim disuatu wilayah adalah dengan menggunakan output *General Circulation Model (GCM)*. *General Circulation Model (GCM)* merupakan suatu alat utama dalam kajian keragaman dan perubahan iklim (Zorita & Von storch, 1999). Namun, terkadang dijumpai ketidaksesuaian skala antara output *General Circulation Model (GCM)* yang beresolusi rendah dan skala ruang untuk kajian regional terutama untuk daerah dengan topografi yang kompleks, seperti halnya di Indonesia, model output *General Circulation Model (GCM)* hasilnya kurang sensitif (Wilby dkk, 2004) dikutip dari Sutikno (2008). Salah satu yang dapat dilakukan untuk menginterpolasi data pada grid berskala global terhadap data pada grid berskala lokal (data wilayah pengamatan) dapat menggunakan *statistical downscaling*.

Teknik *statistical downscaling* merupakan proses *downscaling* yang memiliki sifat statik dimana menggunakan data grid skala besar dalam periode dan jangka waktu tertentu sebagai dasaran untuk menentukan data pada grid berskala kecil (Wigena, 2006). Pada penelitian ini, *statistical downscaling* akan digunakan untuk menginterpolasi data output *General Circulation Model (GCM)* pada *output* dari CSIRO Mk3.6 skenario rcp45 untuk memprediksi curah hujan yang berada pada enam wilayah stasiun yakni Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek, dan Gubeng dengan menggunakan pendekatan regresi yakni *Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR)*. Penggunaan Copula untuk kasus klimatologi ini didasari atas penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Schölzel dan Friederichs (2008), Balistocchi dan Bacchi (2011), serta Bacchi dkk (1994) yang menerapkan Copula pada bidang klimatologi dan hidrologi khususnya pada curah hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Copula merupakan metode yang tepat untuk menangani masalah ketidaknormalan serta dependensi

dalam suatu data. Penelitian mengenai *statistical downscaling* sebelumnya juga telah dilakukan oleh Subimal (2005) yang menggunakan metode regresi linier serta *fuzzy clustering* untuk memprediksi curah hujan menggunakan *output General Circulation Model* (GCM). Selain itu, penelitian mengenai konsep *downscaling* dengan menggunakan Copula juga telah dilakukan oleh Van den Berg dkk (2011). Sedangkan penelitian untuk metode GCMR telah dilakukan oleh Masarotto dan Varin (2012) untuk analisis regresi marginal pada data yang berkorelasi dan tidak normal. Spesifikasi model yang tepat akan menghasilkan interpretasi sederhana dari parameter – parameter marginal dan fleksibilitas yang baik pada struktur dependen. Pembuktian penerapan metode analisis regresi marginal dalam data *timeseries*, studi longitudinal, data spasial, dan analisis survival.

Dari uraian yang telah dijelaskan diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan *statistical downscaling output General Circulation Model* (GCM) untuk memprediksi curah hujan pada enam wilayah stasiun pengamatan di kota Surabaya menggunakan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR). Merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sutikno (2008), *statistical downscaling output General Circulation Model* (GCM) CSIRO Mk3.6 skenario rcp45 dilakukan pada peubah cuaca yang berupa *precipitable water* (PR), temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) dimana merupakan model dari pembangkit cuaca yang mereplikasi ukuran statistik peubah iklim lokal dengan pengondisian peubah penjelas atmosfer, kondisi cuaca, atau sifat curah hujan. Metode *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) digunakan untuk menangkap dependensi dari eror antar waktu pada regresi marginal agar independen sesuai dengan asumsi yang dibutuhkan. Setelah didapat model dari prediksi curah hujan, untuk menentukan model prediksi curah hujan paling optimal maka akan menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Setelah didapat prediksi curah hujan pada masing-masing wilayah maka

akan dilakukan prediksi terhadap bencana banjir genangan di kota Surabaya dengan menggunakan perhitungan matematis menggunakan metode rasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana prediksi banjir genangan berdasarkan prediksi curah hujan di Kota Surabaya menggunakan *statistical downscaling output General Circulation Model (GCM)* menggunakan metode *Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR)* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik data curah hujan harian serta banjir di Kota Surabaya.
2. Mengetahui prediksi curah hujan harian Kota Surabaya berdasarkan *output General Circulation Model (GCM)* menggunakan metode *statistical downscaling*.
3. Mengetahui prediksi banjir genangan Kota Surabaya berdasarkan prediksi curah hujan dengan menggunakan pendekatan *Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR)*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak sebagai berikut.

1. Memberikan wawasan mengenai penggunaan *statistical downscaling* dari data *output General Circulation Model (GCM)* pada kasus prediksi curah hujan.
2. Memberikan wawasan keilmuan statistika mengenai pengembangan metode *Gaussian Copula Marginal Regression* pada data klimatologi.
3. Memberikan informasi dan rekomendasi bagi professional dalam bidang klimatologi dan meteorologi mengenai

penelitian yang membahas terkait curah hujan dan banjir genangan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan permasalahan pada penelitian ini adalah data pengamatan curah hujan pada masing-masing wilayah di Kota Surabaya tidak mengalami pergantian sistem drainase serta saluran air. Wilayah tersebut meliputi wilayah Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek, dan Gubeng dimana genangan pada masing-masing wilayah disebabkan oleh adanya curah hujan yang tinggi. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan efek spasial yang ditimbulkan dari masing-masing wilayah pengamatan di Kota Surabaya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir dapat didefinisikan sebagai tergenangnya tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air disuatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi (Rahayu, Wahdiny, Utami, & Asparini, 2009). Banjir merupakan peristiwa dimana daratan yang kering menjadi tergenang oleh air akibat adanya curah hujan yang tinggi dan kondisi topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung. Selain itu penyebab banjir juga disebabkan oleh limpasan air permukaan (*runoff*) yang meluap dan volume melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase atau sistem aliran sungai (Ligal, 2008).

Kategori banjir terbagi berdasarkan lokasi sumber aliran permukaan dan berdasarkan mekanisme terjadinya banjir.

1. Berdasarkan lokasi sumber aliran permukaan
 - Banjir kiriman : Banjir yang diakibatkan oleh tingginya curah hujan di daerah hulu sungai.
 - Banjir lokal (banjir genangan) : banjir yang terjadi karena volume hujan setempat yang melebihi kapasitas pembuangan suatu wilayah.
2. Berdasarkan mekanisme terjadinya banjir
 - *Regular flood* : Banjir yang disebabkan oleh hujan
 - *Irregular flood* : Banjir yang disebabkan oleh selain hujan, seperti tsunami, gelombang pasang, dan hancurnya bendungan. (Rahayu, Wahdiny, Utami, & Asparini, 2009).

Penyebab umum terjadinya banjir dibedakan menjadi 2, yakni banjir yang disebabkan oleh sebab alami dan banjir yang disebabkan oleh tindakan manusia. (Kodoatie R. J., 2013). Banjir yang diakibatkan oleh alam diantaranya adalah :

1. Curah hujan
Indonesia mempunyai iklim tropis sehingga sepanjang tahun mempunyai dua musim yaitu antara bulan Oktober

sampai bulan Maret, dan musim kemarau terjadi antara bulan April sampai bulan September. Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan jika melebihi tebing sungai maka akan timbul genangan.

2. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolik (bentuk penampang meliputi lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai) lokasi sungai merupakan hal – hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

Erosi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi menjadi masalah klasik pada sungai – sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir pada sungai.

2.2 Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan sebelum mengalami aliran permukaan, evaporasi dan peresapan dalam tanah (Aldrian, Mimin, & Budiman, 2011). Curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir jika air hujan yang ditampung disungai melebihi tebing sungai sehingga akan menimbulkan genangan. Curah hujan 1 (satu) mm artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter (Kodoatie R. J., 2006).

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan satu millimeter menunjukkan pada daerah luasan satu meter persegi dalam tempat yang datar tertampung air setinggi satu millimeter. Curah hujan dibatasi sebagai tinggi air (dalam mm) yang diterima di permukaan sebelum mengalami aliran permukaan, evaporasi dan

peresapan/perembesan ke dalam tanah. Jumlah hari hujan umumnya di batasi dengan jumlah dengan curah hujan 0,5 mm atau lebih. Jumlah hari hujan dapat dinyatakan per-minggu, dekade, bulan, tahun atau periode tanam. Curah hujan jika dilihat berdasarkan intensitasnya dibagi menjadi tiga yakni :

1. Curah hujan rendah (150-200 mm/bulan)
2. Curah hujan sedang (200-250 mm/bulan)
3. Curah hujan tinggi (250-300 mm/bulan)

Curah hujan dengan intensitas lebih dari 50 mm per hari menjadi parameter terjadinya hujan dengan intensitas lebat sedangkan curah hujan ekstrem memiliki curah hujan melebihi 100 mm perhari (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2013). Perubahan iklim yang menyebabkan terjadinya curah hujan disebabkan oleh beragam faktor diantaranya, suhu, kelembaban udara, dan angin (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2011). Karena curah hujan bersifat dinamis, maka perkiraan curah hujan akan dianalisis lebih lanjut berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas curah hujan dari suatu wilayah.

2.3 General Circulation Model (GCM)

General Circulation Model (GCM) merupakan suatu alat utama dalam kajian keragaman dan perubahan iklim (Zorita & Von storch, 1999). *General Circulation Model (GCM)* dipandang sebagai metode yang paling berpotensi dalam hal mensimulaikan iklim dimasa lampau, sekarang, dan memprediksi perubahan iklim yang akan terjadi di masa mendatang. *General Circulation Model (GCM)* merupakan penggambaran matematis dari sejumlah besar interaksi fisika, kimia, dan dinamika atmosfer bumi. Berbagai model *General Circulation Model (GCM)* telah dikembangkan di berbagai negara dimana hasil dari perbandingan GCM mempunyai tingkat akurasi yang berbeda-beda pada suatu wilayah. Model ini menduga perubahan unsur - unsur cuaca dalam bentuk luaran grid - grid yang berukuran 100-500 km menurut lintang dan bujur. Menurut Smith (1989) diacu dalam Sutikno (2008), *General Circulation Model (GCM)* memiliki

beberapa keuntungan:

1. Model-model tersebut digunakan untuk mengestimasi perubahan iklim global dalam merespon terhadap peningkatan konsentrasi gerakan rumah kaca.
2. Estimasi peubah iklim (seperti curah hujan, suhu, dan kelembaban) secara fisik sesuai dengan model fisika.
3. Estimasi peubah cuaca (seperti angin radiasi, penutup awan, dan kelembaban tanah) cukup tersedia untuk masukan model dampak.
4. Mampu mensimulasi keragaman iklim siklus harian.

2.4 *Principal Component Analysis (PCA)*

Principal Component Analysis (PCA) adalah suatu analisis yang menjelaskan struktur varians kovarian dari suatu himpunan variabel melalui kombinasi linier dari variabel tersebut. *Principal Component Analysis (PCA)* digunakan untuk mereduksi variabel menjadi lebih sedikit dari jumlah variabel sebelumnya. Pembentukan jumlah *Principal Component* berdasarkan dua cara, yakni matriks varian kovarian atau matriks korelasi (Johnson & Wichern, 2002).

Komponen utama tergantung pada matriks varian kovarian Σ dan matriks korelasi ρ dari seluruh variabel $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$. Pada analisis menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)*, pemilihan komponen utama yang digunakan berdasarkan pada *eigen value* (λ) yang bernilai lebih besar dari 1 ($\lambda_j > 1$). Hal ini dikarenakan *eigen value* berasal dari matriks varian kovarian Σ dan matriks korelasi ρ yang merupakan *standardized* dari matriks varian kovarian Σ dengan rata-rata sebesar 1. Secara ideal, banyak komponen utama secara kumulatif telah menerangkan sekitar 60% atau lebih variasi dalam data. Nilai λ akan membentuk nilai *eigen vector* (e'_i). Masing-

masing nilai dari *eigen vector* (e'_i) dikalikan dengan masing-masing variabel asli sehingga menghasilkan persamaan analisis komponen utama sesuai dengan nilai k dengan keragaman total telah terpenuhi (Johson & Wichern, 2002).

Matriks $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_m]$ adalah matriks yang vektor-vektor kolomnya adalah vektor random yang memiliki matriks kovariansi Σ (simetris) dengan nilai *eigen* $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m > 0$ dan vektor *eigen* yang bersesuaian untuk setiap $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m > 0$ adalah $\bar{e}_1, \dots, \bar{e}_m$ yang saling orthogonal. Komponen prinsip ke- k adalah

$$PC_k = \bar{e}_k^T X = e_{1k} X_1 + e_{2k} X_2 + \dots + e_{mk} X_m \quad (2.1)$$

dimana :

$k=1,2,\dots,K$

$j=1,2,\dots,m$

sehingga

$$\text{var}(PC_k) = \bar{e}_k^T \Sigma \bar{e}_k = \lambda_k \quad \text{dimana } k=1,2,3,\dots,K \quad (2.2)$$

$$\text{cov}(PC_i, PC_k) = \bar{e}_i^T \Sigma \bar{e}_k \quad \text{dimana } i \neq k \quad (2.3)$$

dimana :

\bar{e}_i^T = Transpose dari *eigen vector* ke- k

\mathbf{X} = Matriks data

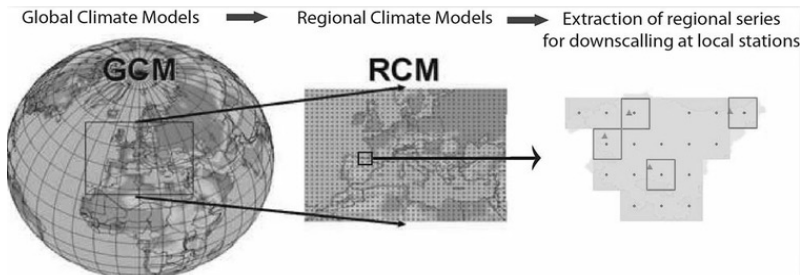
PC = *Principle Component*

Σ = Matriks Kovariansi

2.5 *Statistical Downscaling*

Teknik *downscaling* merupakan suatu cara untuk menginterpolasi variabel independen berskala regional terhadap variabel berskala kecil. Wilby dan Wigley (2007) diacu dalam (Wigena, 2006) menyatakan bahwa *downscaling* dibagi kedalam beberapa kategori. Salah satu kategori yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan pendekatan regresi untuk

menggambarkan hubungan linier atau nonlinier antara peubah prediktan dan peubah penjelas (GCM). Teknik *downscaling* didasarkan pada asumsi bahwa iklim regional dikondisikan (dipengaruhi) oleh iklim skala global (benua) dimana iklim regional merupakan hasil interaksi dari atmosfer, lautan, serta sirkulasi spesifik (lokal).



Gambar 2.1 Ilustrasi *Downscaling*

Teknik *statistical downscaling* merupakan proses *downscaling* yang memiliki sifat statistik dimana menggunakan data grid skala besar dalam periode dan jangka waktu tertentu sebagai dasaran untuk menentukan data pada grid berskala kecil (Wigena, 2006). Untuk memperoleh hubungan fungsional data GCM yang memiliki skala besar dengan skala yang lebih kecil maka menggunakan pendekatan SD yang dinyatakan dengan :

$$y = f(x) + \varepsilon \quad (2.4)$$

Dimana :

y = variabel dependen (curah hujan skala lokal)

$f(x)$ = variabel independen (curah hujan skala global)

ε = sisaan

Menurut Busuioc dkk (2011) diacu dalam Sutikno (2008), metode *statistical downscaling* akan memberikan hasil yang baik jika tiga syarat terpenuhi:

1. Hubungan erat antara peubah prediktan dengan peubah penjelas untuk menerangkan keragaman iklim lokal dengan baik.
2. Peubah penjelas disimulasikan dengan baik oleh *General Circulation Model* (GCM).
3. Hubungan antara peubah prediktan dan peubah penjelas tidak berubah dengan perubahan waktu.

Beberapa permasalahan yang muncul dalam *statistical downscaling* diantaranya adalah :

1. Menentukan domain grid.
2. Mendapatkan peubah penjelas yang mampu menjelaskan keragaman peubah lokal.
3. Mendapatkan metode statistik yang sesuai karakteristik data sehingga bisa menggambarkan hubungan antara peubah prediktan dan peubah penjelas, serta mengakomodasi kejadian ekstrem.

Pemanfaatan keluaran model *statistical downscaling* dari *output General Circulation Model* (GCM) digunakan untuk berbagai aplikasi iklim. Pada penelitian ini, *output* model *statistical downscaling* digunakan untuk memprediksi curah hujan pada enam wilayah pengamatan stasiun milik UPT PSDA WS Brantas di kota Surabaya.

2.6 Copula dan Variabel Random Multivariat

Menurut Schölzel dan Friederich (Schölzel & Friederichs, 2008), apabila terdapat vektor random x dengan dimensi m yang memiliki fungsi distribusi kumulatif marginal $F_{X_1}, F_{X_2}, \dots, F_{X_m}$ dengan domain R yang tidak turun, yaitu $F_{x_i}(-\infty) = 0$ dan, maka sesuai dengan teorema (Sklar, 1959), distribusi bersamanya didapat sebagai berikut.

$$F_X(X_1, X_2, \dots, X_m) = C_X(F_{X_1}(X_1), F_{X_2}(X_2), \dots, F_{X_m}(X_m)) \quad (2.5)$$

dimana $C_X : [0,1] \times \dots \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ merupakan distribusi bersama dari transformasi variabel random $U_j = F_{X_j}(X_j)$ untuk $j = 1, 2, \dots, m$ dengan U_j berdistribusi marginal uniform. Apabila distribusi marginal $F_{X_j}(X_j)$ kontinu, maka C_X adalah unik (Nelsen, 2005) dan persamaan untuk C_X dituliskan sebagai berikut.

$$C_X(u_1, \dots, u_m) = \int_0^{u_1} \dots \int_0^{u_m} c_X(u_1, \dots, u_m) du_1 \dots du_m \quad (2.6)$$

dimana C_X adalah Copula dan c_X adalah persamaan densitas Copula sehingga Copula adalah fungsi distribusi bersama atau fungsi distribusi multivariat untuk distribusi marginal yang uniform (Nelsen, 2005).

2.7 Keluarga Copula

Menurut Schölzel dan Friederich (Schölzel & Friederichs, 2008), bentuk parameter dari fungsi Copula maupun densitas Copula termasuk dalam satu keluarga Copula. Terdapat dua keluarga Copula yang penting, yakni Copula *Ellips* dan Copula Archimedean dengan uraian bentuk fungsi Copula dan densitas Copula menggunakan parameter dari masing-masing keluarga Copula.

2.8 Copula *Ellips*

Copula *Ellips* merupakan Copula dengan distribusi berbentuk *ellips*. Copula *Ellips* memiliki dua tipe Copula yang masuk kedalam keluarga Copula *Ellips* yaitu Copula Normal dan Copula *t*.

2.8.1 Copula Normal

Copula Normal dibentuk dari distribusi normal melalui teori Sklar (Sklar, 1959). Copula Normal juga sering disebut Copula Gaussian yang diperoleh dari transformasi variabel random ke

distribusi normal standar multivariat. Vektor random x dengan dimensi m yang memiliki fungsi distribusi kumulatif marginal $F_{X_1}, F_{X_2}, \dots, F_{X_m}$, dengan $U_j = F_{X_j}(X_j) \sim U(0,1)$, maka untuk masing-masing komponen vektor random bisa ditransformasikan ke distribusi normal standar sebagai berikut.

$$Z_j = F_{N(0,1)}^{-1}\left(F_{X_j}(X_j)\right) \sim N(0,1) \quad (2.7)$$

dimana $j = 1, 2, \dots, m$ dan diasumsikan bahwa $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_m)^T$ mengikuti distribusi normal standar multivariat $N(0, \Sigma)$, dengan *mean* 0 dan matriks kovarian Σ . Fungsi Copula Normal sebagai berikut.

$$C_X(u_1, u_2, \dots, u_m) = F_{N(0, \Sigma)}\left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{-1}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{-1}(u_m)\right) \quad (2.8)$$

Sesuai dengan persamaan (2.6), maka densitas Copula untuk Copula Normal adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} c_X(u_1, u_2, \dots, u_m) &= \frac{\partial}{\partial u_1} \cdot \frac{\partial}{\partial u_2} \dots \frac{\partial}{\partial u_m} \cdot C_X(u_1, u_2, \dots, u_m) \\ &= \frac{f_{N(0, \Sigma)}\left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{-1}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{-1}(u_m)\right)}{\prod_{j=1}^m \left(f_{N(0,1)}\left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_j)\right)\right)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

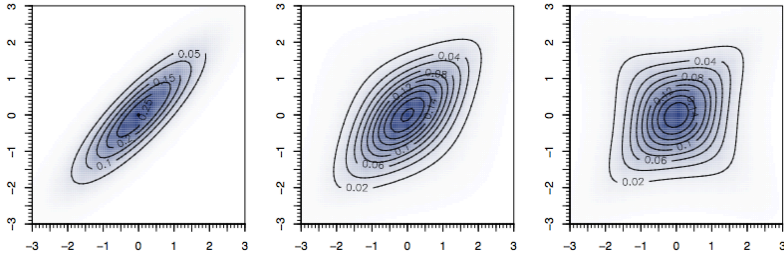
Menurut Schölzel dan Friederich (Schölzel & Friederichs, 2008), jika Copula Normal digunakan pada distribusi normal multivariat, maka diasumsikan memiliki hubungan yang linier.

2.8.2 Copula t

Menurut Schölzel dan Friederich (Schölzel & Friederichs, 2008), Copula- t merupakan analogi untuk Copula Gaussian menggunakan gabungan multivariat distribusi t , fungsi Copula- t adalah sebagai berikut.

$$C_X(u_1, u_2, \dots, u_m) = F_{t(v, \Sigma)}\left(F_{t(v)}^{-1}(u_1), F_{t(v)}^{-1}(u_2), \dots, F_{t(v)}^{-1}(u_m)\right) \quad (2.10)$$

dimana $F_{(v)}$ adalah distribusi t univariabel dengan derajat bebas v dan matriks kovarian Σ , mempunyai parameter sebanyak $1+m(m-1)/2$.



Gambar 2.2 Contoh bentuk PDF dari Copula-t dengan $\rho = 0,865$ dan $v = \infty, 5, 2.5$ (kiri ke kanan).

(Sumber : Schölzel dan Friederichs, 2008)

Copula-t menunjukkan fleksibilitas dalam struktur kovarians dan *tail* dependensi. *Tail* dependensi dapat dianggap sebagai probabilitas kondisional dari observasi ekstrim dalam satu komponen lain yang diberikan dalam keadaan ekstrim (Schölzel & Friederichs, 2008). Bentuk *Probability Distribution Function* (PDF) ditunjukkan melalui Gambar 2.2 dimana karakteristik Copula-t yakni simetris.

2.9 Copula Archimedean

Copula Archimedean memiliki tiga kelompok penting, yakni keluarga Copula Gumbel, Frank, dan Clayton. Copula Archimedean memiliki bentuk distribusi yang memiliki *tail* dependensi untuk menunjukkan probabilitas kondisional pada daerah ekstrem. Persamaan untuk Copula Archimedean dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut.

$$C(u_1, u_2, \dots, u_m) = \phi^{-1} \{ \phi(u_1) + \phi(u_2) + \dots + \phi(u_m) \} \quad (2.11)$$

dengan $\phi: [0, 1] \rightarrow [1, \infty)$ adalah monoton sempurna, yaitu :

$$(-1)^k \frac{\partial^k}{\partial u^k} \phi^{-1}(u) \geq 0 ; k \in N \quad (2.12)$$

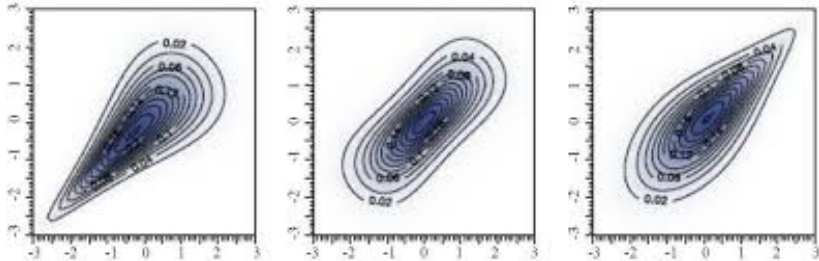
ϕ disebut Generator Copula C dan memiliki satu parameter θ (Kpanzou, 2007). Tabel 2.1 akan menyajikan macam-macam keluarga Copula Archimedean yang terdiri atas Copula Clayton, Gumbel dan Frank.

Tabel 2.1 Keluarga Copula Archimedean

Keluarga	Generator $\phi(u)$	Copula Bivariat $C(u_1, u_2)$
Clayton	$\frac{u^{-\theta} - 1}{\theta}, \theta \in (0, \infty)$	$(u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}$
Gumbel	$(-\log(u))^\theta, \theta \in [1, \infty)$	$\exp\left\{-\left[(-\log(u_1))^\theta + (-\log(u_2))^\theta\right]^{\frac{1}{\theta}}\right\}$
Frank	$\log\left(\frac{e^{\theta u} - 1}{e^\theta - 1}\right), \theta \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$	$\frac{1}{\theta} \log\left(1 + \frac{(e^{\theta u_1} - 1)(e^{\theta u_2} - 1)}{e^\theta - 1}\right)$

(Sumber :Kpanzou,2007)

Sedangkan untuk mengetahui bentuk kontur dari distribusi Copula Archimedean dapat dilihat melalui Gambar 2.3



Gambar 2.3 Contoh bentuk PDF Copula Archimedean untuk Clayton, Frank, dan Gumbel (kiri ke kanan)

(Sumber : Sumber : Schölzel dan Friederichs, 2008)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa *tail* dependensi keluarga Copula Archimedean berbeda satu dengan lainnya. Pada Copula Clayton diketahui memiliki *tail* dependensi di bagian bawah, Copula Frank tidak memiliki *tail* dependensi, dan Copula Gumbel

memiliki *tail* dependensi di bagian atas. Contoh kasus Copula Archimedean dalam kasus klimatologi sebelumnya pernah dilakukan oleh Scholzel dan Friederichs pada tahun 2008 untuk mengestimasi parameter Copula Gumbel pada distribusi bivariat curah hujan rata-rata.

2.10 Estimasi Parameter Copula

Estimasi parameter Copula dapat diperoleh dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) (Mikosch, 2006). Estimasi maksimum *likelihood* diperoleh melalui memaksimalkan fungsi log *likelihood*. Menurut teori Sklar (Sklar, 1959), fungsi densitas f pada kasus bivariat dapat dituliskan dalam bentuk Copula sebagai berikut.

$$f(x_1, x_2) = c\{F_1(x_1), F_2(x_2)\} \prod_{i=1}^2 f_i(x_i) ; x_1, x_2 \in R \quad (2.13)$$

Fungsi *likelihood* L dan *loglikelihood* dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* dapat ditulis sebagai berikut.

$$L = \prod_{j=1}^n f(x_1^{(j)}, x_2^{(j)}) = \prod_{j=1}^n \left(c\{F_1(x_1^{(j)}), F_2(x_2^{(j)})\} \prod_{i=1}^2 f_i(x_i^{(j)}) \right) \quad (2.14)$$

$$\ln L = \sum_{j=1}^n \ln c\{F_1(x_1^{(j)})\} + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \ln f_i(x_i^{(j)}) \quad (2.15)$$

Menurut Nelsen (Nelsen, 2005), penyelesaian persamaan 2.15 tidak menghasilkan bentuk *closed form*, sehingga diperlukan prosedur alternatif untuk Copula Archimedean. Estimasi parameter untuk Copula Archimedean dapat menggunakan pendekatan Tau Kendall sebagai berikut.

$$\tau_C = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(u)}{\phi'(u)} du \quad (2.16)$$

Sehingga estimasi parameter untuk masing-masing Copula Clayton, Frank dan Gumbel berdasarkan persamaan 2.15 dapat ditulis sebagai berikut.

Tabel 2.2 Estimasi Parameter Copula Archimedean

Keluarga	Estimasi θ
Clayton	$\tau = \frac{\theta_C}{\theta_C + 2}$ maka $\theta_C = \frac{2\tau}{1-\tau}$
Gumbel	$\tau = 1 - \frac{1}{\theta_G}$ maka $\theta_G = \frac{1}{1-\tau}$
Frank	$\tau = 1 - 4 \left(1 - D_1(\theta_F) \right) / \theta_F$ dimana $D_k(x)$ = fungsi Debye $D_k(x) = \frac{k}{x^k} \int_0^x \frac{u^k}{e^u - 1} du$

(Sumber : Embrechts dkk, 2001)

2.11 *Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR)*

Diketahui $Y = (Y_1, \dots, Y_n)^T$ merupakan vektor dengan variabel kontinu, diskrit maupun kategorik dari variabel random dependen. Dimisalkan $p_i(y_i; x) = p(y_i, x_i; \lambda)$ yang merupakan fungsi densitas marginal dari Y_i bersyarat terhadap x_i . Sehingga variabel prediktor akan dapat mempengaruhi tidak hanya pada rata-rata Y_i melainkan juga pada distribusi marginal. Fungsi densitas $p_i(y_i; \lambda)$ mengidentifikasi model regresi. Marginal parameter λ dapat dibangkitkan dengan menggunakan fungsi *pseudolikelihood* berikut.

$$\ell_{ind}(\lambda; y) = \prod_{i=1}^n p_i(y_i; \lambda) \quad (2.17)$$

Dimana *pseudolikelihood* merupakan perkiraan dari *joint probability distribution* dari kumpulan variabel *random* untuk membantu memperoleh estimasi dari suatu parameter.

Bentuk umum dari model *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) adalah sebagai berikut.

$$Y_i = g(x_i, e_i; \lambda), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.18)$$

dimana

- Y = variabel dependen (curah hujan skala lokal)
 X = variabel independen (curah hujan skala global)
 $g(\bullet)$ = *link function* pada regresi yang sesuai
 e_i = error dari model
 λ = parameter

Dari banyak kemungkinan $g(\bullet)$, pemilihan model adalah sebagai berikut.

$$Y_i = F_i^{-1} \{ \Phi(e_i) | x_i; \lambda \}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.19)$$

dimana $\Phi(\bullet)$ adalah fungsi distribusi kumulatif dari Y bersyarat x .

Diberikan x_i , berdasarkan teorema transformasi integral, model regresi pada persamaan (2.18) memastikan distribusi marginal dari Y_i . Spesifikasi model didapatkan dengan mengasumsikan vektor error $e = (e_1, \dots, e_n)^T$ normal multivariat,

$$e \sim MVN(\mathbf{0}, \Omega) \quad (2.20)$$

dimana Ω merupakan matriks korelasi. Dalam kasus semua pengamatan independen, maka $\Omega = I_n$ berupa matriks identitas berukuran $n \times n$.

Pada penelitian ini akan menggunakan *marginal distribution* Gamma dan Weibull. Berikut merupakan pdf dari distribusi Gamma dengan menggunakan dua parameter yaitu α dan β .

$$f(y | \alpha, \gamma) = \begin{cases} \frac{\gamma^\alpha \gamma^{\alpha-1} e^{-\gamma y}}{\Gamma(\alpha)} & , y > 0, \alpha > 0, \gamma > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (2.21)$$

dengan nilai harapan dan varians sebagai berikut.

$$\mu = \frac{\alpha}{\gamma} \text{ dan } \sigma^2 = \frac{\alpha}{\gamma^2} \quad (2.22)$$

Sedangkan berikut merupakan pdf dari distribusi Weibull.

$$f(x | \lambda, \vartheta) = \begin{cases} \frac{\vartheta}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\vartheta-1} e^{-(x/\lambda)^\vartheta}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

dengan nilai harapan dan varians sebagai berikut.

$$\mu = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{\vartheta}\right) \text{ dan } \sigma^2 = \lambda^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\vartheta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\vartheta}\right) \right] \quad (2.24)$$

Berikut merupakan *link function* yang digunakan pada penelitian ini beserta *link inverse* dari masing – masing *link function*.

Tabel 2.3 *Link Function dan Link Inverse*

	<i>Link Function</i>	<i>Link Inverse</i>
Identity	μ	μ
Squaare Root	$\sqrt{\mu}$	μ^2
Inverse	$\frac{1}{\mu}$	$\frac{1}{\mu}$
$1/\mu^2$	$\frac{1}{\mu^2}$	$\frac{1}{\sqrt{\mu}}$

2.12 Evaluasi Keباikan Model

Penentuan model terbaik pada penelitian ini maka akan menggunakan *Root Mean Squared Error* (RMSE). Penentuan model terbaik ditentukan berdasarkan error dari hasil ramalan data *testing (out sample)*. RMSE digunakan untuk mengetahui model prediksi curah hujan paling optimal pada masing-masing wilayah pengamatan. RMSE menghitung selisih antara nilai yang diprediksi oleh model dan nilai sebenarnya (Voulgaraki, 2013).

Secara sederhana, rumus perhitungan RMSE dapat dituliskan sebagai berikut (Wei, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (2.25)$$

Keterangan :

Y_i = nilai aktual

\hat{Y} = nilai prediksi

n = jumlah sampel

2.13 Hubungan Empiris Curah Hujan dan Limpasan Menggunakan Metode Rasional

Dalam menentukan banjir rencana terdapat beberapa metode, salah satunya adalah dengan menggunakan metode rasional telah banyak digunakan untuk perencanaan banjir diwilayah perkotaan. Metode ini juga menunjukkan parameter-parameter yang dipakai metode perkiraan banjir lainnya, yaitu : koefisien *runoff*, intensitas curah hujan, dan luas DPS. Metode rasional ini digunakan untuk daerah perkotaan dengan luas DPS ± 81 ha (Kodoatie & Sugiyanto, 2012).

Rumus matematis :

$$Q = 0,218 CIA \quad (2.26)$$

dimana :

C = koefisien *runoff*

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km²)

Q = debit maksimum (m³/detik)

Nilai intensitas curah hujan (I) didapat melalui rumus sebagai berikut :

$$I = \left[\frac{R_{24}}{24} \right] \left[\frac{24}{T_c} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.27)$$

dimana :

R = hujan maksimum (mm)

T_c = waktu konsentrasi (jam)

Untuk memperoleh nilai t_c dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$t_c = t_0 + t_f \quad (2.28)$$

Keterangan

t_0 : waktu yang dibutuhkan untuk mengalir di permukaan untuk mencapai inlet (*overland flow time, inlet time*)

t_f : waktu yang diperlukan untuk mengalir di sepanjang saluran

Untuk menentukan harga t_0 , diasumsikan permukaan dengan penutup homogen sehingga untuk perhitungan dapat menggunakan perumusan Kerby.

$$t_0 = 1,44 \left(n_d \times \frac{l}{\sqrt{s}} \right)^{0,467} \quad (2.29)$$

Keterangan

l : jarak dari titik terjauh ke inlet (m)

n_d : koefisien setara koefisien kekasaran

s : kemiringan saluran

Pada saat $Q_{Hidrolika} < Q_{Hidrologi}$ maka dapat dikatakan saluran air atau sungai tidak dapat menampung air hujan dengan baik dan menyebabkan air meluap dan terjadi banjir. Agar mendapat desain yang ekonomis maka yang harus didapatkan adalah $Q_{Hidrolika} \approx Q_{Hidrologi}$. Berikut merupakan perumusan Qhidrolika.

$$Q_{hidrolika} = V_{(m/detik)} \times A_{(m^2)} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A \quad (2.30)$$

Dimana A merupakan luas penampang sungai yang diperoleh dari

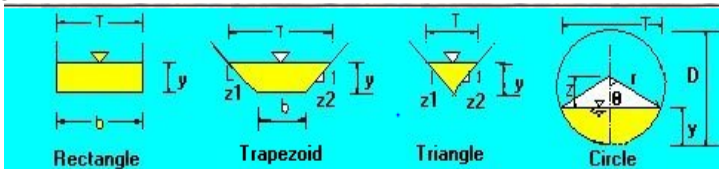
$$A_{(m^2)} = b_{(m)} \times h_{(m)} \quad (2.31)$$

Keterangan

$b_{(m)}$: lebar sungai

$h_{(m)}$: tinggi sungai

$b_{(m)}$ diperoleh berdasarkan nilai rata-rata lebar sungai minimum & maksimum yang diperoleh dari data Dinas PU Bina Marga & Pematusan Kota Surabaya. Sedangkan untuk $h_{(m)}$ dari tabel *u-ditch* yang bergantung kepada nilai $b_{(m)}$ -nya. Untuk memudahkan dalam analisis, maka dapat diketahui $h_{(m)}$ suatu saluran adalah sama dengan $b_{(m)}$ jika $b_{(m)}$ lebih besar sama dengan 12. Jika $b_{(m)} < 12$ maka $h_{(m)} = b_{(m)} \times \frac{10}{6}$. Hal ini dikarenakan, keseluruhan saluran di Kota Surabaya menggunakan *u-ditch* atau saluran *rectangle*. Berikut beberapa bentuk saluran yang sering digunakan.



Gambar 2.4 Bentuk Saluran

Sedangkan untuk kecepatan saluran dapan menggunakan Rumus Manning sebagai berikut.

$$V_{(m/detik)} = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.32)$$

Keterangan

- n : koefisien kekerasan saluran
- R : jari-jari hidrolis
- S : kemiringan salur

Untuk jari-jari hidrolis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$R_{(m)} = \frac{A_{(m^2)}}{P_{(m)}} \quad (2.33)$$

Dimana $P_{(m)}$ atau penampang yang terkena air dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{(m)} = b_{(m)} + 2.h_{(m)} \quad (2.34)$$

Dalam menentukan kecepatan aliran di saluran tergantung material saluran yang digunakan. Semakin halus permukaan saluran maka kecepatan semakin besar. Saluran juga harus dapat menahan kecepatan agar tidak tergerus aliran. Kekasaran juga merupakan hambatan pada aliran, berikut tabel koefisien kekasaran saluran yang sering digunakan dan dituliskan dengan n *manning*.

Tabel 2.4 Tabel Kekasaran Manning untuk Saluran

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai & bersih	0,016-0,033
	Berkelok, landai & berumput	0,023-0,040
	Tidak terawat & kotor	0,050-0,140
	Tanah berbatu, kasar & tidak teratur	0,035-0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023-0,035
	Pasangan batu belah	0,017-0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014-0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018-0,030

Asumsi-asumsi metode rasional diantaranya adalah, sebagai berikut :

- Curah hujan mempunyai intensitas yang merata di seluruh daerah aliran untuk durasi tertentu
- Debit yang terjadi (debit puncak) bukan hasil dari intensitas hujan yang lebih tinggi dengan durasi yang lebih pendek dimana hal ini berlangsung hanya pada sebagian DPS yang berkontribusi debit puncak tersebut
- Lama curah hujan sama dengan waktu konsentrasi dari daerah aliran, dengan kata lain waktu konsentrasi merupakan waktu terjadinya *runoff* dan mengalir dari jarak antara titik terjauh dari DPS ke titik *inflow* yang ditinjau

- d. Puncak banjir dan intensitas curah hujan mempunyai tahun berulang yang sama.

Koefisien *runoff* (C) yang sering digunakan dapat diketahui melalui tabel berikut.

Tabel 2.5 Tabel Koefisien *Runoff* (C)

No	Tata Guna Lahan	Koefisien Pengaliran
Daerah Perdagangan		
1	Perkotaan (<i>downtown</i>)	0,70-0,90
	Pinggiran	0,50-0,70
Pemukiman		
2	Perumahan satu keluarga	0,30-0,50
	Perumahan berkelompok, terpisah-pisah	0,40-0,60
	Perumahan berkelompok, bersambungan	0,60-0,75
	Suburban	0,25-0,40
	Daerah apartemen industri	0,50-0,70
	Daerah industri ringan	0,50-0,80
	Daerah industri berat	0,60-0,90
3	Taman, perkuburan	0,10-0,25
4	Tempat Bermain	0,20-0,35
5	Daerah stasiun kereta api	0,20-0,35
6	Daerah belum diperbaiki	0,10-0,30
Jalan		
7	Jalan hamparan	0,75-0,85
	Atap	0,75-0,95

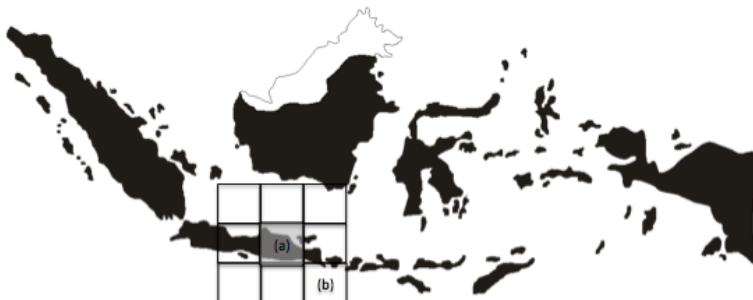
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam prediksi curah hujan adalah data sekunder yang diperoleh dari *output General Circulation Model (GCM)* berupa variabel *output* model CSIRO Mk3.6 dengan *scenario* rcp45 yang dapat diakses di <https://cera-www.dkrz.de/> meliputi *precipitable water (PR)*, temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) dengan grid 3x3 dimana merupakan model dari pembangkit cuaca yang mereplikasi ukuran statistik peubah iklim lokal dengan pengondisian peubah penjelas atmosfer, kondisi cuaca, atau sifat curah hujan.

Selain itu, data curah hujan dan saluran yang digunakan berasal dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Pematuan Kota Surabaya yang bersumber dari dari Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Provinsi Jawa Timur UPT PSDA WS Brantas mengenai curah hujan harian yang diukur di enam stasiun pengamatan yakni Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek, dan Gubeng pada tahun 2009 hingga tahun 2018.

Gambar 3.1 merupakan lokasi pengamatan pada penelitian ini dengan koordinat latitude dan longitude : -7.250445, 112.768845.



Gambar 3.1 Lokasi Pengamatan Penelitian (a) Grid 1x1 (b) Grid 3x3

Berikut merupakan ilustrasi mengenai pengambilan data *output* *General Circulation Model* (GCM) pada grid 3x3 :

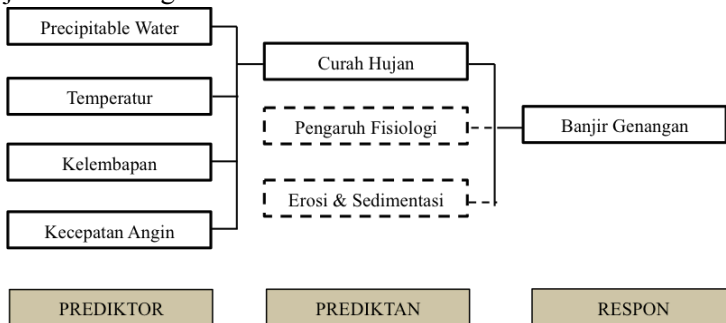
Tabel 3.1 Ilustrasi Grid 1x1 dan Grid 3x3

		Longitude		
		110.625	112.5	114.375
Latitude	-8.3936			
	-6.5284			
	-4.6631			

Pada ilustrasi grid 3x3 menjelaskan bahwa data diambil berdasarkan letak wilayah yang memasuki wilayah grid 3x3 yang terletak disekitar longitude dan latitude kota Surabaya.

3.2 Variabel Penelitian

Rincian variabel yang akan dianalisis pada penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 3.2 Rancangan Variabel Penelitian

Pada Gambar 3.2 diketahui bahwa banjir disebabkan oleh banyak faktor seperti curah hujan, pengaruh fisiologi, erosi dan sedimentasi. Namun karena keterbatasan waktu dan ketersediaan data dilapangan saat dilakukan penelitian maka variabel yang akan diteliti pada penelitian ini adalah curah hujan yang diprediksi melalui data *output* model CSIRO Mk3.6 dengan skenario rcp45 dengan penjelasan pada Tabel 3.1

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan	Keterangan
Y	Curah Hujan	mm	Data curah hujan Dinas PU Pengairan Provinsi Jawa Timur
X ₁	<i>Precipitable Water</i> (PR)	Kg/m ²	
X ₂	Temperatur (TAS)	Celcius	Data Output GCM
X ₃	Kelembapan (HUSS)	Ltr	CSIRO Mk3.6 rcp45
X ₄	Kecepatan Angin	m/s	

Berikut merupakan definisi operasional dari masing-masing variabel pengamatan :

1. Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan sebelum mengalami aliran permukaan, evaporasi, dan peresapan didalam tanah. Curah hujan diukur menggunakan alat yang dinamakan ombrometer. Berdasarkan data dari UPT PSDA WS Brantas, alat pengukur curah hujan diletakkan di enam wilayah yang ada di Kota Surabaya.

2. *Precipitable Water*

Precipitable water merupakan kedalaman air di suatu atmosfer dimana kedalaman air yang diendapkan akan menjadi hujan. *Precipitable water* diukur dalam millimeter.

3. Kecepatan Angin Rata-Rata

Kecepatan angin merupakan variabel yang disebabkan oleh pergerakan angin dari tekanan tinggi ke tekanan rendah yang disebabkan oleh perubahan suhu.

4. Kelembaban Spesifik

Kelembaban spesifik merupakan jumlah kandungan air didalam udara. Kelembaban udara adalah tingkat kebasahan udara karena dalam udara selalu terkandung dalam bentuk uap air.

3.3 Struktur Data

Pada penelitian ini akan dilakukan pada enam wilayah sesuai dengan pos pengamatan curah hujan milik Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Provinsi Jawa Timur UPT PSDA WS Brantas yang ada di kota Surabaya yakni pada wilayah Gunungsari, Wonokromo, Wonorejo, Keputih, Kedungcowek, dan Gubeng dengan struktur data pada masing-masing pos pengamatan sesuai dengan Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Struktur Data Curah Hujan Pada Masing-Masing Stasiun dan Variabel Klimatologi pada *Output* GCM dengan Grid 1x1

Tanggal	t	Data Output GCM				Curah Hujan
		X _{1,5}	X _{2,5}	X _{3,5}	X _{4,5}	
<i>Data Training</i>						
1/1/09	1	X _{11,5}	X _{21,5}	X _{31,5}	X _{4,5}	Y ₁
1/2/09	2	X _{12,5}	X _{22,5}	X _{32,5}	X _{42,5}	Y ₂
1/3/09	3	X _{13,5}	X _{22,5}	X _{33,5}	X _{43,5}	Y ₃
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t	t	X _{1t,5}	X _{2t,5}	X _{3t,5}	X _{4t,5}	Y _t
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11/31/18	3621	X _{1,3621,5}	X _{2,3621,5}	X _{3,3621,5}	X _{4,3621,5}	Y ₃₆₂₁
<i>Data Testing</i>						
12/1/18	3622	X _{1,3622,5}	X _{3,3622,5}	X _{4,3622,5}	X _{4,3622,5}	Y ₃₆₂₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t	t	X _{1t,5}	X _{2t,5}	X _{3t,5}	X _{4t,5}	Y _t
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/31/18	3652	X _{1,3652,5}	X _{2,3652,5}	X _{3,3652,5}	X _{4,3652,5}	Y ₃₆₅₂

Tabel 3.4 Struktur Data Variabel Klimatologi *Output* GCM Grid 3x3

t	Precipitation			Temperatur			Kelembaban			Kecepatan Angin			Y
	X ₁	...	X ₉	X ₁	...	X ₉	X ₁	...	X ₉	X ₁	...	X ₉	
<i>Data Training</i>													
1	X _{11,1}	...	X _{19,1}	X _{21,1}	...	X _{29,1}	X _{31,1}	...	X _{39,1}	X _{41,1}	...	X _{49,1}	Y ₁
2	X _{11,2}	...	X _{19,2}	X _{21,2}	...	X _{29,2}	X _{31,2}	...	X _{39,2}	X _{41,2}	...	X _{49,2}	Y ₂
3	X _{11,3}	...	X _{19,3}	X _{21,3}	...	X _{29,3}	X _{31,3}	...	X _{39,3}	X _{41,3}	...	X _{49,3}	Y ₃
⋮			
t	X _{11,t}	...	X _{19,t}	X _{21,t}	...	X _{29,t}	X _{31,t}	...	X _{39,t}	X _{41,t}	...	X _{49,t}	Y _t
⋮			
3621	X _{11,1}	...	X _{19,3621}	X _{21,1}	...	X _{29,3621}	X _{31,1}	...	X _{39,3621}	X _{41,1}	...	X _{49,3621}	Y ₃₆₂₁
<i>Data Testing</i>													
3622	X _{11,3622}	...	X _{19,3622}	X _{21,3622}	...	X _{29,3622}	X _{31,3622}	...	X _{39,3622}	X _{41,3622}	...	X _{49,3622}	Y ₃₆₂₂
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t	X _{11,t}	...	X _{19,t}	X _{21,t}	...	X _{29,t}	X _{31,t}	...	X _{39,t}	X _{41,t}	...	X _{49,t}	Y _t
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3652	X _{11,3652}	...	X _{19,3652}	X _{21,3652}	...	X _{29,4652}	X _{31,3652}	...	X _{39,3652}	X _{41,3652}	...	X _{49,3652}	Y ₃₆₅₂

3.4 Langkah Analisis

Langkah analisis pada penelitian yang akan dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut.

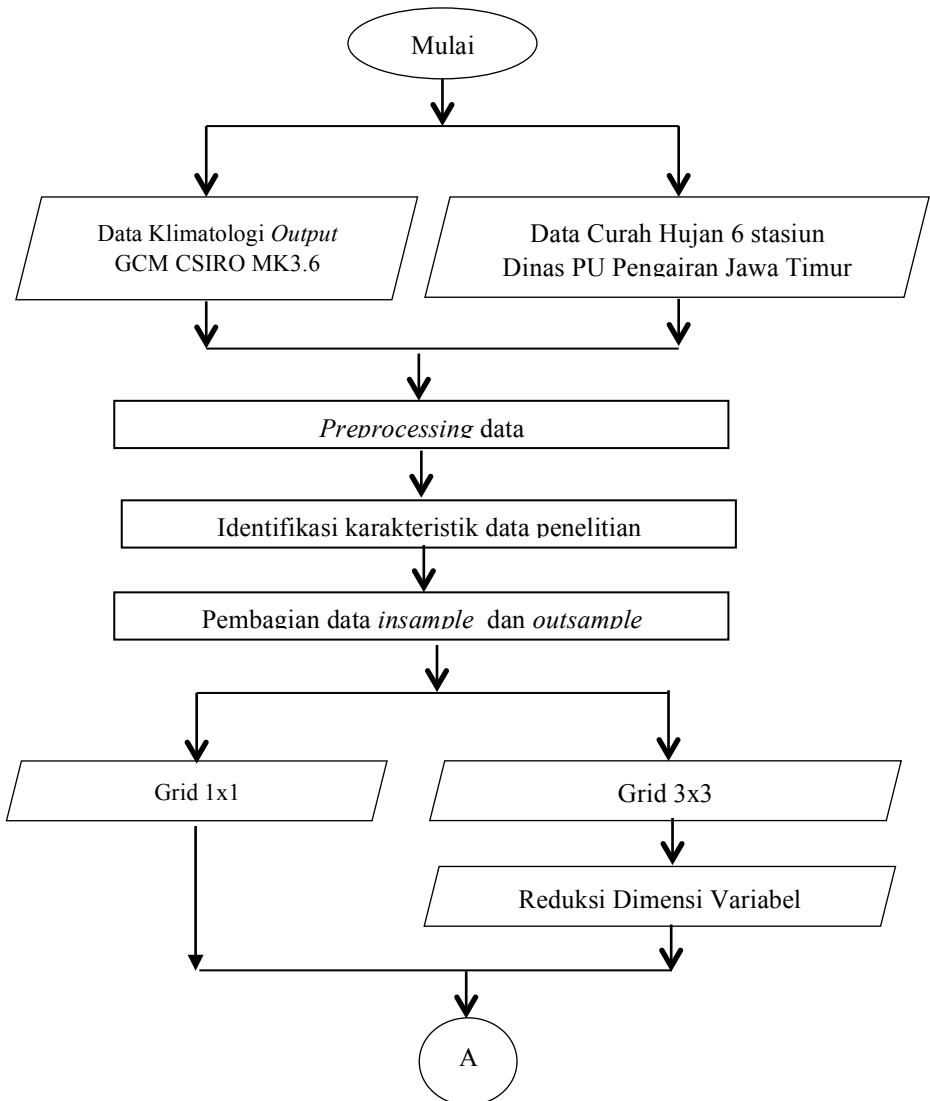
1. Mengumpulkan data.
2. Melakukan *preprocessing* data curah hujan dari Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Provinsi Jawa Timur UPT PSDA WS Brantas yang ada di kota Surabaya.

Preprocessing data meliputi identifikasi adanya *missing value*. Dari 7 stasiun pengamatan curah hujan yang ada, hanya dipilih 6 stasiun pengamatan curah hujan dikarenakan tidak memungkinkan menggunakan stasiun pengamatan Simo akibat terlalu banyak jumlah *missing value* yakni pada tanggal 1 Januari 2013 hingga 31 Juli 2014. Pada stasiun pengamatan Gunungsari, dilakukan imputasi *mean* untuk mengatasi *missing value* pada bulan November 2015.

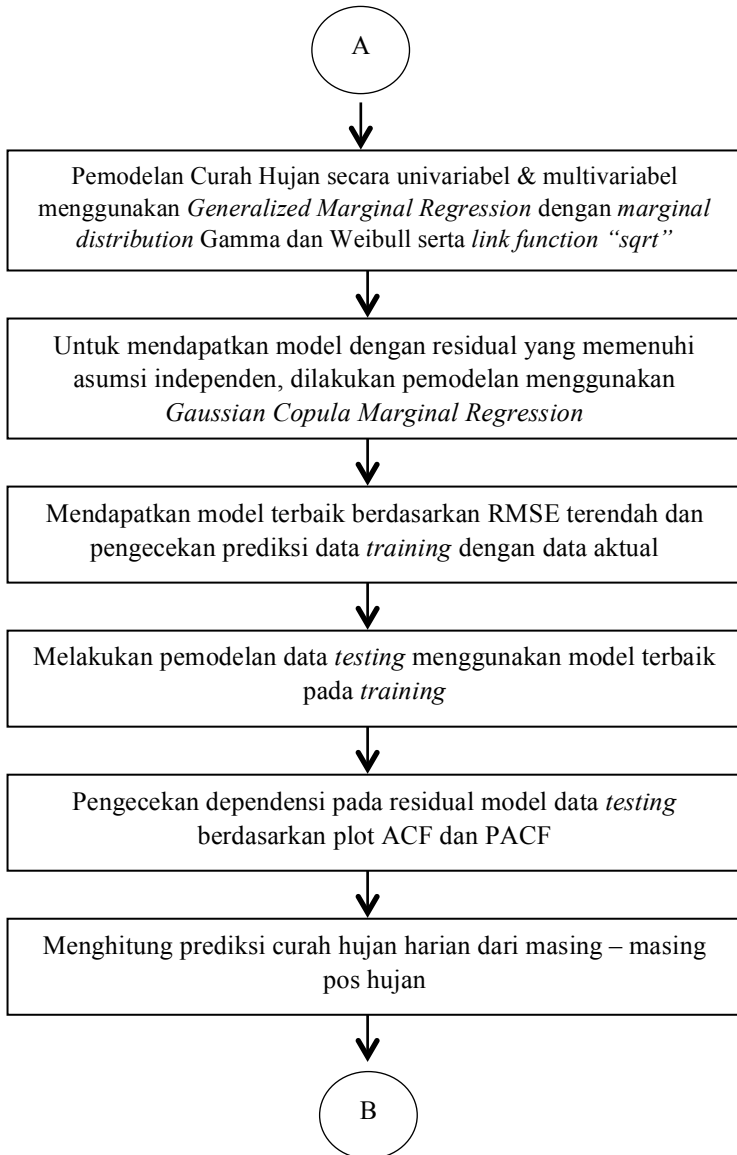
3. Mengidentifikasi karakteristik data curah hujan dari Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Provinsi Jawa Timur UPT PSDA WS Brantas dan *output General Circulation Model* (GCM) dengan menggunakan *boxplot*, *time series plot*, dan *scatter plot*.
4. Membagi data *output General Circulation Model* (GCM) menjadi data *training (insample)* dan *testing (outsample)*.
Data *training* : 1 Januari 2009 – 30 November 2018
Data *testing* : 1 Desember 2018 – 31 Desember 2018
5. Melakukan reduksi dimensi pada masing-masing variabel *output General Circulation Model* (GCM) grid 3x3 menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mendapatkan *principal component* yang baru.
6. Melakukan pemodelan curah hujan pada masing – masing pos pada variabel *output General Circulation Model*

(GCM) grid 1x1 dan grid 3x3 yang telah dilakukan reduksi dimensi dengan langkah sebagai berikut.

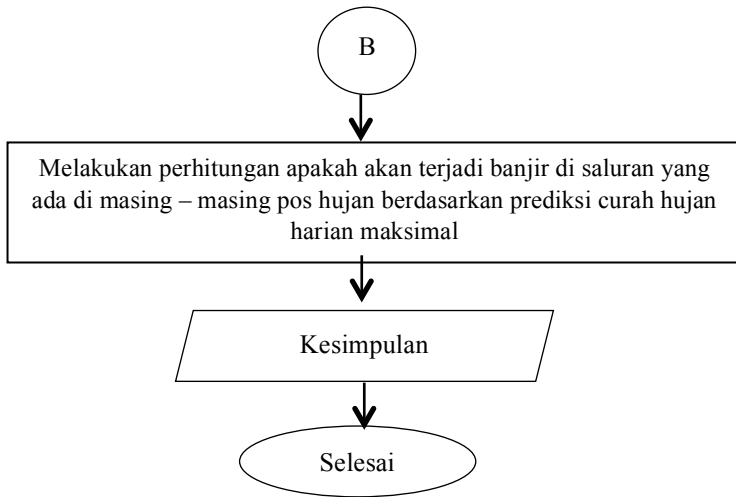
- Melakukan pemodelan secara univariabel maupun multivariabel pada data *training* antara curah hujan harian dari masing – masing pos terhadap variabel klimatologi menggunakan *Generalized Marginal Regression* dengan menggunakan *link function* sesuai dengan karakteristik data dari curah hujan (variabel respon) yang bernilai positif.
 - Pemodelan yang telah dilakukan akan menghasilkan eror yang dependen terhadap waktu. Sehingga dengan melakukan pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression* diharapkan dapat memenuhi asumsi independen dari residual yang dihasilkan model.
 - Melakukan pemilihan model terbaik berdasarkan nilai RMSE paling rendah serta melakukan pengecekan terhadap hasil prediksi data *training* dengan data aktual menggunakan plot.
7. Melakukan pemodelan pada data *testing* untuk memperoleh satu model terbaik berdasarkan model terbaik pada data *training*.
 8. Melakukan pengecekan dependensi dari residual yang dihasilkan model pada data *testing* menggunakan plot ACF dan PACF dari residual model tersebut.
 9. Melakukan prediksi curah hujan harian di masing – masing pos hujan.
 10. Melakukan perhitungan apakah terjadi banjir atau tidak disaluran yang ada di masing – masing pos hujan berdasarkan prediksi curah hujan harian maksimal.
 11. Menyusun kesimpulan dan saran.
- Langkah-langkah analisis secara umum digambarkan pada diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah Analisis



Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah Analisis (Lanjutan)



Gambar 3.3 Diagram Alir Langkah Analisis (Lanjutan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan prediksi curah hujan di enam stasiun hujan yang ada di kota Surabaya berdasarkan variabel klimatologi pada data *output* GCM. Prediksi curah hujan harian pada masing-masing stasiun menggunakan metode *Gaussian Copula Marginal Regression*. Prediksi dilakukan menggunakan marginal distribusi Gamma dengan *link function* identity dan sqrt pada data *output General Circulation Model* (GCM) baik dengan data grid 1x1 maupun grid 3x3.

4.1 *Pre – Processing* Data Curah Hujan Balai PSDA WS Brantas

Langkah awal untuk melakukan analisis mengenai prediksi curah hujan adalah dengan melakukan penyiapan data. Dalam melakukan perekaman data curah hujan di masing – masing pos hujan, terjadi kerusakan alat sehingga terdapat data *missing*. Oleh karena itu diperlukan *pre – processing* data sebelum dilakukan analisis dengan identifikasi *missing value* dan imputasi data. Berikut merupakan hasil identifikasi *missing value* dari data curah hujan di enam pos pengamatan di kota Surabaya.

Tabel 4.1 Identifikasi *Missing Value* data Curah Hujan

Pos Hujan	n	<i>Missing Value</i>	
		Jumlah	Persentase
Gubeng	3652	0	0%
Gunungsari	3652	30	0,821%
Kedung Cowek	3652	0	0%
Keputih	3652	0	0%
Simo	3652	577	15,8%
Wonokromo	3652	0	0%
Wonorejo	3652	0	0%

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa dari enam pos hujan di kota Surabaya, terdapat dua pos yang memiliki *missing value*, yakni pos hujan Gunungsari dan pos hujan Simo. Untuk pos hujan di Gunungsari terdapat *missing value* sebanyak 30 data sehingga untuk mengatasi data *missing* pada pos hujan di Gunungsari akan proses imputasi *mean* dengan mengganti data *missing value* menggunakan rata – rata curah hujan pada bulan yang sama dengan bulan yang terdapat data *missing* tersebut. Sedangkan untuk pos hujan Simo, dikarenakan jumlah *missing value* dalam jumlah besar, diputuskan untuk tidak menggunakan pos hujan Simo.

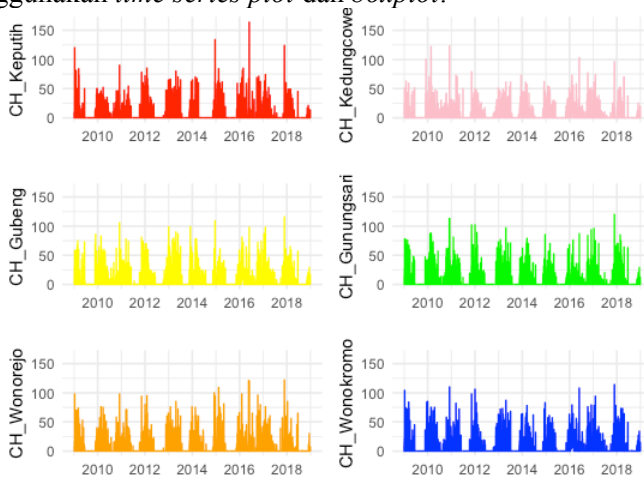
4.2 Karakteristik Data Curah Hujan dan *Output General Circulation Model (GCM) CSIRO Mk3.6*

Setelah dilakukan penanganan *missing value* pada data curah hujan, sebelum melakukan pemodelan pada masing – masing pos hujan maka selanjutnya akan dilakukan identifikasi karakteristik pada data curah hujan di masing – masing pos hujan untuk mengetahui bagaimana kondisi curah hujan harian selama sepuluh tahun terakhir di kota Surabaya. Berikut merupakan hasil identifikasi karakteristik curah hujan harian dari enam pos hujan di kota Surabaya dari 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2018.

Tabel 4.2 Karakteristik Data Curah Hujan Harian

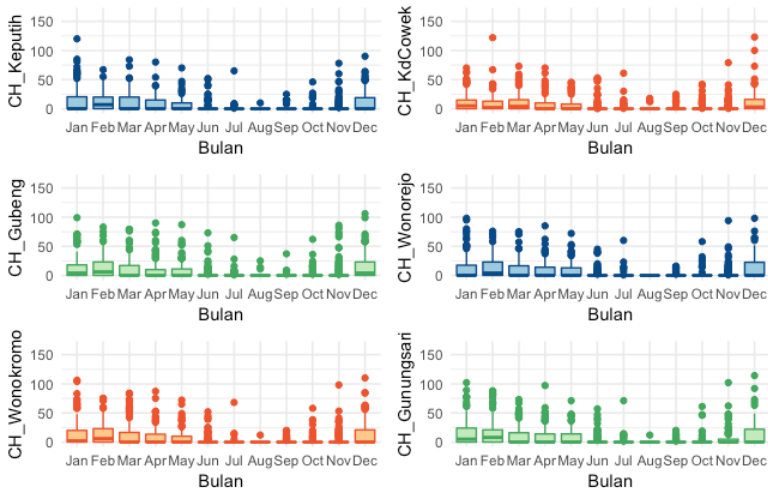
Pos	n	Mean	Minimum	Maksimum
Gubeng	3652	6,487	0	116
Gunungsari	3652	6,361	0	120
Kedung Cowek	3652	5,132	0	123
Keputih	3652	5,513	0	164
Wonokromo	3652	6,419	0	114
Wonorejo	3652	5,860	0	122

Rata – rata curah hujan harian tertinggi di kota Surabaya sejak tahun 2009 hingga 2018 diketahui paling tinggi berada pada pos hujan Gubeng. Sedangkan untuk curah hujan minimum dimana menunjukkan bahwa pada daerah tersebut tidak mengalami hujan dimiliki oleh seluruh pos hujan dan untuk curah hujan maksimum berada pada pos hujan Keputih sebesar 164 mm. Berikut merupakan identifikasi karakteristik curah hujan harian pada enam pos hujan di kota Surabaya dengan menggunakan *time series plot* dan *boxplot*.



Gambar 4.1 Time Series Plot Data Curah Hujan Harian

Data curah hujan harian milik pos hujan PSDA WS Brantas jika dilihat menggunakan *time series plot* menunjukkan bahwa antar pos hujan satu dengan lainnya memiliki pola yang sama yakni cenderung fluktuatif naik turun disepanjang hari. Jika dilihat melalui Gambar 4.1 diketahui bahwa pada bulan – bulan tertentu terdapat pola *seasonal* setiap tahunnya yakni curah hujan di masing – masing stasiun cenderung tinggi pada bulan November sampai dengan bulan April. Berlaku pula sebaliknya, curah hujan harian cenderung rendah bahkan mengandung nilai 0 mm per harinya pada curah hujan di bulan Mei sampai dengan Oktober.



Gambar 4.2 *Boxplot* Data Curah Hujan Harian

Boxplot curah hujan harian dari tanggal 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2018 pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dari bulan Juni hingga Oktober, curah hujan di enam pos pengamatan rendah terutama di Keputih yang cenderung tidak mengalami hujan. Hal ini menunjukkan selama 10 tahun terakhir, musim kemarau berkisar antara bulan Juni hingga bulan Oktober dan musim penghujan berkisar antara bulan November hingga bulan April. Nilai maksimum pada masing – masing curah hujan paling tinggi berada di bulan Februari dimana menunjukkan bahwa bulan Februari merupakan puncak dari curah hujan di musim penghujan untuk masing – masing pos pengamatan curah hujan.

4.3 *Reduksi Variabel Output General Circulation Model (GCM) Grid 3x3 Menggunakan Principle Component Analysis (PCA)*

Metode yang digunakan untuk mereduksi variabel adalah *Principal Component Analysis (PCA)* di seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* pada grid 3x3. *Principal Component Analysis (PCA)* mereduksi dimensi data sehingga

menghasilkan variabel independen baru yang disebut *Principal Component*. Reduksi dimensi dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dilakukan untuk semua variabel *output General Circulation Model* (GCM). Pada variabel *output General Circulation Model* (GCM) setiap grid merupakan variabel prediktor, sehingga untuk domain 3x3 terdapat 9 variabel prediktor untuk masing – masing variabel *output General Circulation Model* (GCM). Tabel 4.4 menyajikan jumlah komponen utama (PC) dan keragaman yang dapat dijelaskan oleh PC yang terbentuk untuk setiap variabel GCM pada domain 3x3.

Tabel 4.3 *Output Principle Component Analysis* (PCA)

PR		TAS		HUSS		SFCWIND	
PC ke-	Prop. Kumulatif *)	PC ke-	Prop. Kumulatif *)	PC ke-	Prop. Kumulatif *)	PC ke-	Prop. Kumulatif *)
1	0,647	1	0,781	1	0,659	1	0,796
2	0,833	2	0,935	2	0,850	2	0,898
3	0,899	3	0,970	3	0,951	3	0,947
4	0,949	4	0,988	4	0,976	4	0,980
5	0,974	5	0,994	5	0,989	5	0,989
6	0,985	6	0,997	6	0,996	6	0,994
7	0,993	7	0,999	7	0,998	7	0,998
8	0,997	8	0,999	8	0,999	8	0,999
9	1	9	1	9	1	9	1

Proporsi kumulatif

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas dapat diketahui bahwa berdasarkan *treshold* 80% untuk pemilihan *Principle Component* (PC) yang akan dijadikan variabel prediktor baru, didapatkan bahwa untuk seluruh variabel prediktor, jumlah *Principle Component* (PC) yang terbentuk untuk masing – masing variabel prediktor adalah 2 *Principle Component* (PC).

4.4 Pemodelan Curah Hujan Pos Hujan PSDA WS Brantas

Dalam menentukan model terbaik pada masing – masing pos hujan maka dilakukan pemodelan antara curah hujan dengan menggunakan data *output General Circulation Model* (GCM) maupun dengan menggunakan lag dari curah hujan masing – masing pos. Pemodelan dilakukan menggunakan data *output General Circulation Model* (GCM) pada grid 1x1 dan grid 3x3 yang terlebih dahulu telah dilakukan reduksi dimensi menggunakan *Principle Component Analysis* (PCA). Selain itu juga dilakukan pemodelan dengan tidak menggunakan data yang bernilai 0 pada curah hujan di masing – masing pos hujan agar dapat membentuk model terbaik sesuai dengan nilai RMSE yang paling rendah.

Dalam melakukan pemodelan menggunakan *Gaussian Copula Marginal Regression*, menggunakan dua *marginal distribution* yang berbeda sebagai perbandingan, yakni Gamma dan Weibull sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya. Masing – masing *marginal distribution* menggunakan *link function* “sqrt”. Pada saat $\eta = g(\mu)$ maka $\mu = g^{-1}(\eta)$, untuk $g(\eta) = \sqrt{\mu}$ maka $\mu = \eta^2$.

Berikut merupakan model yang terbentuk saat melakukan pemodelan secara univariabel antara curah hujan harian masing – masing pos hujan dengan *output General Circulation Model* (GCM).

$$\hat{Y}_i = \left(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \right)^2, \text{ dimana } i=1,2,3,4$$

Sedangkan untuk pemodelan multivariabel antara curah hujan harian masing – masing pos hujan dengan seluruh antar *output General Circulation Model* (GCM) model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = \left(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 \right)^2$$

Jika melakukan pemodelan multivariabel pada grid 3x3 yang telah dilakukan reduksi variabel maka model yang terbentuk pada masing – masing pos hujan adalah.

$$\hat{Y} = (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1PCA1} + \hat{\beta}_1 X_{1PCA2} + \hat{\beta}_2 X_{2PCA1} + \hat{\beta}_2 X_{2PCA2} + \hat{\beta}_3 X_{3PCA1} + \hat{\beta}_3 X_{3PCA2} + \hat{\beta}_4 X_{4PCA1} + \hat{\beta}_4 X_{4PCA2})^2$$

4.4.1 Pemodelan Curah Hujan Keputih

Pengujian dilakukan secara univariabel antara curah hujan Keputih dengan masing – masing variabel *output General Circulation Model (GCM)* dengan menggunakan *Gaussian Copula Marginal Regression* menggunakan *marginal distribution* Gamma dan Weibull. Berikut merupakan hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan masing – masing variabel *output General Circulation Model (GCM)*

Tabel 4.4 Pemodelan Curah Hujan Keputih dengan PR Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,858	0,061	0,000	-0,072	0,001	0,000
β_1	4201	0,000	0,000	4201	0,000	0,000
Shape	0,088	0,002	0,000	0,153	0,002	0,000

Tabel 4.5 Pemodelan Curah Hujan Keputih dengan TAS Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	69,810	0000	0,000	75,610	0,001	0,000
β_2	-0,223	0,000	0,000	-0,249	0,000	0,000
Shape	0,088	0,002	0,000	0,151	0,002	0,000

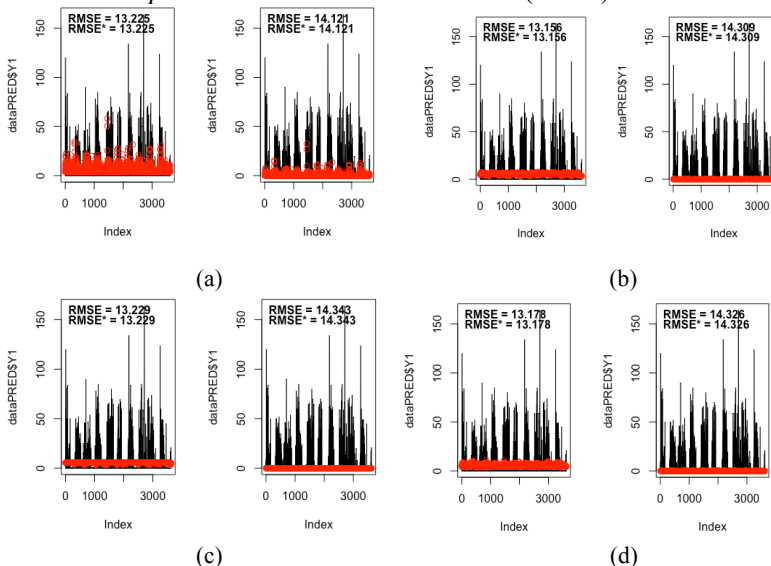
Tabel 4.6 Pemodelan Curah Hujan Keputih dengan HUSS Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	2,746	0,000	0,000	0,315	0,001	0,000
β_3	-17,240	0,000	0,001	-7,646	0,000	0,000
Shape	0,087	0,002	0,000	0,148	0,002	0,000

Tabel 4.7 Pemodelan Curah Hujan Keputih dengan SFCWIND Grid 1x1

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,800	0,154	0,000	0,132	0,001	0,000
β_4	0,119	0,033	0,000	-0,071	0,001	0,000
Shape	0,085	0,001	0,000	0,147	0,006	0,000

Pemodelan univariabel antara curah hujan Keputih dengan *precipitable water* (PR), temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) menghasilkan *p-value* kurang dari $\alpha = 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa model yang dihasilkan pada variabel *precipitable water* (PR), temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) berpengaruh signifikan. Berikut merupakan RMSE dari curah hujan dengan nilai kuadrat error dari masing – masing variabel *output General Circulation Model* (GCM).



Gambar 4.3 Plot Curah Hujan Keputih dengan Masing – Masing Variabel Grid 1x1 (a) PR (b) TAS (c) HUSS (d) SFCWIND

Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui bahwa dengan memodelkan curah hujan Keputih dengan masing – masing variabel *precipitable water* (PR), temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) tidak menaikkan hasil prediksi dan masih menghasilkan nilai RMSE yang masih tinggi. Untuk mengurangi nilai eror yang tinggi, maka akan ditambahkan ditambahkan variabel dummy dengan kode 0 untuk bulan Mei hingga Oktober dan kode 1 untuk bulan November sampai dengan April. Berikut merupakan hasil pemodelan dengan menggunakan penambahan variabel dummy.

Tabel 4.8 Pemodelan CH Keputih dengan PR dan Dummy Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,227	0,049	0,000	-0,016	0,001	0,000
β_1	-17,240	0,000	0,000	-112,500	0,000	0,000
Dummy	-113,300	0,132	0,000	0,533	0,038	0,000
Shape	0,087	0,002	0,000	0,148	0,002	0,000

Tabel 4.9 Pemodelan CH Keputih dengan TAS dan Dummy Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-7,732	0,000	0,000	-7,043	0,001	0,000
β_2	0,030	0,000	0,000	-0,023	0,000	0,000
Dummy	1,841	0,130	0,000	1,720	0,000	0,000
Shape	0,092	0,002	0,000	0,136	0,000	0,000

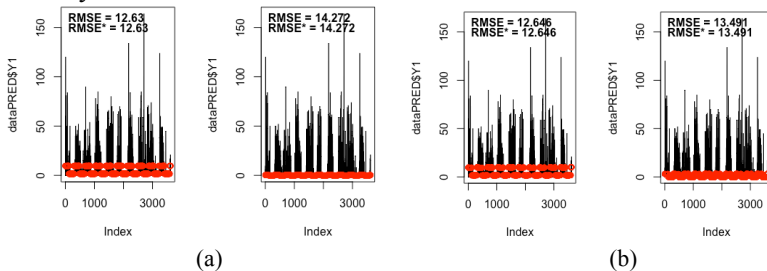
Tabel 4.10 Pemodelan CH Keputih dengan HUSS dan Dummy Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,232	0,000	0,000	0,014	0,001	16×10^{-2}
β_3	1,720	0,000	$8,26 \times 10^{-2}$	0,193	0,000	$4,51 \times 10^{-2}$
Dummy	1,828	0,130	0,000	0,475	0,000	0,000
Shape	0,092	0,002	0,000	0,165	0,000	0,000

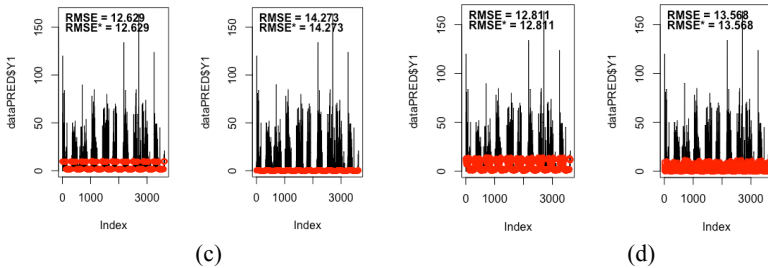
Tabel 4.11 Pemodelan CH Keputih dengan SFCWIND dan Dummy Grid 1x1

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,791	0,143	0,000	1,943	0,006	0,000
β_4	-0,137	0,031	0,000	-0,396	0,001	0,000
Dummy	2,093	0,145	0,000	1,802	0,011	0,000
Shape	0,091	0,002	0,000	0,150	0,002	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan *output General Circulation Model (GCM)* variabel *precipitable water (PR)*, temperatur (TAS), kelembapan spesifik (HUSS), dan kecepatan angin (SFCWIND) dengan variabel dummy menunjukkan bahwa hanya variabel kelembapan (HUSS) yang memiliki *p-value* lebih dari $\alpha = 0,05$. Sehingga dapat diketahui bahwa pemodelan antara curah hujan Keputih dengan variabel klimatologi pada grid 1 ditambahkan dummy berpengaruh signifikan terhadap model kecuali untuk variabel kelembapan. Berikut merupakan hasil estimasi dari curah hujan Keputih dengan nilai kuadrat error dari masing – masing variabel *output General Circulation Model (GCM)* yang telah ditambahkan dummy.



Gambar 4.4 Plot Curah Hujan Keputih dengan Masing – Masing Variabel Grid 1x1 (a) PR (b) TAS (c) HUSS (d) SFCWIND dan Dummy



Gambar 4.4 Plot Curah Hujan Keputih dengan Masing – Masing Variabel Grid 1x1 (a) PR (b) TAS (c) HUSS (d) SFCWIND dan Dummy (lanjutan)

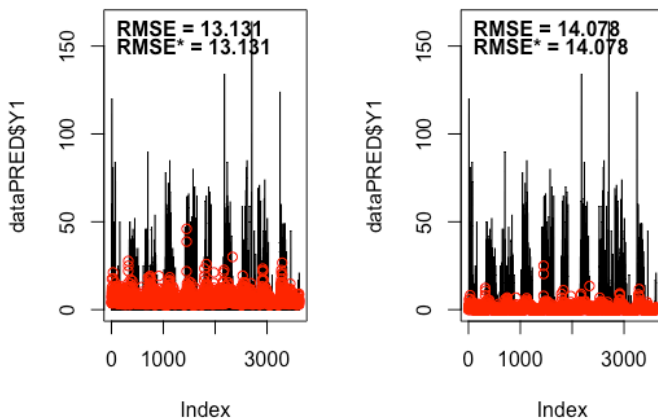
Gambar 4.6 menunjukkan dengan memodelkan masing – masing variabel *output General Circulation Model (GCM)* ditambahkan dengan variabel dummy dapat menurunkan RMSE. Namun, dengan menambahkan variabel dummy pada pemodelan tersebut belum berhasil menaikkan hasil prediksi sehingga akan dilakukan pemodelan secara multivariabel antara curah hujan Keputih dengan seluruh variabel variabel *output General Circulation Model (GCM)* yang berada pada grid 1x1.

Selanjutnya dilakukan pengujian secara multivariabel antara curah hujan dengan seluruh variabel prediktor pada data klimatologi untuk mengetahui apakah hasil model berpengaruh signifikan atau tidak serta untuk mendapatkan model terbaik dengan menggunakan *Gaussian Copula Marginal Regression*.

Tabel 4.12 Pemodelan Curah Hujan Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	49,640	0,000	0,000	54,930	0,000	0,000
β_1	3766	0,000	0,000	3766	0,000	0,000
β_2	-0,158	0,001	0,000	-0,182	0,000	0,000
β_3	12,290	0,000	0,000	12,440	0,000	0,000
β_4	-0,047	0,032	$1,43 \times 10^{-2}$	-0,034	0,000	0,000
Shape	0,088	0,002	0,000	0,151	0,000	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan *output General Circulation Model (GCM)* pada grid 1x1 menunjukkan bahwa dengan menggunakan *marginal distribution Gamma*, terdapat model tidak signifikan dikarenakan terdapat *p-value* lebih besar dari $\alpha = 0,05$ yakni pada variabel kecepatan angin (SFCWIND). Berikut merupakan hasil RMSE antara curah hujan dengan variabel *output General Circulation Model (GCM)* pada grid 1x1.



Gambar 4.5 Plot Curah Hujan Keputih dengan *Output GCM Grid 1x1*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil prediksi dengan menggunakan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* menghasilkan nilai RMSE 13,131 untuk Gamma dan 14,078 untuk Weibull. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dengan memodelkan curah hujan dengan seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* belum berhasil menaikkan prediksi dan menurunkan nilai RMSE.

Selanjutnya akan dilakukan pemodelan antara curah hujan Keputih lag 1 hingga lag 7 untuk mendapatkan model yang signifikan dan memiliki RMSE rendah. Penambahan lag dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari curah hujan satu hari sebelumnya hingga tujuh hari sebelumnya

terhadap pemodelan curah hujan harian. Berikut merupakan hasil pemodelan antara curah hujan Keputih lag 1 hingga 7 dengan variabel *output General Circulation Model (GCM)* secara multivariabel.

Tabel 4.13 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM Grid 1x1 Lag 1*

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	10,940	0,000	0,000	13,980	0,001	0,000
β_{lag1}	0,080	0,018	0,000	0,096	0,000	0,000
β_1	3183	0,000	0,000	3182	0,000	0,000
β_2	-0,031	0,000	0,000	-0,046	0,000	0,000
β_3	3,464	0,000	0,000	3,592	0,000	0,000
β_4	-0,054	0,028	$5,9 \times 10^{-2}$	-0,031	0,000	0,000
Shape	0,089	0,000	0,000	0,156	0,002	0,000

Tabel 4.14 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM Grid 1x1 Lag 2*

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	10,240	0,000	0,000	10,770	0,001	0,000
β_{lag1}	0,071	0,011	0,000	0,058	0,000	0,000
β_{lag2}	0,047	0,001	0,000	0,045	0,000	0,000
β_1	2970	0,000	0,000	2970	0,000	0,000
β_2	-0,029	0,000	0,000	-0,035	0,000	0,000
β_3	-1,864	0,000	0,000	-1,847	0,000	0,000
β_4	-0,055	0,026	0,000	-0,034	0,000	0,000
Shape	0,089	0,001	0,000	0,167	0,001	0,000

Tabel 4.15 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	3,946	0,000	0,000	3921	0,000	0,000
β_{lag1}	0,064	0,011	0,000	0,063	0,001	0,000
β_{lag2}	0,039	0,009	0,000	0,067	0,000	0,000
β_{lag3}	0,043	0,010	0,000	0,059	0,000	0,000
β_1	3009	0,000	0,000	3009	0,000	0,000
β_2	-0,009	0,000	0,000	-0,013	0,000	0,000
β_3	1979	0,000	0,000	1989	0,000	0,000
β_4	-0,029	0,025	0,223	-0,004	0,000	0,000
Shape	0,091	0,001	0,000	0,159	0,001	0,000

Tabel 4.16 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 4

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-3,089	0,000	0,000	-3,078	0,000	0,000
β_{lag1}	0,066	0,011	0,000	0,064	0,000	0,000
β_{lag2}	0,036	0,009	0,000	0,014	0,000	0,000
β_{lag3}	0,040	0,010	0,001	0,030	0,001	0,000
β_{lag4}	0,024	0,008	0,004	-0,006	0,000	0,000
β_1	2,822	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
β_2	0,015	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000
β_3	-1,196	0,000	0,000	-1,198	0,000	0,000
β_4	-0,049	0,025	0,056	-0,047	0,000	0,000
Shape	0,089	0,002	0,000	0,175	0,002	0,000

Tabel 4.17 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 5

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-5,645	0,000	0,000	-5,637	0,000	0,000
β_{lag1}	0,065	0,011	0,000	0,046	0,000	0,000
β_{lag2}	0,034	0,008	0,000	0,036	0,000	0,000
β_{lag3}	0,041	0,011	0,000	-0,084	0,000	0,000
β_{lag4}	0,021	0,008	0,010	-0,042	0,001	0,000
β_{lag5}	0,033	0,0077	0,000	0,015	0,000	0,000
β_1	2895	0,000	0,000	2,896	0,000	0,000
β_2	0,022	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000
β_3	2,884	0,000	0,000	2,929	0,000	0,000
β_4	-0,037	0,024	0,133	-0,004	0,000	0,000
Shape	0,093	0,001	0,000	-0,167	0,000	0,000

Tabel 4.18 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 6

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,028	0,000	0,000	4021	0,000	0,000
β_{lag1}	0,066	0,010	0,000	0,019	0,000	0,000
β_{lag2}	0,036	0,009	0,001	0,025	0,000	0,000
β_{lag3}	0,030	0,019	0,001	-0,002	0,000	0,000
β_{lag4}	0,025	0,008	0,000	0,000	0,000	0,12
β_{lag5}	0,036	0,008	0,000	-0,016	0,000	0,000
β_{lag6}	0,035	0,007	0,000	0,030	0,000	0,000
β_1	2846	0,000	0,000	2846	0,000	0,000
β_2	-0,011	0,000	0,000	-0,014	0,000	0,000

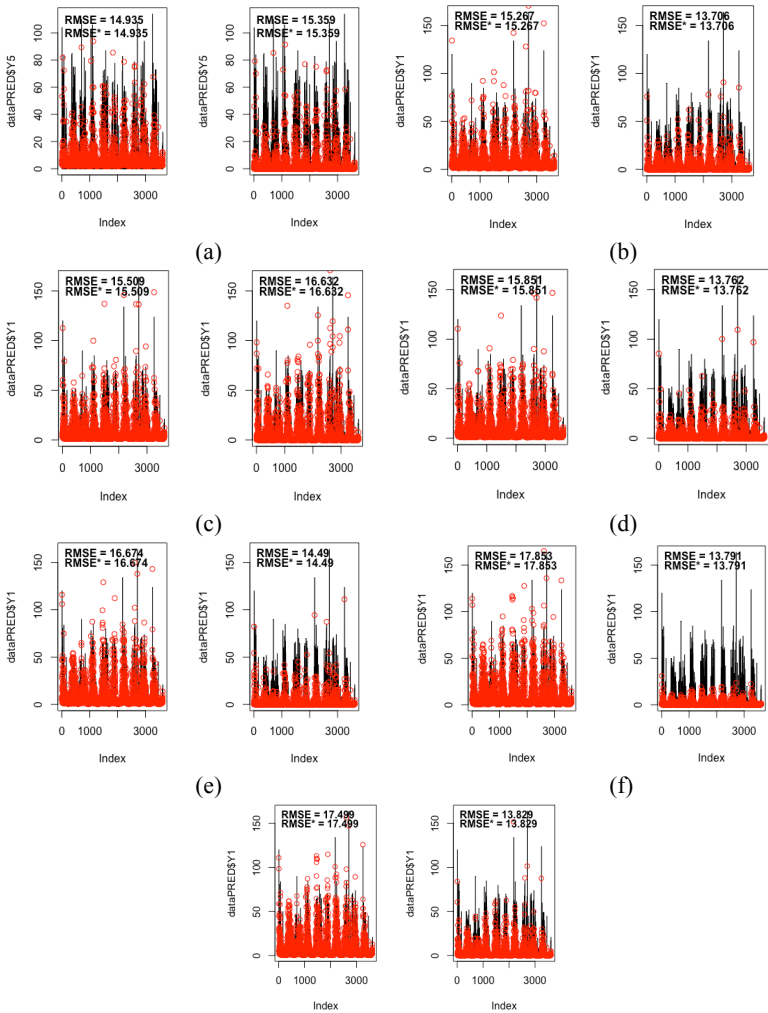
Tabel 4.18 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 6
(Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_3	10,090	0,000	0,000	4021	0,003	0,000
β_4	-0,035	0,020	0,077	-0,000	0,000	0,000
Shape	0,100	0,001	0,001	0,176	0,000	0,000

Tabel 4.19 Pemodelan CH Keputih dengan *Output GCM* Grid 1x1 Lag 7

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,268	0,000	0,000	4,256	0,001	0,000
β_{lag1}	0,065	0,010	0,000	0,061	0,000	0,000
β_{lag2}	0,032	0,009	0,000	0,020	0,002	0,000
β_{lag3}	0,029	0,009	0,001	0,021	0,001	0,000
β_{lag4}	0,024	0,007	0,001	0,022	0,002	0,000
β_{lag5}	0,032	0,008	0,000	0,023	0,000	0,000
β_{lag6}	0,032	0,008	0,000	0,018	0,000	0,000
β_{lag7}	0,015	0,006	0,017	0,000	0,000	0,506
β_1	2819	0,000	0,000	2819	0,000	0,000
β_2	-0,012	0,000	0,000	-0,014	0,000	0,000
β_3	8467	0,000	0,000	8469	0,000	0,000
β_4	-0,042	0,019	0,029	-0,038	0,000	0,000
Shape	0,100	0,001	0,000	0,185	0,003	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan menggunakan lag 1 hingga lag 7 dan variabel *output General Circulation Model* (GCM) menunjukkan bahwa terdapat model yang tidak signifikan yakni yang memiliki *p-value* lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Berikut merupakan RMSE dari hasil pemodelan pada masing – masing lag.



(g)

Gambar 4.6 Plot Curah Hujan Keputih dengan Lag 1 Hingga Lag 7 Grid 1x1
 (kiri : *marginal distribution* Gamma, kanan : *marginal distribution* Weibull)
 Hasil RMSE pada plot hasil pemodelan curah hujan Keputih dengan lag 1 hingga lag 7 menunjukkan bahwa

dengan menambahkan lag maka nilai RMSE akan semakin besar, namun pemodelan dengan menambahkan lag pada curah hujan Keputih dapat menaikkan hasil prediksi. Hal ini berlaku jika melakukan pemodelan dengan menggunakan *marginal distribution* Gamma. Sedangkan untuk pemodelan dengan menggunakan *marginal distribution* Weibull cenderung fluktuatif.

Setelah melakukan pemodelan curah hujan Keputih dengan variabel *output General Circulation Model* pada grid 1x1, maka selanjutnya adalah melakukan pemodelan curah hujan Keputih dengan variabel *output General Circulation Model* pada grid 3x3 yang telah dilakukan reduksi dimensi dengan menggunakan PCA. Berikut merupakan hasil pemodelan curah hujan Keputih dengan masing – masing variabel *output General Circulation Model* pada grid 3x3.

Tabel 4.20 Pemodelan CH Keputih dengan PR PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	2,315	0,059	0,000	0,529	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	2132	0,000	0,000	2132	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-1002	0,000	0,000	-1004	0,000	0,000
Shape	0,088	0,001	0,000	0,152	0,002	0,000

Tabel 4.21 Pemodelan CH Keputih dengan TAS PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	2,339	0,066	0,000	0,117	0,007	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,041	0,023	0,066	0,005	0,003	0,028
$\beta_{2,PCA2}$	0,099	0,049	0,046	0,012	0,006	0,053
Shape	0,088	0,001	0,000	0,146	0,002	0,000

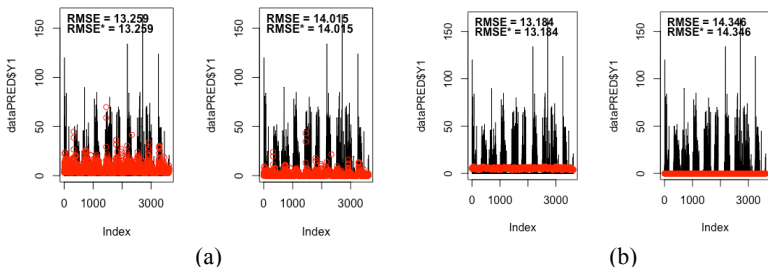
Tabel 4.22 Pemodelan CH Keputih dengan HUSS PCA Grid 3x3

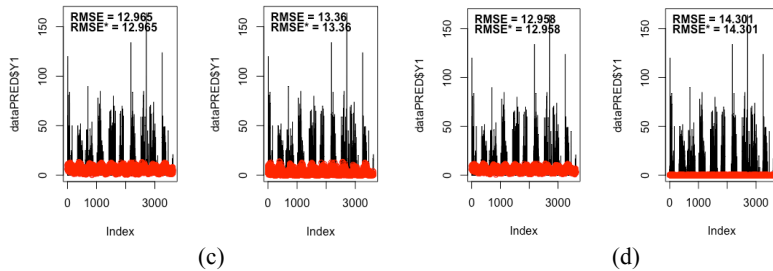
Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	2,271	0,066	0,000	1,147	0,061	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	16,961	6,194	0,006	16,971	0,865	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	-0,367	0,034	0,000	-0,672	0,035	0,000
Shape	0,089	0,002	0,000	0,144	0,002	0,000

Tabel 4.23 Pemodelan CH Keputih dengan SFCWIND PCA Grid 3x3

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	2,270	0,066	0,000	0,096	0,067	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,001	0,011	0,934	0,009	0,001	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-0,304	0,031	0,000	-0,172	0,012	0,000
Shape	0,088	0,001	0,000	0,153	0,002	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan PCA dari masing – masing variabel *output General Circulation Model* (GCM) menunjukkan bahwa terdapat model yang tidak signifikan, yakni terdapat *p-value* yang lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Untuk mengetahui model yang dihasilkan merupakan model terbaik maka dilakukan pengecekan RMSE. Berikut merupakan RMSE dari masing – masing model.

**Gambar 4.7** Plot Curah Hujan Keputih dengan PCA Masing-Masing Variabel Grid 3X3



Gambar 4.7 Plot Curah Hujan Keputih dengan PCA Masing-Masing Variabel Grid 3X3 (lanjutan)

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dengan memodelkan curah hujan Keputih dengan PCA dari masing – masing variabel pada grid 3x3 menunjukkan bahwa nilai RMSE yang dihasilkan masih tinggi. Selain itu, dengan memodelkan antara curah hujan Keputih dengan PCA dari masing – masing variabel pada grid 3x3 belum berhasil menaikkan prediksi. Setelah dilakukan pemodelan antara curah hujan Keputih dengan dengan PCA dari masing – masing variabel pada grid 3x3, selanjutnya akan dilakukan pemodelan secara multivariabel untuk mendapatkan model terbaik dengan hasil sebagai berikut.

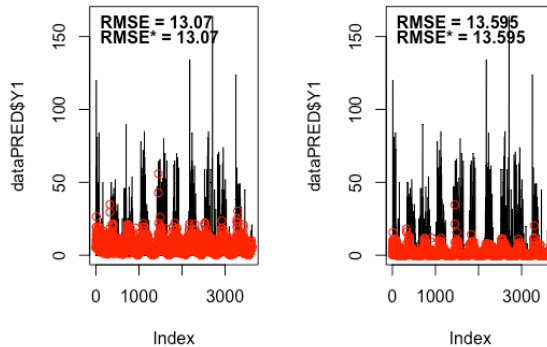
Tabel 4.24 Pemodelan CH Keputih dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,926	0,062	0,000	0,432	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	1547	0,025	0,000	1548	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-396,100	0,019	0,000	-396,300	0,002	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	-0,004	0,028	0,874	0,066	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,010	0,058	0,867	0,238	0,002	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	22,070	9,380	0,019	22,110	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	56,330	0,645	0,000	56,350	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,005	0,015	0,001	-0,029	0,000	0,506

Tabel 4.24 Pemodelan CH Keputih dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{4,PCA2}$	-56,640	0,620	0,000	-56,610	0,001	0,000
Shape	-0,089	0,001	0,000	0,150	0,001	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan variabel *output General Circulation Model (GCM)* yang telah dilakukan PCA, model signifikan pada *marginal distribution* Weibull. Pada *marginal distribution* Gamma model yang dihasilkan tidak signifikan dikarenakan terdapat *p-value* yang lebih besar dari $\alpha=0,05$. Berikut merupakan RMSE dari pemodelan antara curah hujan Keputih dengan variabel *output General Circulation Model (GCM)* yang telah dilakukan PCA.

**Gambar 4.8** Plot Curah Hujan Keputih dengan PCA Variabel Grid 3X3

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan variabel *output General Circulation Model (GCM)* yang telah dilakukan PCA menghasilkan RMSE nilai RMSE yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan pemodelan secara univariat. Selain itu, dengan pemodelan tersebut tidak dapat menaikkan prediksi secara signifikan dan cenderung konstan. Setelah melakukan pemodelan secara multivariat maka selanjutnya akan dilakukan pemodelan dengan menambahkan lag 1 hingga lag 7 pada curah hujan Keputih dan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.25 Pemodelan CH Keputih Lag 1 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,568	0,001	0,000	4,256	0,001	0,000
β_{lag1}	0,086	0,012	0,000	0,061	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	1136	0,006	0,000	0,020	0,002	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-107,500	0,001	0,000	0,021	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,026	0,002	0,000	0,022	0,002	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,287	0,019	0,000	0,023	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	17,670	0,668	0,000	0,018	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	45,840	0,019	0,000	0,000	0,000	0,506
$\beta_{4,PCA1}$	-0,052	0,004	0,000	2819	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-46,160	0,006	0,000	-0,014	0,000	0,000
Shape	0,091	0,001	0,000	8469	0,000	0,000

Tabel 4.26 Pemodelan CH Keputih Lag 2 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,396	0,067	0,000	0,779	0,001	0,000
β_{lag1}	0,067	0,011	0,000	0,032	0,000	0,000
β_{lag2}	0,045	0,009	0,000	0,015	0,002	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	809,300	0,001	0,000	809,800	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-180,600	0,000	0,000	-180,500	0,002	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,012	0,027	0,671	0,038	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,199	0,042	0,000	-0,235	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	21,790	0,158	0,000	22,450	0,000	0,506
$\beta_{3,PCA2}$	43,970	0,020	0,000	43,960	0,000	0,000

Tabel 4.26 Pemodelan CH Keputih Lag 2 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{4,PCA1}$	-0,031	0,015	0,048	0,072	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-44,230	0,025	0,000	-44,300	0,001	0,000
Shape	0,092	0,002	0,000	0,153	0,002	0,000

Tabel 4.27 Pemodelan CH Keputih Lag 3 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0				1,219	0,014	0,000
β_{lag1}				0,031	0,001	0,000
β_{lag2}				-0,034	0,001	0,000
β_{lag3}				-0,088	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA1}$				838,100	0,002	0,000
$\beta_{1,PCA2}$				-92,360	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA1}$				0,095	0,002	0,000
$\beta_{2,PCA2}$				-0,212	0,005	0,000
$\beta_{3,PCA1}$				26,610	0,044	0,000
$\beta_{3,PCA2}$				44,720	0,227	0,000
$\beta_{4,PCA1}$				-0,060	0,001	0,000
$\beta_{4,PCA2}$				-45,220	0,233	0,000
Shape				0,137	0,002	0,000

**MODEL TIDAK
KONVERGEN**

Tabel 4.28 Pemodelan CH Keputih Lag 4 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,221	0,002	0,000	1,233	0,001	0,000
β_{lag1}	0,067	0,011	0,000	0,036	0,002	0,000
β_{lag2}	0,033	0,009	0,003	-0,001	0,000	0,000
β_{lag3}	0,028	0,009	0,002	-0,023	0,000	0,000
β_{lag4}	0,026	0,007	0,000	-0,029	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	676,200	0,000	0,000	676,100	0,041	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-74,710	0,000	0,000	-74,720	0,050	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,037	0,002	0,000	0,029	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,021	0,005	0,000	-0,228	0,001	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	26,490	0,013	0,000	27,080	0,152	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	33,690	0,006	0,000	36,510	0,093	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,038	0,001	0,000	-0,100	0,001	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-33,920	0,008	0,000	-36,840	0,093	0,000
Shape	0,092	0,001	0,000	0,143	0,001	0,000

Tabel 4.29 Pemodelan CH Keputih Lag 5 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,106	0,004	0,000	1,042	0,001	0,000
β_{lag1}	0,064	0,013	0,000	-0,005	0,000	0,000
β_{lag2}	0,032	0,009	0,000	0,025	0,001	0,000
β_{lag3}	0,020	0,008	0,012	-0,005	0,001	0,000
β_{lag4}	0,031	0,008	0,000	-0,039	0,000	0,000
β_{lag5}	0,033	0,008	0,000	-0,018	0,001	0,000

Tabel 4.29 Pemodelan CH Keputih Lag 5 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{1,PCA1}$	518	0,013	0,000	518	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-124,700	0,004	0,000	-124,700	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,055	0,003	0,000	0,064	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,181	0,007	0,000	-0,110	0,002	0,000
$\beta_{3,PCA1}$	27,580	1011	0,000	27,580	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	32,130	0,066	0,000	31,980	0,002	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,050	0,001	0,000	-0,017	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-32,340	0,066	0,000	-32,480	0,002	0,000
Shape	0,091	0,001	0,000	0,145	0,002	0,000

Tabel 4.30 Pemodelan CH Keputih Lag 6 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	1,003	0,003	0,000	0,912	0,001	0,000
β_{lag1}	0,066	0,011	0,000	0,045	0,002	0,000
β_{lag2}	0,032	0,009	0,000	-0,031	0,000	0,000
β_{lag3}	0,020	0,008	0,016	0,027	0,000	0,000
β_{lag4}	0,025	0,007	0,001	-0,040	0,000	0,000
β_{lag5}	0,027	0,008	0,000	-0,029	0,041	0,000
β_{lag6}	0,032	0,008	0,000	-0,058	0,050	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	1014	0,174	0,000	1014	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-394,600	0,109	0,000	-395,100	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,034	0,016	0,039	-0,044	0,152	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,144	0,029	0,000	-0,193	0,093	0,000

Tabel 4.30 Pemodelan CH Keputih Lag 6 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{3,PCA1}$	16,760	7,152	0,019	15,590	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	31,600	2,940	0,000	26,060	0,004	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,048	0,009	0,000	-0,111	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA2}$	-31,700	2954	0,016	-26,220	0,006	0,000
Shape	0,093	0,001	0,001	0,144	0,000	0,000

Tabel 4.31 Pemodelan CH Keputih Lag 7 dengan PCA Grid 3x3

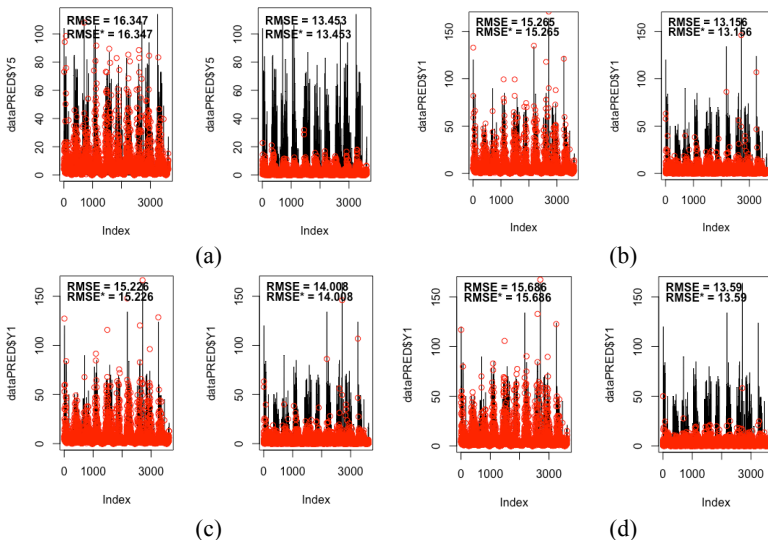
Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0				0,937	0,006	0,000
β_{lag1}				0,014	0,000	0,000
β_{lag2}				-0,022	0,000	0,000
β_{lag3}				-0,033	0,000	0,000
β_{lag4}				-0,055	0,000	0,000
β_{lag5}				-0,044	0,040	0,000
β_{lag6}				-0,066	0,000	0,000
β_{lag7}				-0,127	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA1}$				1323	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$				114,300	0,001	0,000
$\beta_{2,PCA1}$				0,038	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA2}$				-0,062	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA1}$				16,380	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$				35,770	0,160	0,000
$\beta_{4,PCA1}$				-0,121	0,001	0,000

**MODEL TIDAK
KONVERGEN**

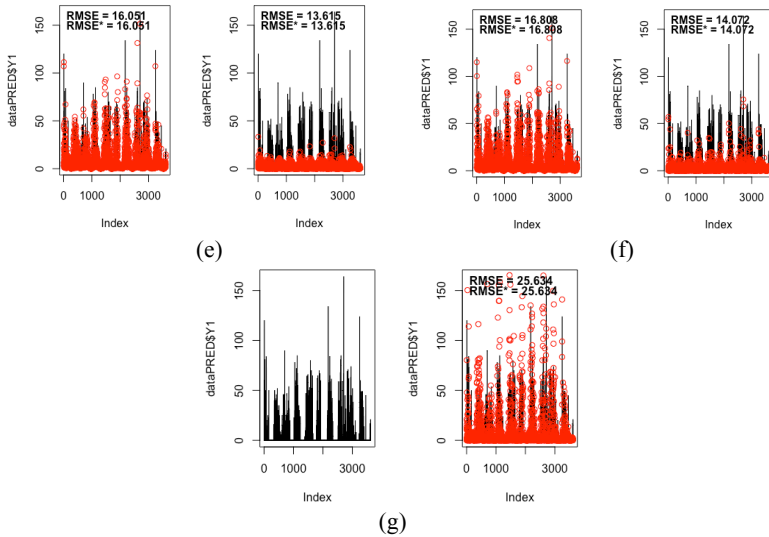
Tabel 4.31 Pemodelan CH Keputih Lag 7 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{4,PCA2}$	MODEL TIDAK			-35,970	0,001	0,000
Shape	KONVERGEN			-0,143	0,000	0,000

Pemodelan curah hujan Keputih dengan lag curah hujan Keputih ditambahkan dengan variabel PC memberikan model yang signifikan di semua lag baik menggunakan *marginal distribution* Gamma maupun *marginal distribution* Weibull. Untuk mengetahui apakah model terbaik maka dapat dilihat dari perhitungan RMSE dari masing – masing model dan didapat hasil sebagai berikut.



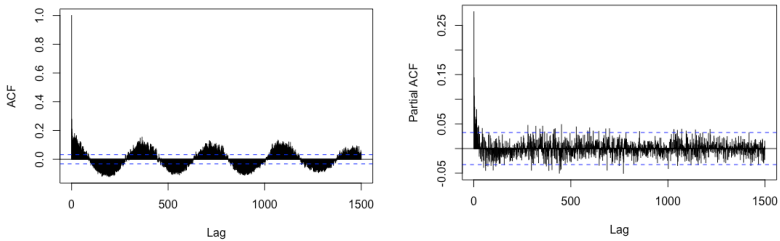
Gambar 4.9 Plot Curah Hujan Keputih Lag 1 hingga Lag 7 dengan PCA Variabel Grid 3X3



Gambar 4.9 Plot Curah Hujan Keputih Lag 1 hingga Lag 7 dengan PCA Variabel Grid 3X3 (Lanjutan)

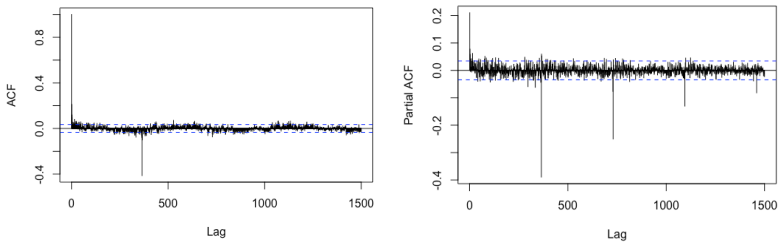
Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan lag curah hujan Keputih dari lag 1 hingga lag 7 dan variabel *output General Circulation Model (GCM)* menurut Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa semakin banyak lag yang ditambahkan dapat meningkatkan hasil prediksi namun nilai RMSE yang dihasilkan semakin besar setiap penambahannya. Sehingga dengan penambahan lag tidak menghasilkan model yang baik jika dilihat berdasarkan nilai RMSE pada masing – masing model yang telah terbentuk.

Selanjutnya akan dilakukan pemodelan curah hujan keputih untuk menghasilkan model terbaik dengan melakukan pemodelan berdasarkan *Autocorrelation Function (AFC)* dan *Partial Autocorrelation Function (PACF)* sebagai berikut.



Gambar 4.10 Plot ACF dan PACF Curah Hujan Keputih

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa data curah hujan Keputih membentuk pola musiman dan belum stasioner. Sehingga perlu ditambahkan *differencing* musiman untuk mendapatkan lag signifikan yakni *differencing* 365. Berikut merupakan plot ACF dan PACF curah hujan Keputih berdasarkan hasil *differencing*



Gambar 4.11 Plot ACF dan PACF Curah Hujan Keputih *Differencing* 365

Setelah dilakukan *differencing* maka akan dilakukan identifikasi model ARIMA untuk menentukan dugaan lag yang berpengaruh signifikan untuk prediksi curah hujan. Model ARIMA yang terbentuk berdasarkan ACF dan PACF dengan mengabaikan MA adalah ARIMA $(p,d,q)(P,D,Q)^S = \text{ARIMA}(1,0,0)(5,1,0)^{365}$. Selanjutnya model ARIMA yang terbentuk akan dilakukan perhitungan secara matematis sebagai berikut.

$$Y_t = \text{ARIMA}(p,d,q)(P,D,Q)^S$$

$$Y_t = \text{ARIMA}(1,0,0)(5,1,0)^{365}$$

$$\phi_y(B)\theta_y(B^x)(1-B^d)(1-B^x)^D Y_t = \theta_0 + \theta_q(B)\Theta_Q(B^x)a_t$$

$$(1 - \phi_1 B) \left(1 - \Phi_1 B^{365} - \Phi_2 B^{2(365)} - \Phi_3 B^{3(365)} - \Phi_4 B^{4(365)} - \Phi_5 B^{5(365)} \right) (1 - B^{365}) Y_t = a_t$$

dengan $d=1$ dan $s = 365$, maka :

$$a_t = (1 - \phi_1 B) \left(1 - \Phi_1 B^{365} - \Phi_2 B^{2(365)} - \Phi_3 B^{3(365)} - \Phi_4 B^{4(365)} - \Phi_5 B^{5(365)} \right) (1 - B^{365}) Y_t$$

$$a_t = (1 - \phi_1 B) \left(1 - \Phi_1 B^{365} - \Phi_2 B^{2(365)} - \Phi_3 B^{3(365)} - \Phi_4 B^{4(365)} - \Phi_5 B^{5(365)} \right) (Y_t - Y_t^{365})$$

$$a_t = \left(\begin{array}{c} (1 - \Phi_1 B^{365} - \Phi_2 B^{730} - \Phi_3 B^{1095} - \Phi_4 B^{1460} - \Phi_5 B^{1825}) - \\ (\phi_1 B - \phi_1 \Phi_1 B B^{365} - \phi_1 \Phi_2 B B^{730} - \phi_1 \Phi_3 B B^{1095} - \phi_1 \Phi_4 B B^{1460} - \phi_1 \Phi_5 B B^{1825}) \end{array} \right) (W_t)$$

$$a_t = \left(\begin{array}{c} (1 - \Phi_1 B^{365} - \Phi_2 B^{730} - \Phi_3 B^{1095} - \Phi_4 B^{1460} - \Phi_5 B^{1825}) - \\ (\phi_1 B - \psi_1 B^{366} - \psi_2 B^{731} - \psi_3 B^{1096} - \psi_4 B^{1461} - \psi_5 B^{1826}) \end{array} \right) (W_t)$$

$$a_t = \left(\begin{array}{c} (1 - \phi_1 B - \phi_1 B^{365} + \psi_1 B^{366} - \Phi_2 B^{730} + \psi_2 B^{731} - \Phi_3 B^{1095} + \psi_3 B^{1096} \\ - \Phi_4 B^{1460} + \psi_4 B^{1461} - \Phi_5 B^{1825} + \psi_5 B^{1826}) \end{array} \right) (W_t)$$

$$a_t = \left(\begin{array}{c} (W_t - \phi_1 W_{t-1} - \phi_1 W_{t-365} + \psi_1 W_{t-366} - \phi_2 W_{t-730} + \psi_2 W_{t-731} - \phi_3 W_{t-1095} \\ + \psi_3 W_{t-1096} - \phi_4 W_{t-1460} + \psi_4 W_{t-1461} - \phi_5 W_{t-1825} + \psi_4 W_{t-1826}) \end{array} \right)$$

dikarenakan $W_t = (Y_t - Y_{t-365})$ maka :

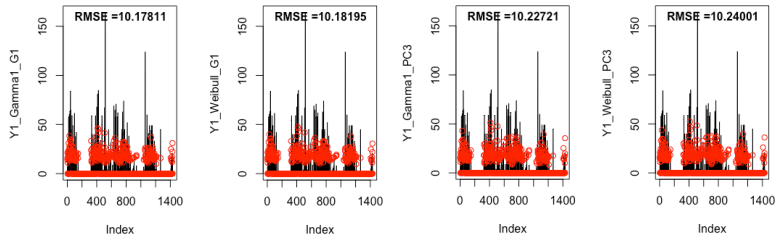
$$W_t = \left(\begin{array}{c} (\phi_1 (Y_{t-1} - Y_{t-366}) + \Phi_1 (Y_{t-365} - Y_{t-730}) - \psi_1 (Y_{t-366} - Y_{t-731}) + \Phi_2 (Y_{t-730} - Y_{t-1095}) \\ - \psi_2 (Y_{t-731} - Y_{t-1096}) + \Phi_3 (Y_{t-1095} - Y_{t-1460}) - \psi_3 (Y_{t-1096} - Y_{t-1461}) + \Phi_4 (Y_{t-1461} - Y_{t-1826}) \\ - \psi_4 (Y_{t-1461} - Y_{t-1826}) + \Phi_5 (Y_{t-1825} - Y_{t-2190}) - \psi_5 (Y_{t-1826} - Y_{t-2191}) + a_t \end{array} \right)$$

maka lag yang diduga berpengaruh signifikan terhadap curah hujan keputih adalah sebagai berikut.

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-365}, Y_{t-366}, Y_{t-730}, Y_{t-731}, Y_{t-1095}, Y_{t-1096}, Y_{t-1461}, Y_{t-1825}, Y_{t-1826}, Y_{t-2190}, Y_{t-2191})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh hasil bahwa lag yang diduga berpengaruh signifikan terhadap curah hujan Keputih adalah lag 1, lag 365, lag 366, lag 730, lag 731, lag 1095, lag 1096, lag 1825, lag 1826, lag 2190, dan lag 2191. Berikut merupakan pemodelan curah hujan Keputih dengan lag terbaik untuk variabel *output General Circulation Model (GCM) grid 1x1 dan 3x3* yang telah melalui proses reduksi variabel dengan

menggunakan *Principle Component Analysis* (PCA). Berikut merupakan RMSE pemodelan curah hujan Keputih dengan lag ARIMA grid 1x1 dan grid 3x3



Gambar 4.12 Plot Curah Hujan Keputih dengan Lag ARIMA

Hasil pemodelan antara curah Hujan Keputih dengan lag ARIMA grid 1x1 dan grid 3x3 menunjukkan bahwa dengan menambahkan lag ARIMA belum berhasil menurunkan RMSE dan memperbaiki prediksi. Sehingga dilakukan pemodelan curah hujan keputih dengan tidak melibatkan data 0 pada curah hujan Keputih yakni dengan mengubah data 0 pada curah hujan di Keputih menjadi NA untuk mendapatkan model yang signifikan. Berikut merupakan pemodelan curah hujan Keputih dengan masing – masing *output General Circulation Model* (GCM).

Tabel 4.32 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan PR5 Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,435	0,089	0,000	4,588	0,066	0,000
β_1	794,406	442,015	0,072	794,400	0,000	0,000
Shape	1,439	0,059	0,000	1,206	0,029	0,000

Tabel 4.33 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan TAS5 Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	12,930	0,000	0,000	4,588	0,000	0,000
β_1	-0,028	0,000	0,000	794,400	0,000	0,000
Shape	1,430	0,059	0,000	1,206	0,029	0,000

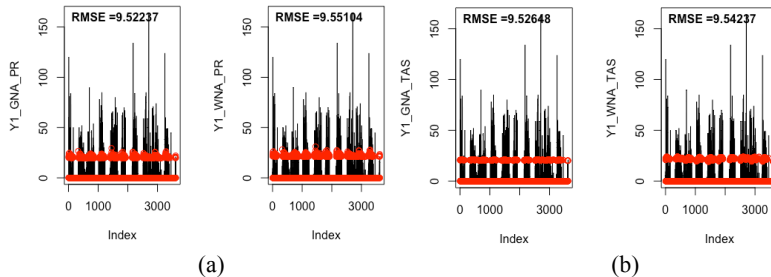
Tabel 4.34 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan HUSS5 Grid 1x1

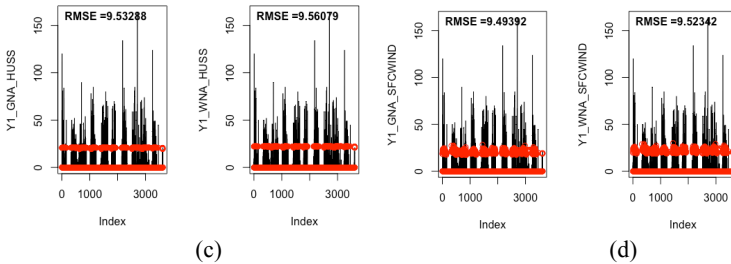
Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,668	0,264	0,000	4,820	0,273	0,000
β_3	-4,858	11,404	0,67	-4,843	11,741	0,68
Shape	1,435	0,059	0,000	1,204	0,029	0,000

Tabel 4.35 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan SFCWIND5 Grid 1x1

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,080	0,158	0,000	4,232	0,165	0,000
β_4	0,099	0,032	0,002	0,100	0,033	0,002
Shape	1,448	0,059	0,000	1,210	0,029	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) secara univariabel dengan *output General Circulation Model (GCM)* menghasilkan model yang tidak signifikan untuk variabel PR. Sedangkan untuk variabel lain signifikan. Untuk mengetahui kebaikan dari model maka dilihat berdasarkan nilai RMSE pada masing – masing model. Berikut merupakan hasil RMSE dari pemodelan curah hujan Keputih secara univariabel.

**Gambar 4.13** Plot Curah Hujan Keputih Grid 1x1 data NA



Gambar 4.13 Plot Curah Hujan Keputih Grid 1x1 data NA (Lanjutan)

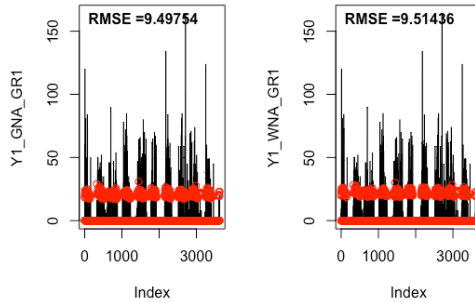
Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) secara univariabel dengan *output General Circulation Model (GCM)* menghasilkan hasil prediksi yang cenderung konstan. Namun untuk nilai RMSE antara keempat variabel cenderung turun. Setelah dilakukan pemodelan secara univariabel maka akan dilakukan pemodelan dengan multivariabel untuk mengetahui apakah dengan memodelkan curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)*.

Tabel 4.36 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-3,541	0,000	0,000	23,330	0,000	0,000
β_1	187	0,000	0,000	187	0,000	0,000
β_2	0,024	0,000	0,000	-0,064	0,000	0,000
β_3	13,060	0,000	0,000	13,820	0,000	0,000
β_4	0,104	0,031	0,001	0,076	0,033	0,000
Shape	1,472	0,061	0,000	1,202	0,029	0,000

Dengan melakukan pemodelan curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)* menghasilkan prediksi yang signifikan dikarenakan *p-value* yang lebih kecil dari $\alpha=0,05$. Untuk mengetahui kebaikan model, berikut merupakan RMSE

dari pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)*.



Gambar 4.14 Plot Curah Hujan Keputih dengan Seluruh Grid 1x1 Data NA

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa dengan memodelkan curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)* menghasilkan RMSE yang rendah yakni sebesar 9,497 untuk *marginal distribution* Gamma dan 9,514 untuk *marginal distribution* Weibull. Untuk mengetahui apakah nilai RMSE tersebut adalah yang paling baik maka dilakukan pengujian antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) lag 1 hingga lag 7 dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.37 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 1

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	12,880	0,000	0,000	37,680	0,000	0,000
β_{lag1}	0,030	0,005	0,000	0,031	0,006	0,000
β_1	-254,400	0,000	0,000	-254,400	0,000	0,000
β_2	-0,033	0,000	0,000	-0,114	0,000	0,000
β_3	33,500	0,000	0,000	34,180	0,000	0,000
β_4	0,090	0,041	0,027	0,061	0,042	0,141
Shape	1,578	0,088	0,000	1,284	0,043	0,000

Tabel 4.38 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 2

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	38,270	0,000	0,000	54,160	0,000	0,000
β_{lag1}	0,030	0,007	0,000	0,029	0,007	0,000
β_{lag2}	-0,002	0,006	0,779	-0,004	0,006	0,000
β_1	-1998	0,000	0,000	-1998	0,000	0,000
β_2	-0,121	0,001	0,000	-0,173	0,002	0,000
β_3	103,100	0,000	0,000	103,500	0,000	0,000
β_4	0,094	0,049	0,056	0,078	0,049	0,000
Shape	1,649	0,119	0,000	1,367	0,059	0,000

Tabel 4.39 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 3

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-15,420	0,000	0,000	-10,390	0,000	0,000
β_{lag1}	0,038	0,011	0,001	0,032	0,011	0,003
β_{lag2}	-0,027	0,010	0,007	-0,024	0,011	0,0350
β_{lag3}	-0,006	0,009	0,556	-0,008	0,009	0,407
β_1	-0,003	0,008	0,709	0,002	0,009	0,979
β_2	-2218	0,000	0,000	-2218	0,000	0,000
β_3	0,064	0,002	0,000	0,047	0,000	0,000
β_4	76,660	0,089	0,642	76,770	0,091	0,729
Shape	-0,041	0,233	0,000	0,031	0,103	0,000

Tabel 4.40 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 4

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-15,420	0,000	0,000	-10,390	0,000	0,000
β_{lag1}	0,038	0,011	0,001	0,032	0,011	0,003

Tabel 4.40 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 4
(Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_{lag2}	-0,027	0,010	0,007	-0,024	0,011	0,0350
β_{lag3}	-0,006	0,009	0,556	-0,008	0,009	0,407
β_{lag4}	-0,003	0,008	0,709	0,002	0,009	0,979
β_1	-2218	0,000	0,000	-2218	0,000	0,000
β_2	0,064	0,002	0,000	0,047	0,000	0,000
β_3	76,660	0,089	0,642	76,770	0,091	0,729
β_4	-0,041	0,233	0,000	0,031	0,103	0,000

Tabel 4.41 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 5

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	13,890	0,000	0,000	-5,637	0,00	0,000
β_{lag1}	0,033	0,012	0,007	0,046	0,013	0,003
β_{lag2}	-0,006	0,009	0,517	0,036	0,010	0,881
β_{lag3}	-0,047	0,010	0,000	-0,084	0,011	0,000
β_{lag4}	0,014	0,008	0,175	-0,042	0,013	0,075
β_{lag5}	-0,006	0,012	0,622	0,015	0,000	0,782
β_1	-3881	0,000	0,000	2,896	0,000	0,000
β_2	-0,025	0,000	0,000	0,018	0,003	0,000
β_3	-27,980	0,000	0,000	2,929	0,000	0,000
β_4	0,043	0,011	0,694	-0,004	0,109	0,410
Shape	2,128	0,29	0,000	-0,167	0,131	0,000

Tabel 4.42 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 6

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	401,900	0,000	0,000	4021	0,000	0,000
β_{lag1}	0,029	0,010	0,002	0,019	0,000	0,000
β_{lag2}	-0,012	0,009	0,001	0,025	0,000	0,000
β_{lag3}	-0,061	0,019	0,001	-0,002	0,000	0,000
β_{lag4}	$-8,670 \times 10^{-4}$	0,026	0,974	0,000	0,000	0,12
β_{lag5}	0,025	0,017	0,171	-0,016	0,000	0,000
β_{lag6}	0,018	0,012	0,133	0,030	0,000	0,000
β_1	-14430	0,000	0,000	2846	0,000	0,000
β_2	-1337	0,000	0,000	-0,014	0,000	0,000
β_3	340,200	0,007	0,000	0,030	0,000	0,000
β_4	0,419	0,142	0,003	2846	0,000	0,000
Shape	2,144	0,356	0,000	-0,014	0,000	0,000

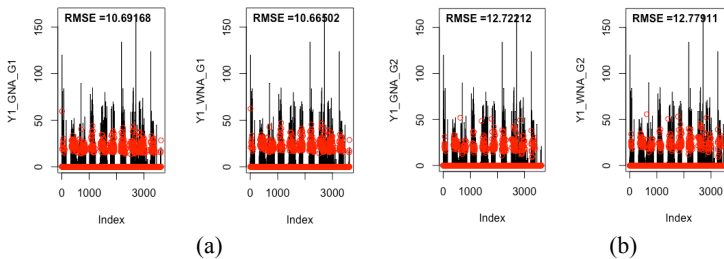
Tabel 4.43 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan Grid 1x1 Lag 7

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	-192,800	0,000	0,000	182,600	0,000	0,000
β_{lag1}	-0,011	0,010	0,002	-0,014	0,000	0,000
β_{lag2}	-0,008	0,009	0,001	-0,011	0,000	0,000
β_{lag3}	-0,073	0,019	0,001	-0,078	0,000	0,000
β_{lag4}	0,003	0,026	0,974	-0,002	0,000	0,12
β_{lag5}	0,052	0,017	0,171	-0,053	0,000	0,000
β_{lag6}	-0,003	0,012	0,133	-0,001	0,000	0,000
β_{lag7}	-0,013	0,000	0,000	-0,014	0,000	0,000

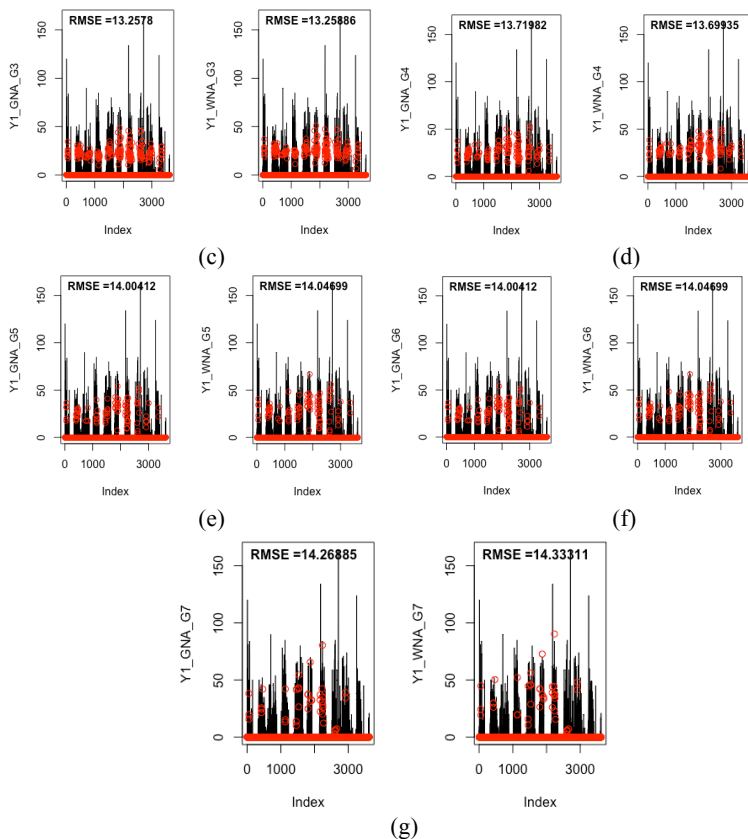
Tabel 4.43 Pemodelan CH Keputih dengan Grid 1x1 Lag 7 (Lanjutan)

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_1	-3340	0,000	0,000	-3340	0,000	0,000
β_2	0,628	0,010	0,000	-0,596	0,005	0,000
β_3	445,900	0,009	0,000	446,100	0,000	0,000
β_4	0,240	0,157	0,125	0,298	0,171	0,082
Shape	3,191	0,749	0,000	1,991	0,289	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) lag 1 hingga lag 7 dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)* menghasilkan model yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan baik pada *marginal distribution* Gamma maupun *marginal distribution* Weibull terdapat *p-value* yang lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Berikut merupakan RMSE dari pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) lag 1 hingga lag 7 dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)*.



Gambar 4.15 Plot CH Keputih dengan Lag 1 Hingga Lag 7 Grid 1x1 (kiri = *marginal distribution* Gamma, kanan = *marginal distribution* Weibull)



Gambar 4.15 Plot CH Keputih dengan Lag 1 Hingga Lag 7 Grid 1x1 (Lanjutan)
(kiri = *marginal distribution* Gamma, kanan = *marginal distribution* Weibull)
Tanpa Nilai 0

RMSE yang dihasilkan dari pemodelan antara curah hujan Keputih tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) lag 1 hingga lag 7 dengan seluruh *output General Circulation Model (GCM)* diketahui lebih tinggi. Selain itu pemodelan antara curah hujan keputih dari lag 1 hingga lag 7 mampu menaikkan prediksi di masing – masing lag dimana semakin besar lag yang ditambahkan mampu semakin menaikkan hasil prediksi curah hujan harian milik pos hujan Keputih. Setelah diketahui hasil pemodelan untuk

grid 1x1 maka selanjutnya akan dilakukan pemodelan serupa untuk mengetahui model terbaik pada grid 3x3 yang telah melalui proses reduksi dimensi menggunakan PCA memiliki hasil yang lebih baik atau tidak menggunakan *Gaussian Copula Marginal Regression* tanpa melibatkan nilai 0 (tidak terjadi hujan) dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.44 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan PR PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,520	0,000	0,000	4,674	0,069	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	332,795	0,010	0,094	332,796	204,751	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-5,584	0,009	0,984	-5,582	2,936	0,000
Shape	1,438	0,157	0,000	1,210	0,029	0,000

Tabel 4.45 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan TAS PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,538	0,0611	0,000	4,692	0,067	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,021	0,022	0,339	0,019	0,222	0,391
$\beta_{2,PCA2}$	0,083	0,046	0,072	0,077	0,047	0,104
Shape	1,440	0,059	0,000	1,205	0,029	0,000

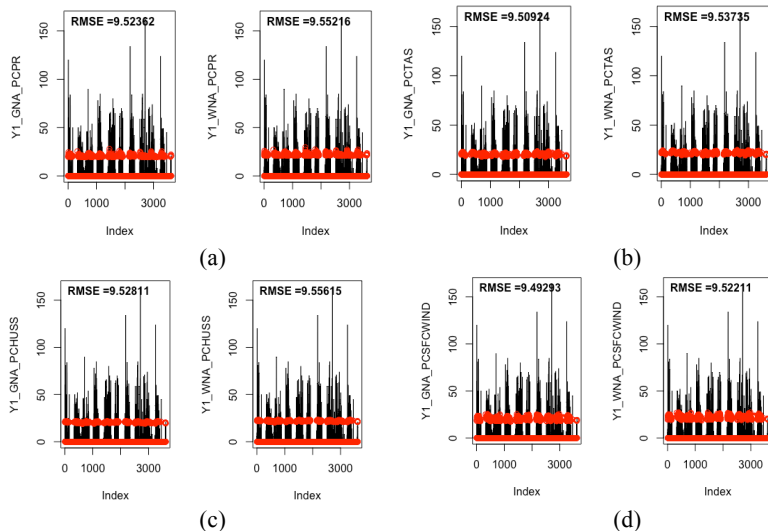
Tabel 4.46 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan HUSS PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,524	0,0611	0,000	4,678	0,074	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	-0,972	0,022	0,908	-0,387	8,834	0,965
$\beta_{2,PCA2}$	-0,041	0,046	0,394	-0,041	0,051	0,415
Shape	1,444	0,059	0,000	1,205	0,029	0,000

Tabel 4.47 Pemodelan CH Keputih Tanpa Nilai 0 dengan SFCWIND PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,526	0,067	0,000	4,683	0,074	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,035	0,012	0,908	0,036	0,012	0,965
$\beta_{4,PCA2}$	-0,026	0,039	0,394	-0,022	0,041	0,415
Shape	1,446	0,059	0,000	1,209	0,029	0,000

Hasil pemodelan antara curah hujan dengan *variabel output General Circulation Model (GCM)* secara univariabel terdapat model yang tidak signifikan. Model tidak signifikan tersebut berada pada pemodelan antara curah hujan Keputih dengan keseluruhan variabel *output General Circulation Model (GCM)*. Berikut hasil RMSE dari model tersebut.



Gambar 4.16 Plot Curah Hujan Keputih Grid 3x3 Data NA dengan Variabel *Output General Circulation Model (GCM)* Tanpa Nilai 0

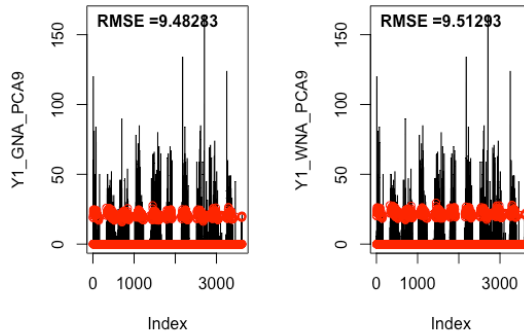
Hasil pemodelan antara curah hujan dengan *variabel output General Circulation Model (GCM)* secara univariabel diketahui

menghasilkan RMSE yang rendah namun hasil prediksi yang dihasilkan konstan. Kemudian dilakukan pemodelan antara curah hujan dengan *variabel output General Circulation Model (GCM)* yang telah direduksi untuk mendapatkan model terbaik sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.48 Pemodelan CH Keputih Tanpa 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,422	0,062	0,000	0,432	0,001	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	89,165	0,025	0,000	1548	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	58,749	0,019	0,000	-396,300	0,002	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	-0,002	0,028	0,944	0,066	0,001	0,902
$\beta_{2,PCA2}$	0,051	0,058	0,316	0,238	0,002	0,432
$\beta_{3,PCA1}$	4,919	9,380	0,629	22,110	0,087	0,582
$\beta_{3,PCA2}$	13,552	0,645	0,267	56,350	0,000	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,019	0,015	0,264	-0,029	0,020	0,322
$\beta_{4,PCA2}$	-13,587	0,645	0,266	56,350	0,630	0,322
Shape	1,449	0,000	0,000	-0,029	0,000	0,000

Pemodelan antara curah hujan dengan *variabel output General Circulation Model (GCM)* grid 3x3 yang telah direduksi menghasilkan model yang tidak signifikan. Berikut merupakan RMSE dari pemodelan antara curah hujan dengan *variabel output General Circulation Model (GCM)* grid 3x3 yang telah di reduksi menggunakan *Principle Component Analysis (PCA)*.



Gambar 4.17 Plot CH Keputih dengan PCA Grid 3x3 Tanpa Nilai 0

RMSE dari pemodelan antara curah hujan Keputih dengan variabel output *General Circulation Model* (GCM) grid 3x3 yang telah direduksi cenderung lebih kecil dibandingkan dengan pemodelan grid 3x3 lainnya. Namun diketahui bahwa dengan RMSE yang kecil pada pemodelan ini menghasilkan nilai prediksi yang cenderung konstan. Berikut merupakan hasil pemodelan antara curah hujan Keputih dengan lag curah hujan Keputih dan variabel output *General Circulation Model* (GCM) grid 3x3 yang telah direduksi.

Tabel 4.49 Pemodelan CH Keputih Lag 1 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	3,981	0,169	0,000	4,186	0,172	0,000
β_{lag1}	0,031	0,006	0,000	0,031	0,006	0,000
$\beta_{1,PCA1}$	-18,827	0,503	0,000	-18,769	0,532	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-20,693	0,301	0,000	-20,662	0,312	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,041	0,044	0,352	0,041	0,045	0,358
$\beta_{2,PCA2}$	0,038	0,068	0,576	0,028	0,068	0,679
$\beta_{3,PCA1}$	16,047	15,535	0,302	19,811	16,692	0,235
$\beta_{3,PCA2}$	2,632	15,111	0,862	2,043	15,166	0,893

Tabel 4.49 Pemodelan CH Keputih Lag 1 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{4,PCA1}$	0,032	0,023	0,171	0,035	0,024	0,141
$\beta_{4,PCA2}$	-2,569	15,120	0,865	-1,976	15,175	0,896
Shape	1,542	0,086	0,000	1,286	0,042	0,000

Tabel 4.50 Pemodelan CH Keputih Lag 2 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	4,144	0,221	0,000	4,387	0,224	0,000
β_{lag1}	0,030	0,007	0,000	0,029	0,007	0,000
β_{lag2}	$-9,681 \times 10^{-4}$	0,006	0,876	$-4,079 \times 10^{-4}$	0,006	0,948
$\beta_{1,PCA1}$	-308,100	0,000	0,000	-308,300	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	363,900	0,000	0,000	364,200	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,042	0,049	0,389	0,043	0,049	0,379
$\beta_{2,PCA2}$	0,037	0,085	0,664	0,026	0,083	0,758
$\beta_{3,PCA1}$	26,010	0,000	0,000	32,060	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	11,380	0,046	0,000	9,173	0,047	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,012	0,024	0,604	0,015	0,024	0,539
$\beta_{4,PCA2}$	-11,310	0,046	0,000	-9,087	0,046	0,000
Shape	1,603	0,115	0,000	1,335	0,058	0,000

Tabel 4.51 Pemodelan CH Keputih Lag 3 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	3,925	0,314	0,000	4,152	0,314	0,000
β_{lag1}	0,038	0,009	0,000	0,037	0,009	0,000
β_{lag2}	-0,012	0,007	0,088	-0,012	0,006	0,076

Tabel 4.51 Pemodelan CH Keputih Lag 3 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_{lag3}	0,004	0,007	0,587	0,005	0,007	0,472
$\beta_{1,PCA1}$	-377,300	0,000	0,000	-377,300	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	876,200	0,000	0,000	876,200	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,018	0,055	0,739	0,013	0,054	0,813
$\beta_{2,PCA2}$	-0,058	0,102	0,569	-0,052	0,099	0,599
$\beta_{3,PCA1}$	-66,580	0,000	0,000	-66,590	0,000	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	9,928	0,054	0,000	9,924	0,054	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,012	0,026	0,625	-0,013	0,026	0,611
$\beta_{4,PCA2}$	-9,902	0,053	0,000	-9,914	0,053	0,000
Shape	1,766	0,159	0,000	1,422	0,077	0,000

Tabel 4.52 Pemodelan CH Keputih Lag 4 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	6,201	0,495	0,000	6,367	0,488	0,000
β_{lag1}	0,033	0,012	0,004	0,032	0,012	0,005
β_{lag2}	-0,028	0,009	0,005	-0,028	0,011	0,008
β_{lag3}	-0,010	0,010	0,310	-0,010	0,010	0,364
β_{lag4}	-0,006	0,008	0,521	-0,003	0,009	0,722
$\beta_{1,PCA1}$	-1035	0,000	0,000	-1035	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	1670	0,000	0,000	1670	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,269	0,088	0,002	0,245	0,086	0,004
$\beta_{2,PCA2}$	-0,156	0,164	0,341	-0,154	0,155	0,321
$\beta_{3,PCA1}$	197	0,001	0,000	196,9	0,002	0,000

Tabel 4.52 Pemodelan CH Keputih Lag 4 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3
(Lanjutan)

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
$\beta_{3,PCA2}$	-7,075	0,074	0,000	-7,101	0,073	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,004	0,037	0,909	0,016	0,037	0,661
$\beta_{4,PCA2}$	7,101	0,072	0,000	7,088	0,071	0,000
Shape	1,998	0,225	0,000	1,547	0,106	0,000

Tabel 4.53 Pemodelan CH Keputih Lag 5 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	6,383	0,637	0,000	6,482	0,621	0,000
β_{lag1}	0,029	0,013	0,033	0,029	0,013	0,033
β_{lag2}	-0,016	0,010	0,123	-0,012	0,011	0,270
β_{lag3}	-0,046	0,011	0,000	-0,051	0,011	0,000
β_{lag4}	0,004	0,011	0,665	0,007	0,011	0,500
β_{lag5}	-0,103	0,011	0,380	-0,009	0,011	0,464
$\beta_{1,PCA1}$	1835	0,000	0,000	-1835	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	3536	0,000	0,000	3536	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,436	0,111	0,000	0,411	0,104	0,000
$\beta_{2,PCA2}$	-0,015	0,221	0,948	-0,031	0,205	0,881
$\beta_{3,PCA1}$	151,800	0,003	0,000	151,800	0,003	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	-4,970	0,090	0,000	-5,002	0,090	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,020	0,041	0,628	-0,005	0,040	0,899
$\beta_{4,PCA2}$	4,931	0,087	0,000	4,889	0,087	0,000
Shape	2,124	0,295	0,000	1,636	0,135	0,000

Tabel 4.54 Pemodelan CH Keputih Lag 6 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	6,112	0,849	0,000	6,346	2,485	0,011
β_{lag1}	0,010	0,013	0,428	0,010	0,037	0,785
β_{lag2}	-0,026	0,013	0,046	-0,023	0,018	0,184
β_{lag3}	-0,071	0,016	0,000	-0,080	0,018	0,000
β_{lag4}	-0,060	0,020	0,768	-0,005	0,027	0,851
β_{lag5}	0,034	0,018	0,068	0,035	0,021	0,085
β_{lag6}	0,072	0,011	0,530	0,010	0,013	0,473
$\beta_{1,PCA1}$	-3813	0,000	0,000	-3813	0,008	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	5906	0,000	0,000	5906	0,013	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	0,495	0,144	0,001	0,442	0,158	0,005
$\beta_{2,PCA2}$	0,121	0,245	0,620	0,113	0,530	0,831
$\beta_{3,PCA1}$	79,520	0,004	0,000	79,520	0,005	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	49,360	0,109	0,000	49,310	0,505	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	-0,063	0,053	0,239	-0,029	0,055	0,597
$\beta_{4,PCA2}$	-49,510	0,103	0,000	-49,570	0,203	0,000
Shape	2,154	0,382	0,000	1,627	0,259	0,000

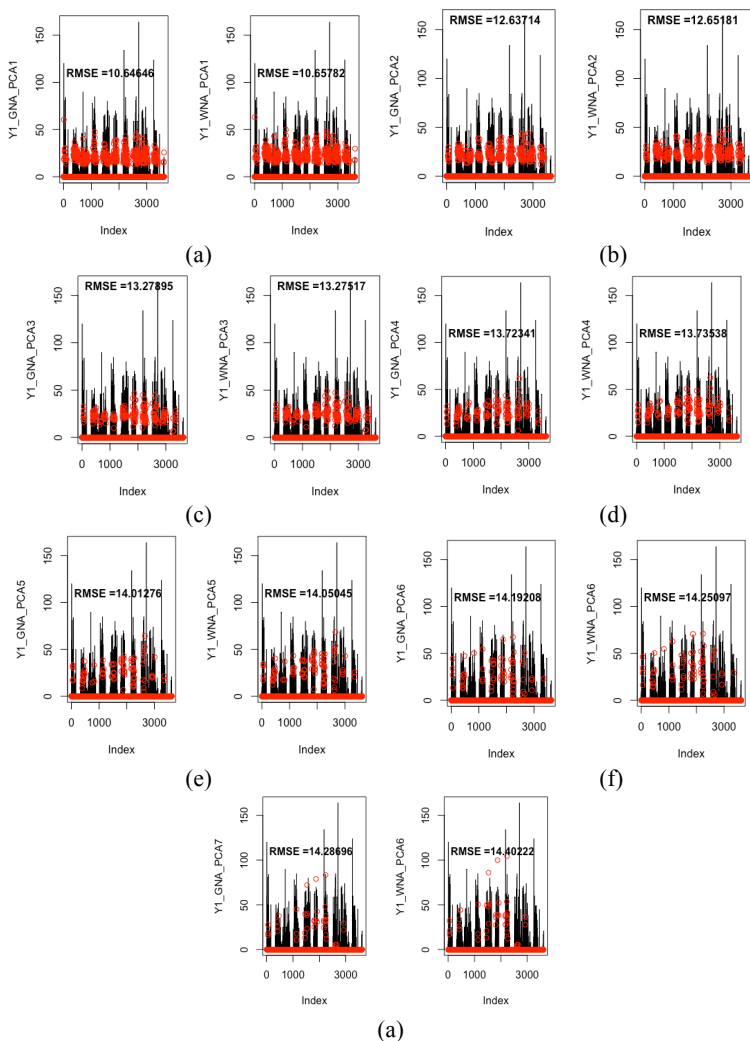
Tabel 4.55 Pemodelan CH Keputih Lag 7 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3

Parameter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_0	9,107	0,773	0,000	9,464	0,770	0,000
β_{lag1}	-0,006	0,009	0,533	-0,009	0,091	0,623
β_{lag2}	-0,006	0,010	0,549	-0,005	0,010	0,632
β_{lag3}	0,084	0,015	0,000	-0,093	0,005	0,000

Tabel 4.55 Pemodelan CH Keputih Lag 7 Tanpa Nilai 0 dengan PCA Grid 3x3 (Lanjutan)

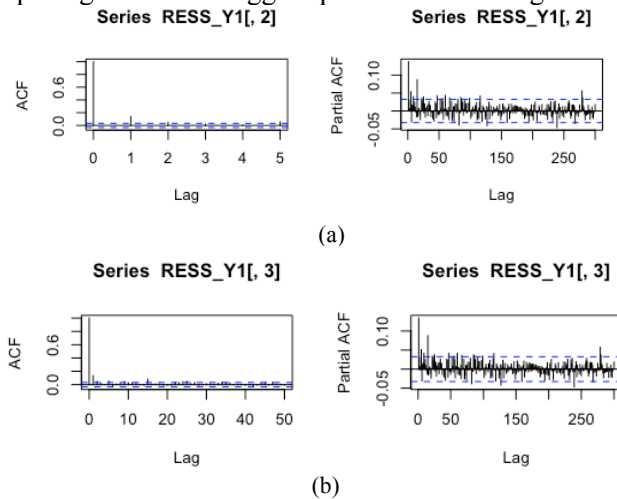
Para- meter	Gamma			Weibull		
	Est.	Std.E	P-Value	Est.	Std.E	P-Value
β_{lag4}	0,007	0,020	0,696	0,005	0,027	0,839
β_{lag5}	0,058	0,021	0,004	0,075	0,063	0,235
β_{lag6}	-0,006	0,012	0,597	-0,006	0,031	0,844
β_{lag7}	-0,010	0,011	0,330	-0,011	0,016	0,483
$\beta_{1,PCA1}$	26,950	0,000	0,000	269,80	0,000	0,000
$\beta_{1,PCA2}$	-21,480	0,000	0,000	-2147	0,000	0,000
$\beta_{2,PCA1}$	-0,278	0,169	0,100	-0,404	0,129	0,002
$\beta_{2,PCA2}$	-0,325	0,229	0,156	-0,351	0,223	0,115
$\beta_{3,PCA1}$	36,260	0,003	0,000	370,400	0,002	0,000
$\beta_{3,PCA2}$	-94,580	0,116	0,000	-78,290	0,088	0,000
$\beta_{4,PCA1}$	0,144	0,004	0,000	0,151	0,098	0,127
$\beta_{4,PCA2}$	94,250	0,115	0,000	77,860	0,086	0,000
Shape	3,954	0,823	0,000	2,297	0,261	0,000

Pemodelan antara curah hujan Keputih dengan lag curah hujan Keputih dan *variabel output General Circulation Model* (GCM) grid 3x3 yang telah direduksi menghasilkan model yang tidak signifikan disetiap lagnya. Berikut merupakan hasil RMSE dari pemodelan curah hujan Keputih dengan lag curah hujan Keputih dan *variabel output General Circulation Model* (GCM) grid 3x3 yang telah direduksi.



Gambar 4.18 Plot CH Keputih Lag 1 hingga 7 dan PCA Grid 3x3 Tanpa Nilai 0 Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diatas maka sesuai dengan pemilihan model terbaik yang ditinjau dari nilai RMSE terendah maka didapatkan model terbaik pada grid 1x1 berdasarkan nilai RMSE terendah adalah pemodelan antara curah

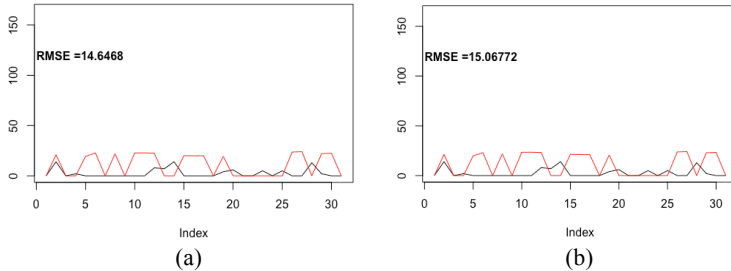
hujan Keputih tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) dengan nilai RMSE untuk *marginal distribution* Gamma dan Weibull berturut – turut adalah 9,497 dan 9,514. Hal tersebut juga berlaku pada pemodelan dengan menggunakan grid 3x3. Pada pemodelan curah hujan Keputih tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) diperoleh RMSE terkecil sebesar 9,482 untuk *marginal distribution* Gamma dan 9,513 untuk *marginal distribution* Weibull. Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3. Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.19 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Keputih Tanpa Nilai 0

Pengecekan dependensi dari eror yang dihasilkan oleh pemodelan curah hujan Keputih tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.17 diketahui bahwa eror yang dihasilkan telah independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression*

(GCMR) mampu mengatasi dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada data *training* untuk prediksi curah hujan pada pos hujan Keputih.



Gambar 4.20 Prediksi Data *Testing* CH Keputih Grid (1x1)
(a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Berdasarkan pengujian data testing diatas dapat diketahui bahwa pemodelan curah hujan Keputih tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) menggunakan *marginal distribution Gamma* dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan Weibull yakni sebesar 14,6468 dan hasil prediksi cenderung tidak konstan. Sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = (-3,541 + 187PR + 0,024TAS + 13,060HUSS + 10,104SFCWIND)^2$$

Berikut merupakan hasil prediksi untuk data *testing*, yakni 1 hingga 31 Desember 2018

Tabel 4.56 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Keputih

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	19.93958
2	21.00384	18	0
3	0	19	19.35618
4	0	20	0
5	19.25543	21	0

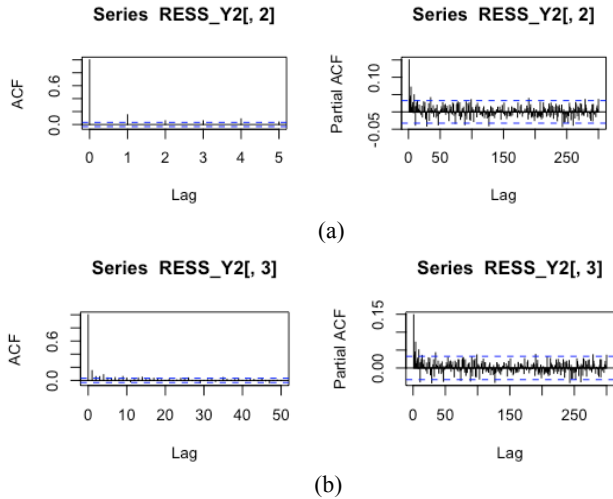
Tabel 4.56 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Keputih (Lanjutan)

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
6	22.88798	22	0
7	0	23	0
8	21.88544	24	0
9	0	25	0
10	22.70604	26	23.65728
11	22.81489	27	24.01506
12	22.45146	28	0
13	0	29	22.06235
14	0	30	22.48321
15	20.06909	31	0
16	19.95643		

4.4.2 Pemodelan Curah Hujan Kedungcowek

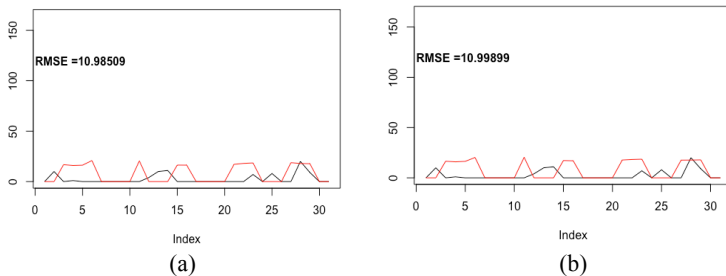
Model terbaik pada pemodelan curah hujan kedung cowek diperoleh melalui proses analisis yang sama dengan curah hujan Keputih dan didapat model terbaik pada pemodelan curah hujan Kedungcowek pada grid 1x1 adalah pemodelan antara curah hujan Kedungcowek tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) dengan RMSE sebesar 8,573 untuk *marginal distribution* Gamma dan 8,570 untuk *marginal distribution* Weibull.

Hal tersebut juga berlaku pada pemodelan dengan menggunakan grid 3x3. Pada pemodelan curah hujan Kedungcowek diperoleh RMSE terkecil sebesar 8,503 untuk *marginal distribution* Gamma dan 8,512 untuk *marginal distribution* Weibull. Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3. Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.21 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Kdcowek Tanpa Nilai 0

Pengecekan dependensi dari error yang dihasilkan oleh pemodelan curah hujan Kedungcowek tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.19 menghasilkan error yang independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) mampu mengatasi dependensi dari error yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada pos hujan Kedungcowek.



Gambar 4.22 Prediksi Data Testing CH KdCowek Grid (1x1)
 (a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Berdasarkan pengujian data testing diatas dapat diketahui bahwa pemodelan curah hujan Kedungcowek tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) menggunakan *marginal distribution* Gamma dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan Weibull yakni sebesar 10,985 dan hasil prediksi cenderung tidak konstan. Sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = (-26,72 + 605,1 PR + 0,098 TAS + 19,05 HUSS + 0,098 SFCWIND)^2$$

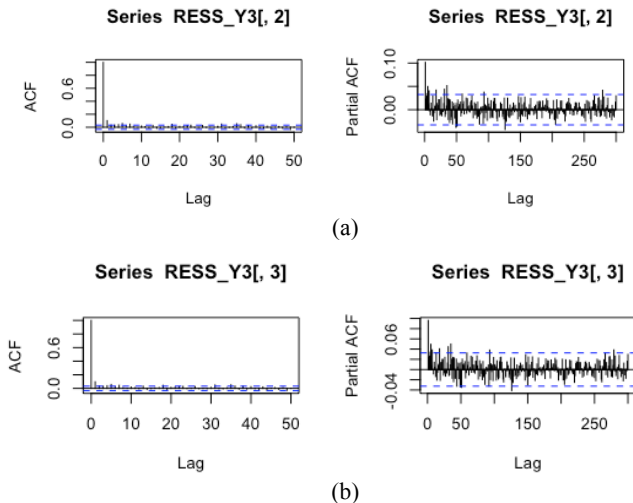
Berikut merupakan hasil prediksi untuk data *testing*, yakni 1 hingga 31 Desember 2018

Tabel 4.57 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Kedungcowek

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	0
2	0	18	0
3	16.77346	19	0
4	15.97807	20	0
5	16.26055	21	17.10215
6	20.82966	22	18.02699
7	0	23	18.48792
8	0	24	0
9	0	25	0
10	0	26	0
11	20.50837	27	18.75417
12	0	28	17.94363
13	0	29	17.73718
14	0	30	0
15	16.36827	31	0
16	16.29841		

4.4.3 Pemodelan Curah Hujan Gubeng

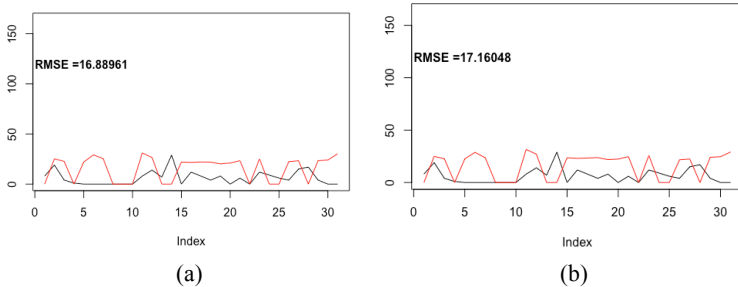
Model terbaik pada pemodelan curah hujan Gubeng diperoleh melalui proses analisis yang sama dengan curah hujan Keputih. Model terbaik pada pemodelan curah hujan Gubeng pada grid 1x1 adalah pemodelan antara curah hujan Gubeng tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) dengan RMSE sebesar 10,189 untuk *marginal distribution* Gamma dan 10,204 untuk *marginal distribution* Weibull. Pada pemodelan curah hujan Gubeng diperoleh RMSE terkecil sebesar 10,133 untuk *marginal distribution* Gamma dan 10,178 untuk *marginal distribution* Weibull. Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3. Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.23 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Gubeng Tanpa Nilai 0

Pengecekan dependensi dari eror yang dihasilkan oleh pemodelan curah hujan Kedungcowek tanpa melibatkan 0 (tidak

hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.21 menghasilkan eror yang independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) mampu mengatasi dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada pos hujan Gubeng.



Gambar 4.24 Prediksi Data Testing CH Gubeng Grid (1x1)

(a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Berdasarkan pengujian data testing diatas dapat diketahui bahwa pemodelan curah hujan Gubeng tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) menggunakan *marginal distribution Gamma* dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = (-43,58 + 1433 PR + 0,1545 TAS + 29,38 HUSS + 0,1125 SFCWIND)^2$$

Berikut merupakan hasil prediksi untuk data *testing*, yakni 1 hingga 31 Desember 2018

Tabel 4.58 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Gubeng

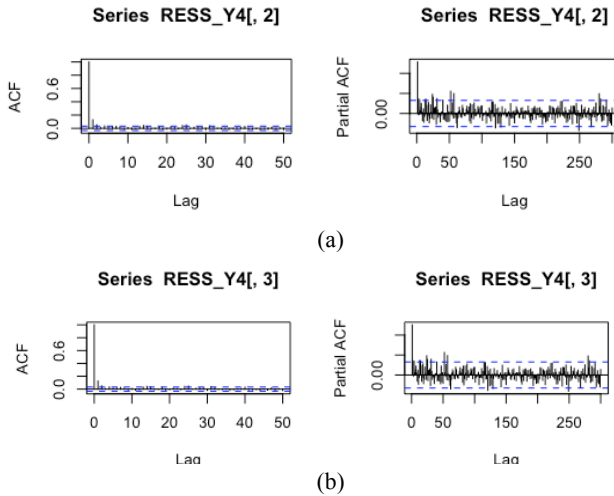
Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	0
2	0	18	0
3	22.62794	19	0
4	21.14452	20	0

Tabel 4.58 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Gubeng (Lanjutan)

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
5	22.03408	21	23.30805
6	29.22417	22	24.94694
7	0	23	25.14387
8	0	24	0
9	0	25	0
10	0	26	0
11	31.08525	27	23.29286
12	0	28	22.6378
13	0	29	23.33943
14	0	30	0
15	21.9521	31	0
16	21.68649		

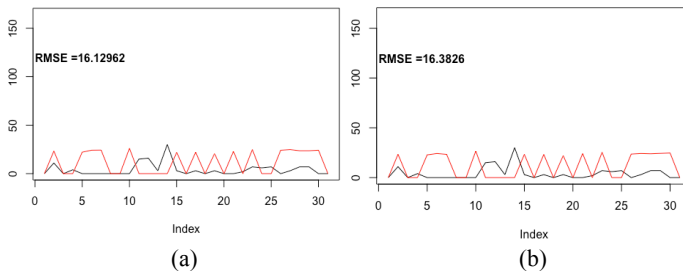
4.4.4 Pemodelan Curah Hujan Wonorejo

Model terbaik pada pemodelan curah hujan Wonorejo diperoleh melalui proses analisis yang sama dengan curah hujan Keputih dan diketahui model terbaik pada pemodelan curah hujan Wonorejo pada grid 1x1 adalah pemodelan antara curah hujan Wonorejo tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) dengan RMSE sebesar 10,006 untuk *marginal distribution* Gamma dan 10,017 untuk *marginal distribution* Weibull. Pada grid 3x3 didapatkan RMSE terbaik untuk *marginal distribution* Gamma adalah 9,983 dan untuk *marginal distribution* Weibull adalah 10,013. Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3. Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.25 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Wonorejo Tanpa Nilai 0

Pengecekan dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.23 menghasilkan eror yang independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) mampu mengatasi dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada data *training* untuk prediksi curah hujan pada pos hujan Wonorejo.



Gambar 4.26 Prediksi Data Testing CH Wonorejo Grid (1x1)

(a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Gambar 4.24 menunjukkan bahwa pemodelan curah hujan Wonorejo tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* menggunakan *marginal distribution Gamma* dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan *marginal distribution Weibull* sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = (-42,62 + 90,65 PR + 0,1535 TAS + 7416 HUSS + 0,1113 SFCWIND)^2$$

Berikut merupakan hasil prediksi untuk data *testing*, yakni 1 hingga 31 Desember 2018

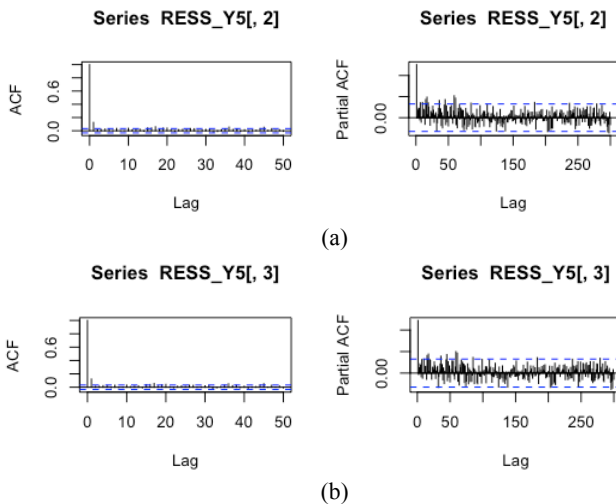
Tabel 4.59 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Wonorejo

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	0
2	0	18	0
3	22.62794	19	0
4	21.14452	20	0
5	22.03408	21	23.30805
6	29.22417	22	24.94694
7	0	23	25.14387
8	0	24	0
9	0	25	0
10	0	26	0
11	31.08525	27	23.29286
12	0	28	22.6378
13	0	29	23.33943
14	0	30	0
15	21.9521	31	0
16	21.68649		

4.4.5 Pemodelan Curah Hujan Wonokromo

Model terbaik pada curah hujan Wonokromo diketahui didapatkan berdasarkan serangkaian penelitian yang dilakukan

seperti curah hujan Keputih. Diketahui model terbaik pada pemodelan curah hujan Wonokromo pada grid 1x1 adalah pemodelan antara curah hujan Wonokromo tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* dengan RMSE sebesar 10,259 untuk *marginal distribution* Gamma dan 10,254 untuk *marginal distribution* Weibull. Pada grid 3x3 didapatkan RMSE terbaik untuk *marginal distribution* Gamma adalah 10,177 dan untuk *marginal distribution* Weibull adalah 10,219. Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3. Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.27 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Wonokromo Tanpa Nilai 0

Pengecekan dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.25 menghasilkan eror yang independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression (GCMR)* mampu

mengatasi dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada data *training* untuk prediksi curah hujan pada pos hujan Wonokromo.



Gambar 4.28 Prediksi Data Testing CH Wonokromo Grid (1x1)
(a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Gambar 4.26 menunjukkan bahwa pemodelan curah hujan Wonokromo tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* menggunakan *marginal distribution Weibull* dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan *marginal distribution Gamma* sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

$$\hat{Y} = (-13,23 + 1463 \text{ PR} + 0,05743 \text{ TAS} + 6,019 \text{ HUSS} + 0,059 \text{ SFCWIND})^2$$

Berikut merupakan hasil prediksi untuk data *testing*, yakni 1 hingga 31 Desember 2018

Tabel 4.60 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Wonokromo

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	24.39561
2	23.76541	18	24.56032
3	23.53271	19	22.66172
4	0	20	23.16512
5	23.999	21	25.48306
6	23.8163	22	0
7	23.1888	23	26.68925

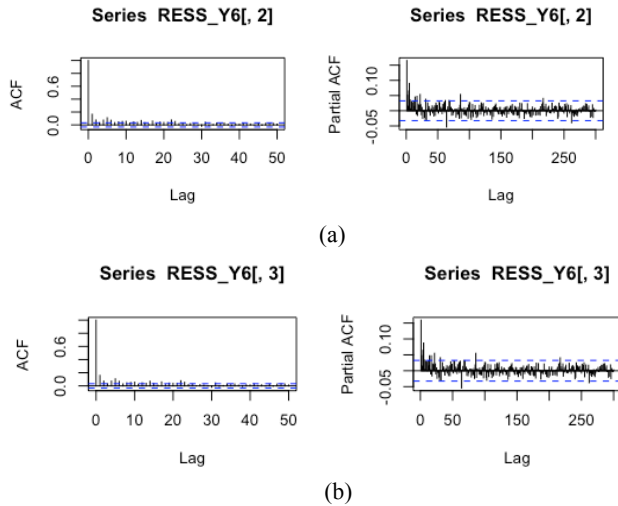
Tabel 4.60 Hasil Prediksi Data *Testing* CH Wonokromo (Lanjutan)

Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
8	0	24	0
9	0	25	0
10	0	26	22.86143
11	32.64005	27	23.60964
12	27.81817	28	0
13	0	29	0
14	0	30	25.46241
15	24.42245	31	30.16141
16	0		

4.4.6 Pemodelan Curah Hujan Gunungsari

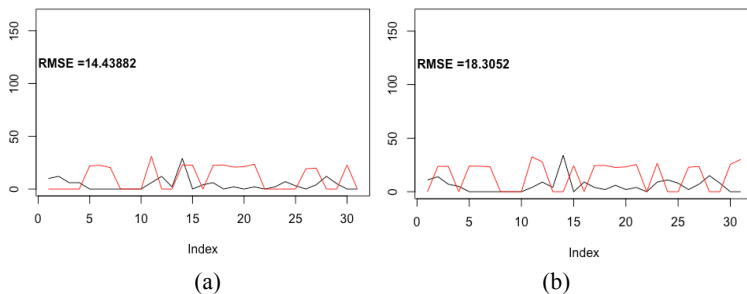
Pemodelan curah hujan di Gunungsari diperoleh hasil bahwa pemodelan curah hujan Gunungsari tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM). Model tersebut diperoleh berdasarkan proses analisis yang sama dengan curah hujan Keputih. RMSE untuk *marginal distribution* Gamma dan *marginal distribution* Weibull berturut – turut adalah 10,355 dan 10,358 pada grid 1x1. Sedangkan untuk grid 3x3 model terbaik adalah dengan menggunakan pemodelan curah hujan Gunungsari lag 1 Gunungsari tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model* (GCM) yakni sebesar 11,239 untuk *marginal distribution* Gamma dan 11,263 untuk *marginal distribution* Weibull.

Namun setelah dilakukan pengujian dengan data *testing* diperoleh pemodelan pada grid 1x1 lebih baik daripada grid 3x3 Untuk mengetahui dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model maka dilakukan pengecekan ACF dan PACF dari model terbaik pada grid 1x1 sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.29 Plot ACF PACF Residual Grid (1x1) CH Gunungsari Tanpa nilai 0

Pengecekan dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model sesuai dengan plot ACF dan PACF Gambar 4.23 menghasilkan eror yang independen sehingga pemodelan dengan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) mampu mengatasi dependensi dari eror yang dihasilkan oleh model. Berikut merupakan hasil pengujian untuk data *testing* dengan menggunakan model terbaik pada data *training* untuk prediksi curah hujan pada pos hujan Gunungsari.



Gambar 4.30 Prediksi Data Testing CH Gunungsari Grid (1x1)
 (a) *Marginal Distribution Gamma* (b) *Marginal Distribution Weibull*

Gambar 4.28 menunjukkan bahwa pemodelan curah hujan Gunungsari tanpa melibatkan 0 (tidak hujan) dengan seluruh variabel *output General Circulation Model (GCM)* menggunakan *marginal distribution Weibull* dapat menghasilkan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan *marginal distribution Gamma* sehingga model yang terbentuk adalah sebagai berikut.

Tabel 4.61 Hasil Prediksi **Tabel 4.60** Hasil Prediksi Data *Testing CH Gunungsari*

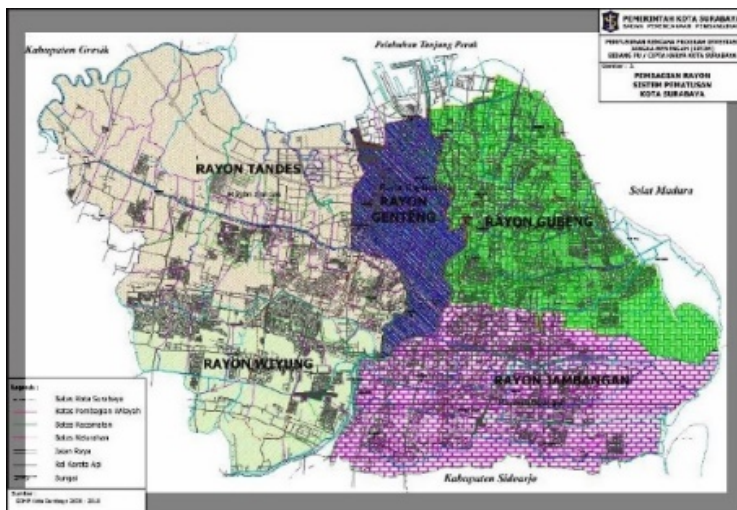
Tanggal	Prediksi	Tanggal	Prediksi
1	0	17	23.51359
2	0	18	24.37284
3	0	19	22.16862
4	0	20	22.20026
5	22.3186	21	24.69104
6	22.30321	22	0
7	19.21278	23	0
8	0	24	0
9	0	25	0
10	0	26	18.67471
11	31.32842	27	19.33783
12	0	28	0
13	0	29	0
14	24.45705	30	23.33844
15	23.93955	31	0
16	0		

4.5 Prediksi Banjir

Salah satu bencana yang selalu terjadi setiap tahunnya di kota Surabaya adalah bencana banjir. Banjir terjadi setiap tahunnya akibat curah hujan yang tinggi. Salah satu pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan memprediksi kapan banjir akan terjadi. Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan

banjir berdasarkan prediksi curah hujan pada masing – masing pos hujan yang berada di kota Surabaya. Berikut merupakan hasil prediksi curah hujan maksimum yang terjadi di bulan Desember 2018.

Berdasarkan perhitungan matematis rasional, ketika Q Hidrologi lebih tinggi daripada Q hidrolika maka tidak berpotensi banjir. Hidrolika dan hidrologi akan dilihat berdasarkan setiap saluran di setiap rayon. Dapat diketahui bahwa berdasarkan PU Binamarga & Pematusan Kota Surabaya dibagi dalam lima rayon dalam pengevaluasian saluran di Kota Surabaya. Ke-lima rayon dapat dilihat berdasarkan gambar berikut.



Gambar 4.31 Rayon PU Binamarga & Pematusan Surabaya

Setiap rayon memiliki saluran sungai (primer maupun sekunder) yang memiliki nilai hidrolika masing-masing. Curah hujan di keenam pos diduga akan berpengaruh terhadap Q hidrologi setiap saluran di Kota Surabaya. Dikarenakan letak pos hujan tidak berada di setiap rayon, maka dari itu perlu dilakukan sinkronisasi antara saluran di setiap rayon berdasarkan letak pos hujan. Sehingga dapat diketahui bahwa saluran di setiap rayon

akan menggunakan curah hujan sesuai lokasi balai (dapat dilihat berdasarkan kecamatan yang sesuai). Sinkronisasi antara lokasi balai terhadap lima rayon dapat dilihat pada Tabel 4.65 berikut.

Tabel 4.61 Sinkronisasi Enam Pos Hujan terhadap Rayon

No	Rayon	Balai	Jumlah Saluran
1	Gubeng	Keputih Ked. Cowek Gubeng	47
2	Genteng	Wonorejo	37
3	Jambangan	Wonokromo	31
4	Wiyung	Gunung Sari	18
5	Tandes	-	37

Tabel 4.65 menunjukkan bahwa pada penelitian ini akan mengamati 4 dari 5 rayon yang ada. Hal ini dikarenakan keenam pos hujan tidak dapat mewakili rayon tandes. Sehingga pada penelitian ini, prediksi banjir dilihat berdasarkan 133 saluran, dimana saluran tersebut terdapat saluran primer dan sekunder.

Berikut merupakan hasil prediksi curah hujan maksimum yang telah dianalisis berdasarkan metode terbaik sebelumnya maka saluran yang berada pada pos hujan ini yang berpeluang untuk terjadi banjir di kota Surabaya.

Tabel 4.62 Hasil Prediksi Curah Hujan Maksimum

Pos Hujan	Curah Hujan Maksimum
Keputih	24,015
Kedungcowek	20,829
Gubeng	31
Wonorejo	200
Wonokromo	100
Gunungsari	31,328

4.5.1 Prediksi Banjir Keputih

Berikut merupakan perhitungan prediksi banjir di Keputih berdasarkan hasil prediksi maksimum curah hujan Keputih.

Tabel 4.63 Perhitungan Banjir di Keputih

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran HKSJN / Kalijudan	0,865	6,121	NOT OK
Saluran Kalijudan	8,251	3,975	OK
Saluran Kalisari Timur	8,251	6,525	OK
Saluran laban Sari	21,426	6,922	OK
Saluran Larangan	63,549	7,583	OK
Saluran Manyar Kertoadi	8,251	5,804	OK
Saluran Manyar Sabrangan	8,251	6,325	OK
Saluran Mulyorejo	119,168	11,553	OK
Saluran Ring Road ITS	35,023	6,711	OK
Saluran Sutorejo	3,413	5,582	NOT OK

Banjir akan terjadi jika Q Hidrologi lebih besar jika dibandingkan dengan Q Hidrolika. Pada saluran yang terletak di wilayah Keputih diketahui bahwa pada saluran tertentu terjadi banjir yakni pada saluran Kalijudan dan Sutorejo.

4.5.2 Prediksi Banjir Kedungcowek

Berikut merupakan perhitungan prediksi banjir di Kedungcowek berdasarkan hasil prediksi curah hujan di pos hujan Kedungcowek.

Tabel 4.64 Perhitungan Banjir di Kedungcowek

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Gading	89,007	5,637	OK
Saluran Jeblokan	103,401	4,975	OK
Saluran Kenjeran AL	103,401	6,749	OK
Saluran Kenjeran Lama	176,32	6,677	OK
Saluran Kenjeran Pantai Ria	53,032	6,515	OK
Saluran Pegirian	307,968	4,145	OK
Saluran Kapas Madya	103,401	7,718	OK
Saluran Kedung Sroko	21,426	8,008	OK
Saluran Putra Agung	63,549	7,296	OK
Saluran Tambaksari	5,503	5,437	OK

Tabel 4.64 Perhitungan Banjir di Kedungcowek (Lanjutan)

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Tambak Segaran	43,214	7,336	OK
Saluran Sidotopo Wetan	7,739	3,952	OK
Saluran Tambak Wedi	862,397	5,542	OK

Kawasan Kedungcowek diprediksi tidak mengalami banjir sebab berdasarkan perhitungan banjir yang didapat dari prediksi curah hujan didapatkan bahwa perhitungan Q Hidrologi lebih kecil sehingga Kedungcowek tidak berpotensi banjir.

4.5.3 Prediksi Banjir Gubeng

Berikut merupakan perhitungan perhitungan banjir di Gubeng.

Tabel 4.65 Perhitungan Banjir di Gubeng

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Jeblokan	89,007	5,991	OK
Saluran Juwingan	16,247	8,472	OK
Saluran Kalibokor	284,374	5,16	OK
Saluran Kalidami	1281,77	8,593	OK
Saluran Kalisari THR	5,503	9,391	NOT OK
Saluran Kamboja	5,503	9,019	NOT OK
Saluran Kampung Seng	11,088	8,402	OK
Saluran Kedung Tarukan	176,32	9,752	OK
Saluran Kertajaya Viaduck	21,426	11,918	OK
Saluran Menur	16,247	8,968	OK
Saluran Mojo	0,3	7,465	NOT OK
Saluran Pacar	5,503	11,38	NOT OK
Saluran Pucang Adi	3,413	9,431	NOT OK
Saluran Pucang Jajar	11,932	7,996	OK
Saluran Pucang Rinenggo	1,842	8,52	NOT OK
Saluran Simokerto / Donorejo	16,247	10,039	OK
Saluran Simolawang	8,251	10,563	NOT OK

Tabel 4.65 Perhitungan Banjir di Gubeng (Lanjutan)

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Slamet	3,413	8,291	NOT OK
Saluran Srikana	8,251	8,164	OK
Saluran Sawah Pulo	5,503	9,893	NOT OK
Saluran Sidoluhur dsk	0,37	7,561	NOT OK
Saluran Sidotopo Lor	53,032	9,601	OK
Saluran Tenggumung karya	0,865	5,138	NOT OK
Saluran Wonosari Lor	4,381	8,431	NOT OK

Berdasarkan perhitungan banjir di Gubeng diketahui bahwa sebagian besar saluran di Gubeng mengalami banjir, saluran yang banjir diantaranya Kalisari, Kamboja, Mojo, Pacar, Pucang Adi, Pucang Rinenggo, Simolawang, Slamet, Sawah Pulo, Sidoluhur, Tenggumung Karya dan Wonosari Lor. Hal ini dikarenakan nilai Q Hidrologi bernilai lebih besar dari Q Hidrolika.

4.5.4 Prediksi Banjir Wonorejo

Berikut merupakan perhitungan perhitungan banjir di Wonorejo berdasarkan hasil prediksi curah hujan di pos hujan Wonorejo.

Tabel 4.66 Perhitungan Banjir di Wonorejo

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Wonorejo III - IV	1,773	35,559	NOT OK
Saluran Jatisari	3,413	62,327	NOT OK
Saluran Kedung Turi	0,37	34,959	NOT OK
Saluran Kedungsari	5,503	46,224	NOT OK
Saluran Indrapura	17,315	61,873	NOT OK
Saluran Rembang	21,426	62,372	NOT OK
Saluran Pelemahan	5.666,167	79,495	OK
Saluran Jl.Semarang	1,042	34,696	NOT OK
Saluran Keputran	4,381	49,328	NOT OK
Saluran Wonorejo I - II	4,615	54,051	NOT OK
Saluran Sumber Mulyo	12,933	64,824	NOT OK

Saluran Tembok Dukuh	304.463,214	92,609	OK
Saluran Jalan Opak	37.311,287	90,064	OK
Saluran Jepara	48,755	74,42	NOT OK
Saluran Dupak Ps.Turi	7,498	53,839	NOT OK
Saluran Kutilang PA.Pesapen	3.396,223	81,005	OK
Saluran Ronggolawe	6,79	46,156	NOT OK
Saluran Mojopahit	1.586,754	69,813	OK
Saluran Bubutan	0,669	43,031	NOT OK
Saluran Embong Malang	1,296	50,651	NOT OK
Saluran Komerling	4,381	76,978	NOT OK
Saluran Petemon Kuburan	3,413	63,907	NOT OK
Saluran Pregolan Bunder	1,842	43,378	NOT OK
Saluran Krembangan Jaya Sel	4,381	62,11	NOT OK
Saluran Ikan Mungsing	4,381	52,816	NOT OK
Saluran Juwono	8,251	65,248	NOT OK
Saluran Embong Kemiri	1,842	43,378	NOT OK
Saluran Keputran	4,381	76,978	NOT OK
Saluran Cempaka	4,381	72,461	NOT OK
Saluran Ciliwung	5,503	60,587	NOT OK
Saluran Ikan Cucut	4,381	51,887	NOT OK
Saluran Anwari	8,251	58,124	NOT OK
Saluran Sriwijaya	121,513	91,344	OK
Saluran Brawijaya	3,722	51,994	NOT OK
Saluran Serayu	156,053	85,741	OK
Saluran Greges	307,968	44,727	OK
Saluran Kali Mas	1.737,545	38,623	OK

Kawasan Wonorejo sebagian besar tergenang. Kawasan yang tidak mengalami banjir adalah hanya pada saluran Palemahan, Tembok Dukuh, Opak, Kutilang, Mojopahit, Sriwijaya, Serayu, Greges, dan Kalimas.

4.5.5 Prediksi Banjir Wonokromo

Berikut merupakan perhitungan prediksi banjir di Wonokromo berdasarkan hasil prediksi maksimum curah hujan Wonokromo.

Tabel 4.67 Perhitungan Banjir di Wonokromo

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Kebon Agung	176,32	10,69	OK
Saluran Avoor Wonorejo	156,053	14,386	OK
Saluran Medokan Ayu	35,023	18,352	NOT OK
Saluran Dukuh Menanggal	16,247	24,705	NOT OK
Saluran Gayungsari	16,247	23,984	NOT OK
Saluran Gayung Kebonsari	18,725	19,062	OK
Saluran Wonokromo Tangkis	24,682	21,689	NOT OK
Saluran Jetis Kulon	1,842	20,997	NOT OK
Saluran Margorejo	1,842	28,506	NOT OK
Saluran Bendul Merisi Timur	16,247	31,294	NOT OK
Saluran Bendul Merisi Besar	16,247	21,177	NOT OK
Saluran Tepi Jl. A. Yani	2,592	18,286	OK
Saluran Jemursari Prapen	24,682	33,394	NOT OK
Saluran Jemur Wonosari	4,381	27,403	NOT OK
Saluran Kutisari	4,381	25,08	NOT OK
Saluran Saroni Jiwo	18,725	26,336	NOT OK
Saluran Kali Rejo	8,251	26,718	OK
Saluran Kali Rungkut	35,023	26,408	NOT OK
Saluran Tenggilis Mejoyo	4,381	32,508	NOT OK
Saluran Rungkut Kidul	21,426	30,887	OK
Saluran Rungkut Asri Lor	35,023	22,441	NOT OK
Saluran Kedung Asem	1,842	20	NOT OK
Saluran Penjaringan Sari	6,79	17,149	OK
Saluran Medokan Semampir	35,023	10,69	OK

Tabel 4.67 Perhitungan Banjir di Wonokromo (Lanjutan)

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Saluran Semolowaru	35,023	20,798	OK
Saluran Manyar	27,879	29,892	NOT OK
Saluran Manyar Rejo	13,985	29,432	NOT OK
Saluran Ngagel Wasono	2,592	32,122	NOT OK
Saluran Kalisumo	137,308	31,433	OK
Saluran Ngagel Jaya Selatan	16,247	27,329	NOT OK
Saluran Krukah	1,296	23,243	NOT OK

Kawasan Wonokromo pada bulan Desember 2018 sebagian besar tergenang banjir. Kawasan yang tidak mengalami banjir hanya pada saluran Kebon Agung, Avoor Wonorejo, Gayung Kebonsari, Tepi Jl. A. Yani, Kali Rejo, Rungkut Kidul, Penjaringan Sari, Medokan Semampir, Semolowaru, Kalisumo, Ngagel Jaya Selatan, Krukah.

4.5.6 Prediksi Banjir Gunungsari

Berikut merupakan perhitungan prediksi banjir di Gunungsari berdasarkan hasil prediksi maksimum curah hujan Gunungsari.

Tabel 4.68 Perhitungan Banjir di Gunungsari

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Lidah wetan - Kulon	89,007	10,268	OK
Jeruk	16,247	8,905	OK
Babadan Indah	1,842	7,182	NOT OK
Babadan Karanganyar	11,932	8,169	OK
Wiyung	27,879	8,181	OK
Menganti	3,413	6,519	NOT OK
Gemol Kedurus	156,053	11,3	OK
Gogor	43,214	11,354	OK
jajar Tunggal	31,324	9,587	OK
Gunung Sari	53,032	8,284	OK
Bogangin I	5,503	7,673	NOT OK

Tabel 4.68 Perhitungan Banjir di Gunungsari (Lanjutan)

Saluran	Q Hidrolika	Q Hidrologi	Ket
Bogangin Baru	2,592	-3,513	NOT OK
Kebraon	6,79	-0,243	NOT OK
Kebraon Manis	6,79	-1,057	NOT OK
Prima Kebraon	11,932	3,383	OK
Pondok Maritim	6,79	-1,845	NOT OK
Karang Klumprik Barat	11,932	3,625	OK
Balas Klumprik	406.711,775	406.697,592	OK

Kawasan Gunungsari diprediksi akan mengalami banjir di beberapa saluran sebab berdasarkan perhitungan banjir yang didapat dari prediksi curah hujan, perhitungan Q Hidrologi lebih kecil dari Q Hidrolika. Kawasan yang banjir diantaranya Babadan Indah, Menganti, Bogangin I, Bogangin Baru, Kebraon, Kebraon Manis, dan Pondok Maritim.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab 4, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Curah hujan di Keputih, Kedungcowek, Gunungsari, Gubeng, Wonokromo dan Wonorejo selama sepuluh tahun terakhir, pada bulan Mei hingga bulan Oktober curah hujan rendah sedangkan bulan November tinggi. Curah hujan tertinggi berada di Keputih.
2. Model terbaik untuk memodelkan curah hujan dengan *output General Circulation Model (GCM)* dengan menggunakan metode *Gaussian Copula Marginal Regression* adalah pada grid 1x1 dengan tidak menggunakan data curah hujan yang bernilai nol.
3. Hasil perhitungan banjir di kota Surabaya menunjukkan bahwa:
 - Pos hujan Kedungcowek tidak terjadi banjir.
 - Pos hujan Keputih akan terjadi banjir pada saluran Kalijudan dan Sutorejo.
 - Pos hujan Gubeng, akan terjadi banjir pada saluran Kalisari, Kamboja, Mojo, Pacar, Pucang Adi, Pucang Rinenggo, Simolawang, Slamet, Sawah Pulo, Sidoluhur, Tenggumung Karya dan Wonosari Lor.
 - Pada pos hujan Wonorejo yang tidak mengalami banjir hanya pada saluran Palemahan, Tembok Dukuh, Opak, Kutilang, Mojopahit, Sriwijaya, Serayu, Greges, dan Kalimas.
 - Pada pos hujan Gunungsari, kawasan yang banjir diantaranya Babadan Indah, Menganti, Bogangin I, Bogangin Baru, Kebraon, Kebraon Manis, dan Pondok Maritim.

5.2 Saran

Saran pada penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan studi literatur lebih dalam mengenai penggunaan *Gaussian Copula Marginal Regression* (GCMR) dalam kasus prediksi karena minimnya referensi. Selain itu, perlu dipertimbangkan pemilihan data *in sample* dan *out sample* dalam melakukan pemodelan secara statistik serta pertimbangan ACF dan PACF untuk menentukan arma cormat yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Mimin, & Budiman. (2011). *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2013). Analisis Curah Hujan Bulan Januari. *BMKG*.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2011). Evaluasi Cuaca dan Sifat Hujan Bulan Agustus 2011 serta Prakiraan Cuaca dan Sifat Hujan Bulan September 2011. *Bulleti meteorologi*.
- Bloch, R., Jha, A. K., & Lamond, J. (2012). *Cities and Floods : Guide to Integrated Management for Urban Flood Risk in 21st Century*. Washington : The World Bank.
- BNPB. (2007). *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. Diakses pada tanggal 10 Februari 2019, dari <https://www.bnpb.go.id/home/definisi>
- BNPB. (2018). *Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. Dipetik Februari 10, 2019, dari <https://www.bnpb.go.id/home/definisi>
- BPS Kota Surabaya. (2017). *Kota Surabaya Dalam Angka*. Surabaya, Jawa Timur, Indonesia: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya.
- Chang, P. C., Wang, Y. W., & Liu, C. H. (2007). The Development of a Wighted Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting. *Expert Systems with Application* , 32, 86-96.
- Departemen Kesehatan RI. (2007). *Penanggulangan Masalah Kesehatan akibat Bencana Banjir bagi pengelola tingkat Kabupaten/Kota* Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia: Departemen Kesehatan RI.
- Johson, R., & Wichern, D. (2002). *Applied Multivariabele Statistical Analysis (5th ed.)*. New York: Prentice Hall.
- Kodoatie, J. R., & Sugiyanto. (2012). *Banjir. Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

- Kodoatie, R. J. (2006). *Pengelolaan Bencana Terpadu*. Jakarta: Yarsif Watampone.
- Kodoatie, R. J. (2013). *Rekayasa Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta: Andi.
- Kpanzou, T. A. (2007). Copula in Statistics. *African Institute for Mathematical Science (AIMS)* .
- Ligal, S. (2008). Pendekatan Pencegahan dan Penanggulangan Banjir. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil* , 8, 2.
- Masarotto, G., & Varin, C. (2012). Gaussian Copula Marginal Regression. *Journal of Statistics* , 6, 1517-1549.
- Mikosch, T. (2006). *Copulas: Tales and Facts*. Laboratory of Actuarial Mathematics, University of Copenhagen, Universitetsparken 5. Denmark.
- Nelsen, R. B. (2005). *An introduction to Copulas: Second Edition*. New York: Springer.
- Okezone. (2019, 02 1). *Surabaya Dikepung Banjir, Puluhan Kendaraan Ikut Tenggelam*. Diakses pada tanggal 22 Februari 2019, dari Okenews:<https://news.okezone.com/read/2019/02/01/519/2012208/surabaya-dikepung-banjir-puluhan-kendaraan-tenggelam>
- Pemerintah Kota Surabaya. (2016). *Penghargaan Kota Surabaya*. Dipetik Februari 15, 2019, dari www.surabaya.go.id
- Rahayu, H. P., Wahdiny, I. I., Utami, A., & Asparini, M. (2009). *Banjir dan Upaya Penanggulangannya*. Bandung: PROMISE Indonesia.
- Schölzel, C., & Friederichs, P. (2008). *Multivariabele Non-Normally Distributed Random Variables in Climate Research*. Germany: University of Born.
- Sklar, A. (1959). Fonctions de Répartition À N Dimensions et Leurs Marges. 8, 229-231.
- Surya. (2018, 10 2). *Surabaya Raih 10 Penghargaan Internasional Dalam 2 Tahun Terakhir Kini Seajar Kota-kota Besar Dunia*. Diakses pada tanggal 21 Februari 2019, dari Surya.co.id:<http://surabaya.tribunnews.com/>

2018/10/02/surabaya-raih-10-penghargaan-internasional-dalam-2-tahunterakhir-kini-sejajar-kota-kota-besar-dunia?page=3

- Voulgaraki, M. (2013). Forecasting Sales and Intervention Analysis of Durable Product in the Greek Market. *London School of Economics and Political Science*.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods* (2nd ed.). New York: Pearson Education, Inc.
- Widiati, A. (2008). Aplikasi Manajemen Risiko Bencana Alam dalam Penataan Ruang Kabupaten Nabire. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*.
- Wigena, A. H. (2006). *Pemodelan Statistical Downscaling dengan Regresi Projection Pursuit untuk Peramalan Curah Hujan Bulanan* (Disertasi ed.). Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Zorita, E., & Von storch, H. (1999). The Analog Method as A Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison With More Complicated Method. *Journal of Climate*, 12, 2474-2489.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Curah Hujan Masing – Masing Pos

Tanggal	CH_Ke putih	CH_Kd Cowek	CH_Gu beng	CH_Wo norejo	CH_Wono kromo	CH_Gn Sari
1/1/09	9	6.7	5	7	8	12
1/2/09	0	8.4	2	4	0	0
1/3/09	6	7.9	13	0	15	16
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/09	15	0	13	23	85	37
12/30/09	15	0	0	0	0	0
12/31/09	0	0	3	0	5	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1/1/12	72	50	69	75	106	102
1/2/12	49	42	53	80	18	9
1/3/12	0	0	0	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/12	20	19	19	20	21	22
12/30/12	45	23	24	40	45	28
12/31/12	48	34	53	45	62	28
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1/1/18	0	0	0	0	0	0
1/2/18	0	0	0	0	0	0
1/3/18	17	16	26	20	28	40
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/18	2	9	4	7	8	5
12/30/18	0	0	0	0	0	0
12/31/18	0	0	0	0	0	0

Lampiran 2. Data *Output* GCM CSIRO Mk3.6

Tanggal	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR8	PR9
1/1/09	1.46E-05	0.000180226	0.000177393	7.01E-05	0.000163293	0.000120931	1.34E-06	4.13E-05	4.97E-05
1/2/09	4.73E-06	0.000136668	0.000100852	1.38E-08	2.47E-05	8.95E-06	1.38E-08	4.80E-06	2.66E-06
1/3/09	1.38E-08	1.95E-05	1.12E-05	1.38E-08	3.31E-05	7.66E-08	1.38E-08	2.00E-05	1.38E-08
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/09	1.38E-08	1.38E-08	8.83E-05	1.38E-08	6.43E-07	4.97E-05	1.38E-08	2.41E-06	4.87E-05
12/30/09	1.38E-08	2.34E-06	3.92E-05	1.38E-08	2.72E-06	5.87E-06	1.38E-08	1.75E-05	2.53E-05
12/31/09	1.38E-08	1.44E-05	4.65E-05	1.38E-08	1.50E-05	1.17E-05	1.38E-08	1.42E-05	1.37E-05
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1/1/12	1.59E-05	0.000345079	0.000365536	1.32E-05	0.000216797	0.000389015	2.03E-07	7.45E-05	0.000325692
1/2/12	5.36E-05	0.000287421	0.000228379	3.19E-05	0.000179093	0.000226176	1.90E-06	0.000167889	0.000255005
1/3/12	0.000139374	0.000187024	0.000185324	9.29E-05	0.00013843	0.000169777	2.80E-05	0.00021195	0.000198983
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/12	0.000150453	0.00044277	0.000386308	0.000195081	0.000451708	0.000354143	0.000185073	0.00035685	0.00027949
12/30/12	9.03E-05	0.000432006	0.000443148	0.000113944	0.000420361	0.00047525	0.000154922	0.000337337	0.000331672
12/31/12	4.13E-05	0.000433265	0.000618639	6.30E-05	0.000412368	0.00053788	8.33E-05	0.000360186	0.000417277
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/29/18	1.38E-08	0.000286729	0.000390085	1.38E-08	0.000256201	0.000274706	1.38E-08	0.000235555	0.000233603
12/30/18	4.52E-05	0.000377181	0.000248836	5.37E-05	0.000273385	0.000103747	7.29E-05	0.000161657	0.000117218
12/31/18	0.000248647	0.000525354	0.000550784	0.00030001	0.00044875	0.000296486	0.000241031	0.000252864	9.97E-05

Lampiran 2. Data *Output* GCM CSIRO Mk3.6 Skenario rcp45
(Lanjutan)

Tanggal	TAS1	TAS2	TAS3	TAS4	TAS5	TAS6	TAS7	TAS8	TAS9
1/1/09	302.41 26	301.67 453	302.29 608	302.30 774	301.79 883	302.36 212	302.32 715	301.89 21	302.41 26
1/2/09	302.83 99	302.02 417	303.01 474	303.03 415	302.50 974	302.68 066	302.93 704	302.70 007	302.83 99
1/3/09	303.36 047	302.44 757	303.29 443	303.27 887	302.77	302.83 603	303.08 853	302.89 432	303.36 047
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/09	302.59 906	301.94 257	303.29 443	302.69 232	301.87 653	303.66 345	302.61 85	301.72 116	302.59 906
12/30/09	302.76 224	302.05 91	303.69 455	302.83 99	302.05 133	303.76 056	302.65 735	301.80 273	302.76 224
12/31/09	302.77 39	301.93 09	304.06 357	302.90 207	301.93 48	304.02 472	302.80 884	301.86 487	302.77 39
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
1/1/12	301.87 265	301.96 98	303.27 5	302.52 14	302.09 796	304.93 762	303.37 213	302.18 732	301.87 265
1/2/12	301.95 422	302.17 175	302.41 65	302.33 88	302.08 243	304.42 096	302.92 538	301.62 015	301.95 422
1/3/12	302.10 57	302.12 128	302.73 505	302.57 578	302.21 063	304.51 42	302.94 482	301.86 877	302.10 57
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/12	301.41 815	302.32 327	300.55 966	301.69 006	302.70 398	300.98 697	301.75 61	302.44 757	301.41 815
12/30/12	301.56 964	301.93 09	300.92 48	301.84 546	302.41 65	301.25 888	301.87 653	302.34 66	301.56 964
12/31/12	301.59 296	301.82 605	301.06 854	301.92 703	302.26 5	301.41 428	301.98 53	302.24 17	301.59 296
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/18	302.16 4	302.10 184	303.43 817	302.42 816	302.23 392	303.39 542	302.29 996	302.21 838	302.16 4
12/30/18	302.30 774	302.43 59	302.82 828	302.42 038	302.59 518	303.27 887	302.46 7	302.57 19	302.30 774
12/31/18	302.10 962	302.12 515	301.24 335	302.22 226	302.71 173	301.53 47	302.30 383	303.07 687	302.10 962

Lampiran 2. Data *Output* GCM CSIRO Mk3.6 Skenario rcp45
(Lanjutan)

Tanggal	HUSS 1	HUSS 2	HUSS 3	HUSS 4	HUSS 5	HUSS 6	HUSS 7	HUSS 8	HUSS 9
1/1/09	0.0170 95584	0.0213 93523	0.0208 33362	0.0202 8874	0.0211 88416	0.0208 34139	0.0174 1024	0.0213 97408	0.0208 34139
1/2/09	0.0162 16885	0.0214 30038	0.0206 08054	0.0181 75509	0.0241 3373	0.0202 8874	0.0161 83477	0.0296 46	0.0202 8563
1/3/09	0.0146 64593	0.0295 27131	0.0202 49892	0.0168 59401	0.0235 09085	0.0197 37901	0.0155 83693	0.0226 12516	0.0199 67869
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12/29/09	0.0130 04309	0.0337 3883	0.0203 09716	0.0121 75332	0.0251 45285	0.0203 8197	0.0114 4347	0.0331 9654	0.0207 40908
12/30/09	0.0129 91877	0.0360 2221	0.0202 77862	0.0126 84216	0.0267 48855	0.0203 75755	0.0117 48801	0.0283 5087	0.0209 11055
12/31/09	0.0134 00539	0.0300 82632	0.0204 58108	0.0124 90762	0.0237 18078	0.0205 06278	0.0120 85985	0.0233 27285	0.0207 57224
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1/1/12	0.0163 67609	0.0210 4857	0.0208 2093	0.0154 7337	0.0209 12608	0.0210 04286	0.0135 25624	0.0217 30708	0.0214 23047
1/2/12	0.0180 03032	0.0209 84862	0.0208 87747	0.0175 26777	0.0207 30032	0.0209 5767	0.0146 47501	0.0211 71324	0.0211 87639
1/3/12	0.0192 72523	0.0213 54677	0.0211 115	0.0183 72847	0.0213 0573	0.0211 42578	0.0159 31755	0.0216 82538	0.0212 53677
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12/29/12	0.0193 24578	0.0211 61223	0.0204 28585	0.0198 0394	0.0211 76763	0.0209 53786	0.0194 25578	0.0212 40469	0.0214 852
12/30/12	0.0197 26247	0.0215 11616	0.0211 39469	0.0200 0283	0.0216 4447	0.0215 45023	0.0194 69861	0.0214 48685	0.0216 00185
12/31/12	0.0193 16807	0.0216 56124	0.0212 68439	0.0195 965	0.0216 58454	0.0216 01738	0.0193 26909	0.0214 9297	0.0217 74216
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
12/29/18	0.0160 63832	0.0215 62893	0.0208 7687	0.0161 78038	0.0214 0673	0.0209 39024	0.0160 615	0.0214 74324	0.0212 99515
12/30/18	0.0176 68176	0.0216 68553	0.0210 16717	0.0188 97269	0.0215 95523	0.0212 1017	0.0187 21685	0.0218 09177	0.0215 28708
12/31/18	0.0198 83962	0.0213 00294	0.0209 16492	0.0200 17592	0.0211 62	0.0210 5867	0.0202 07163	0.0215 31038	0.0215 92416

Lampiran 2. Data *Output* GCM CSIRO Mk3.6 Skenario rcp45
(Lanjutan)

Tanggal	SFCW IND1	SFCW IND 2	SFCW IND 3	SFCW IND 4	SFCW IND 5	SFCW IND 6	SFCW IND 7	SFCW IND 8	SFCW IND 9
1/1/09	2.4010 315	2.6745 071	3.5415 535	1.9970 284	2.2689 514	2.7817 23	1.7359 848	2.3124 619	2.8376 617
1/2/09	2.0234 451	2.3854 904	2.3917 084	1.6660 614	1.7282 143	1.7530 746	1.4827 08	1.5976 906	1.5013 542
1/3/09	2.5408 745	1.7561 836	1.6505 241	1.6598 473	2.1011 39	1.8338 776	1.1859 207	2.3186 76	1.4749 374
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/09	3.5586 472	2.8345 528	4.1615 37	2.7957 077	3.7078 133	5.3300 285	2.2736 13	3.4327 85	5.2010 612
12/30/09	3.2028 16	2.3621 826	3.9921 684	2.7832 756	4.0092 62	5.2725 37	2.5191 23	4.3557 7	5.5009 537
12/31/09	2.9464 302	2.4864 922	5.2973 976	2.3171 234	4.1304 626	5.9204 903	2.5191 23	4.4132 614	5.8692 13
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
1/1/12	2.7211 227	4.9337 997	6.7719 994	2.8221 207	6.6632 31	7.9871 063	2.7553 062	6.6787 68	8.1331 67
1/2/12	1.9970 284	4.1071 55	3.7932 777	2.2238 922	5.5009 537	4.2734 146	2.3155 67	5.6532 288	4.9571 075
1/3/12	1.9737 206	3.6394 463	3.4312 286	2.1850 471	4.7613 22	3.8600 922	2.0560 76	4.7830 772	4.4241 37
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/12	1.6660 614	4.1335 68	6.4052 925	1.7453 079	4.9664 307	6.0028 46	1.5355 377	4.4194 756	4.6603 24
12/30/12	1.8043 518	3.7994 92	6.1597 824	1.6815 987	4.6836 32	6.2343 674	1.4982 452	4.3075 98	5.2399 063
12/31/12	2.2130 165	3.4980 469	6.4689 98	2.0622 902	4.4800 76	6.7129 517	1.7049 065	4.1832 924	5.7837 524
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
12/29/18	2.7957 077	4.6929 55	8.5262 91	2.5424 309	6.0043 983	8.1114 16	2.3202 286	6.4037 36	7.6608 01
12/30/18	1.1750 45	5.6268 16	9.8346 29	1.9239 998	6.3804 283	8.1362 76	1.8307 686	6.1613 39	6.5824 32
12/31/18	3.9812 927	9.9294 17	11.338 753	4.2112 617	9.8144 3	9.7895 7	3.1437 683	7.1573 524	6.7082 9

Lampiran 3. *Syntax R preprocessing* untuk mengambil variabel sesuai ilustrasi pembagian Grid 3x3

```
library(xlsx)
datapr<-read.csv("Desktop/pr.csv",header =
FALSE)
datapr_1<-datapr[,-1:-50]
datapr_2<-datapr_1[,-1:-9]
datapr_3<-datapr_2[,-4:-100]
datapr_4<-datapr_3[,-4:-36]
data<-datapr_4[105217:455808,]
databaru=matrix(nrow=4018,ncol=9)
for(i in 1:4018){
  databaru[i,]=as.matrix(data[(96*i-
52):(96*i-50),])
}
databaru<-write.csv(databaru,
"Desktop/dataPR_a.csv")
```

Lampiran 4. *Syntax R Imputasi Mean*

```
data.all<-read_excel("Desktop/TUGAS AKHIR/0.
DATA DATA/DATA AKAN DIOLAH/DATA_DUMMY.xls")
summary(data.all)
dataGCMR<-data.frame(data.all)
dataGCMR<-
mutate(dataGCMR,dummy=ifelse(month(dataGCMR$Ta
nggal)%in%05:10,0,1))
dataGCMR$dummy=as.factor(dataGCMR$dummy)
dataGCMR<-dataGCMR[1:3621,]
dataGCMR[1:6][dataGCMR[1:6]==0] <-10^(-5)
```

Lampiran 5. *Syntax* R Statistika Deskriptif *Boxplot*

```

data<-DATA_DUMMY
Hari <- strftime(data$Tanggal,"%d")
Bulan <- strftime(data$Tanggal,"%b")
Tahun <- strftime(data$Tanggal,"%Y")
month.abb <-
c("Jan","Feb","Mar","Apr","May","Jun","Jul",
"Aug","Sep","Oct","Nov","Dec")

plot_grid(
  ggplot(data = data) +
    aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_Keputih) +
    labs(x = "Bulan", y = "CH_Keputih") +
    ylim(0.00000,165)+
    geom_boxplot(color = "#0c4c8a", fill =
"#9ecae1") +
    theme_minimal(),
  ggplot(data = data) +
    aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_KdCowek) +
    labs(x = "Bulan", y = "CH_KdCowek") +
    ylim(0.00000,165)+
    geom_boxplot(color = "#ef562d", fill =
"#fec98d") +
    theme_minimal(),
  ggplot(data = data) +
    aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_Gubeng) +
    labs(x = "Bulan", y = "CH_Gubeng") +
    ylim(0.00000,165)+
    geom_boxplot(color = "#41ab5d", fill =
"#c7e9c0") +
    theme_minimal(),
  ggplot(data = data) +
    aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_Wonorejo) +
    labs(x = "Bulan", y = "CH Wonorejo") +

```

Lampiran 5. *Syntax R Statistika Deskriptif Boxplot (lanjutan)*

```

ylim(0.00000,165)+
  geom_boxplot(color = "#0c4c8a", fill =
"#9ecae1") +
  theme_minimal(),
ggplot(data = data) +
  aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_Wonokromo) +
  labs(x = "Bulan", y = "CH_Wonokromo") +
  ylim(0.00000,165)+
  geom_boxplot(color = "#ef562d", fill =
"#fec98d") +
  theme_minimal(),
ggplot(data = data) +
  aes(x = factor(Bulan ,levels =
month.abb), y = data$CH_GnSari) +
  labs(x = "Bulan", y = "CH_Gunungsari") +
  ylim(0.00000,165)+
  geom_boxplot(color = "#41ab5d", fill =
"#c7e9c0") +
  theme_minimal(),
labels = NULL, nrow = 2, ncol = 3)

```

Lampiran 6. *Syntax R Statistika Deskriptif Time Series Plot*

```

CH_Keputih <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_Keputih, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Keputih") +
  geom_line(color = "red") +
  theme_minimal()
CH_Kedungcowek <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_KdCowek, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Kedungcowek") +
  geom_line(color = "pink") +
  theme_minimal()

```


Lampiran 6. *Syntax R Statistika Deskriptif Time Series Plot*
(lanjutan)

```
CH_Gubeng <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_Gubeng, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Gubeng") +
  geom_line(color = "yellow") +
  theme_minimal()
CH_Gunungsari <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_GnSari, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Gunungsari") +
  geom_line(color = "green") +
  theme_minimal()
CH_Wonorejo <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_Wonorejo, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Wonorejo") +
  geom_line(color = "blue") +
  theme_minimal()
CH_Wonokromo <- ggplot(data = data) +
  aes(y = data$CH_Wonokromo, x = Tanggal) +
  ylim(0,150) +
  labs(x="", y = "CH_Wonokromo") +
  geom_line(color = "orange") +
  theme_minimal()
plot_grid(CH_Keputih,CH_Kedungcowek,CH_Gubeng,C
H_Gunungsari,CH_Wonorejo,CH_Wonokromo, nrow =
3)
```

Lampiran 7. *Syntax R Statistika Deskriptif Scatter Plot*

```

a=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR1",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"),shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson",add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
            conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8,cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
b=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR2",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"),shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson",add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
            conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8,cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
c=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR3",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"),shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson",add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
            conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8,cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
d=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR4",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"),shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson",add.params = list(color = "blue",

```

Lampiran 7. *Syntax* R Statistika Deskriptif *Scatter Plot* (Lanjutan)

```

fill = "green"),
      conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8, cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
e=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR5",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"), shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson", add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
            conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8, cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
f=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR6",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"), shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson", add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
            conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8, cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
g=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR7",
            color = "red", palette =
c("#00AFBB"), shape = 21, size = 1,
            add = "reg.line", cor.method =
"pearson", add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),

```

Lampiran 7. *Syntax R Statistika Deskriptif Scatter Plot* (Lanjutan)

```

conf.int = TRUE, cor.coef.size = 8, cor.coef =
TRUE, cor.coeff.args = list(method =
"pearson", label.sep = "\n")
h=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR8",
           color = "red", palette =
c("#00AFBB"), shape = 21, size = 1,
           add = "reg.line", cor.method =
"pearson", add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
           conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8, cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
i=ggscatter(data, y = "CH_Keputih", x =
"PR9",
           color = "red", palette =
c("#00AFBB"), shape = 21, size = 1,
           add = "reg.line", cor.method =
"pearson", add.params = list(color = "blue",
fill = "green"),
           conf.int = TRUE, cor.coef.size =
8, cor.coef = TRUE, cor.coeff.args =
list(method = "pearson", label.sep = "\n"))
plot_grid(a,b,c,d,e,f,g,h,i,nrow=3)

```

Lampiran 8. *Syntax R Principal Component Analysis (PCA)*

```

data<-read_excel("Desktop/TUGAS AKHIR/0. DATA
DATA/DATA AKAN DIOLAH/DATA_DUMMY.xls")
x11 = data$PR1
x12 = data$PR2
x13 = data$PR3
x14 = data$PR4
x15 = data$PR5
x16 = data$PR6
x17 = data$PR7
x18 = data$PR8
x19 = data$PR9
data1<-
as.data.frame(cbind(x11,x12,x13,x14,x15,x16,x1
7,x18,x19))
data.pca1 <- prcomp(data1[,1:9])
summary(data.pca1)
data.pca1
all1=as.data.frame(data.pca1$x)
x11=all1$PC1[1:3621]
x12=all1$PC2[1:3621]

```

Lampiran 9. *Syntax R Data Training*

```

data.all<-read_excel("Desktop/TUGAS AKHIR/0.
DATA DATA/DATA AKAN DIOLAH/DATA_DUMMY.xls")
summary(data.all)
dataGCMR<-data.frame(data.all)
dataGCMR<-
mutate(dataGCMR,dummy=ifelse(month(dataGCMR$Ta
nggal)%in%05:10,0,1))
dataGCMR$dummy=as.factor(dataGCMR$dummy)
dataGCMR<-dataGCMR[1:3621,]
dataGCMR[1:6][dataGCMR[1:6]==0] <-10^(-5)

```

Lampiran 10. Syntax R Pemodelan CH Keputih Univariabel

```

CH1_G1_TAS5<-gcmr(data = dataGCMR,
                  formula = Y1~TAS5,
                  marginal = Gamma.marg(link =
"identity"),
                  cormat = arma.cormat(0,0))
CH1_G2_TAS5<-gcmr(data = dataGCMR,
                  formula = Y1~TAS5,
                  marginal = Gamma.marg(link =
"sqr"),
                  cormat = arma.cormat(0,0))
par(mfrow=c(2,2))
plot(CH1_G1_TAS5)
plot(CH1_G2_TAS5)
summary(CH1_G1_TAS5)
summary(CH1_G2_TAS5)
summary(CH1_W_TAS5)

par(mfrow=c(2,2))
res.CH1_G1_TAS5<-residuals(CH1_G1_TAS5)
res.CH1_G2_TAS5<-residuals(CH1_G2_TAS5)
acf(res.CH1_G1_TAS5,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G1_TAS5,lag.max = 300)
acf(res.CH1_G2_TAS5,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G2_TAS5,lag.max = 300)

par(mfrow=c(1,2))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G1_TAS5=fitted.values(CH1_G1_TAS5)
points(modell1_G1_TAS5,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_TAS5),dataGCMR
$Y1),3)))

```

Lampiran 10. Syntax R Pemodelan CH Keputih Univariabel Lanjutan)

```

text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_TAS5),dataGCMR
$CH_Keputih),3)))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G2_TAS5=fitted.values(CH1_G2_TAS5)
points(modell1_G2_TAS5,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_TAS5),dataGCMR
$Y1),3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_TAS5),dataGCMR
$CH_Keputih),3)))

```

Lampiran 10. Syntax R Pemodelan CH Keputih Univariabel dengan Dummy (lanjutan)

```

CH1_G1_SFCWIND5D<-gcmr(data = dataGCMR,
formula= Y1~SFCWIND5+dummy, marginal=
Gamma.marg(link = "identity"),cormat=
arma.cormat(0,0))
CH1_G2_SFCWIND5D<-gcmr(data = dataGCMR,
formula = Y1~SFCWIND5+dummy, marginal =
Gamma.marg(link = "sqrt"),cormat=
arma.cormat(0,0))
par(mfrow=c(2,2))

plot(CH1_G1_SFCWIND5D)
plot(CH1_G2_SFCWIND5D)
summary(CH1_G1_SFCWIND5D)
summary(CH1_G2_SFCWIND5D)

```

Lampiran 10. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Univariabel dengan Dummy (Lanjutan)

```

par(mfrow=c(1,2))
res.CH1_G1_SFCWIND5D<-
residuals(CH1_G1_SFCWIND5D)
res.CH1_G2_SFCWIND5D<-
residuals(CH1_G2_SFCWIND5D)
acf(res.CH1_G1_SFCWIND5D,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G1_SFCWIND5D,lag.max = 300)
acf(res.CH1_G2_SFCWIND5D,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G2_HUSS5D,lag.max = 300)

par(mfrow=c(1,2))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G1_SFCWIND5D=fitted.values(CH1_G1_SFCWI
ND5D)
points(modell1_G1_SFCWIND5D,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
            round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_SFCWIND5D),dat
aGCMR$Y1),3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE* = ",
            round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_SFCWIND5D),dat
aGCMR$CH_Keputih),3)))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G2_SFCWIND5D=fitted.values(CH1_G2_SFCWI
ND5D)
points(modell1_G2_SFCWIND5D,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
            round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_SFCWIND5D),dat
aGCMR$Y1),3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE* = ",

```


Lampiran 10. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Univariabel dengan Dummy (lanjutan)

```
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_SFCWIND5D), dat
aGCMR$Y1), 3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_SFCWIND5D), dat
aGCMR$CH_Keputih), 3)))
```

Lampiran 11. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Multivariabel

```
CH1_G1_ALL5<-gcmr(data = dataGCMR,
                  formula =
Y1~PR5+PR5+HUSS5+SFCWIND5,
                  marginal = Gamma.marg(link =
"identity"),
                  cormat = arma.cormat(0,0))
CH1_G2_ALL5<-gcmr(data = dataGCMR,
                  formula =
Y1~PR5+PR5+HUSS5+SFCWIND5,
                  marginal = Gamma.marg(link =
"sqrt"),
                  cormat = arma.cormat(0,0))
par(mfrow=c(2,2))
plot(CH1_G1_ALL5)
plot(CH1_G2_ALL5)
summary(CH1_G1_ALL5)
summary(CH1_G2_ALL5)

par(mfrow=c(2,2))
res.CH1_G1_ALL5<-residuals(CH1_G1_ALL5)
res.CH1_G2_ALL5<-residuals(CH1_G2_ALL5)
acf(res.CH1_G1_ALL5,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G1_ALL5,lag.max = 300)
acf(res.CH1_G2_ALL5,lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G2_ALL5,lag.max = 300)
```

Lampiran 11. Syntax R Pemodelan Curah Hujan Keputih Multivariabel (Lanjutan)

```
par(mfrow=c(1,2))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G1_ALL5=fitted.values(CH1_G1_ALL5)
points(modell1_G1_ALL5,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_ALL5),dataGCMR
$Y1),3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_ALL5),dataGCMR
$CH_Keputih),3)))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G2_ALL5=fitted.values(CH1_G2_ALL5)
points(modell1_G2_ALL5,col="red")
text(100,160,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_ALL5),dataGCMR
$Y1),3)))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_ALL5),dataGCMR
$CH_Keputih),3)))
```

Lampiran 12. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Multivariabel dan Dummy

```

CH1_G1_ALL5D<-gcmr(data = dataGCMR, formula =
Y1~PR5+PR5+HUSS5+SFCWIND5+dummy, marginal =
Gamma.marg(link = "identity"), cormat =
arma.cormat(0,0))
CH1_G2_ALL5D<-gcmr(data = dataGCMR, formula =
Y1~PR5+PR5+HUSS5+SFCWIND5+dummy, marginal =
Gamma.marg(link = "sqrt"), cormat=
arma.cormat(0,0))
summary(CH1_G1_ALL5D)
summary(CH1_G2_ALL5D)
par(mfrow=c(1,2))
res.CH1_G1_ALL5D<-residuals(CH1_G1_ALL5D)
res.CH1_G2_ALL5D<-residuals(CH1_G2_ALL5D)
acf(res.CH1_G1_ALL5D, lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G1_ALL5D, lag.max = 300)
acf(res.CH1_G2_ALL5D, lag.max = 50)
pacf(res.CH1_G2_ALL5D, lag.max = 300)
par(mfrow=c(1,2))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G1_ALL5D=fitted.values(CH1_G1_ALL5D)
points(modell1_G1_ALL5D, col="red")
text(100,160, font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_ALL5D), dataGC
MR$Y1), 3)))
text(100,150, font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G1_ALL5D), dataGC
MR$CH_Keputih), 3)))
plot(dataGCMR$Y1, type = "l")
modell1_G2_ALL5D=fitted.values(CH1_G2_ALL5D)
points(modell1_G2_ALL5D, col="red")
text(100,160, font = 2, adj = 0, cex=1,
      paste0("RMSE = ",

```

Lampiran 12. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Multivariabel dan Dummy Grid 1x1 (Lanjutan)

```
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_ALL5D),dataGC
MR$Y1),3))
text(100,150,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(CH1_G2_ALL5D),dataGC
MR$CH_Keputih),3))
```

Lampiran 13. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Multivariabel dan Dummy Grid 1x1 dan Lag

```
Y1_Gamma_G1<-gcmr(data = dataPRED,formula =
Y1[2:length(Y1)]~ Y1[1:length(Y1)-1]+
PR5[2:length(PR5)]+ TAS5[2:length(TAS5)]+
HUSS5[2:length(HUSS5)]+SFCWIND5[2:length(SFCW
IND5)], marginal = Gamma.marg(link = "sqrt"),
cormat = arma.cormat(0,0)
Y1_Weibull_G1<-gcmr(data = dataPRED, formula
= Y1[2:length(Y1)]~ Y1[1:length(Y1)-1]+
PR5[2:length(PR5)]+ TAS5[2:length(TAS5)]+
[2:length(HUSS5)]+SFCWIND5[2:length(SFCWIND5)
], marginal = weibull.marg(link =
"sqrt"),cormat = arma.cormat(0,0)
summary(Y1_Gamma_G1)
summary(Y1_Weibull_G1)
par(mfrow=c(2,2))
res.Y1_Gamma_G1<-residuals(Y1_Gamma_G1)
res.Y1_Weibull_G1<-residuals(Y1_Weibull_G1)
acf(res.Y1_Gamma_G1,lag.max = 50)
pacf(res.Y1_Gamma_G1,lag.max = 300)
acf(res.Y1_Weibull_G1,lag.max = 50)
pacf(res.Y1_Weibull_G1,lag.max = 300)
par(mfrow=c(1,2))
plot(dataPRED$Y5, type = "l")
modell1_G1_ALL5D_1=fitted.values(Y1_Gamma_G1)
points(modell1_G1_ALL5D_1,col="red")
```

Lampiran 13. *Syntax R* Pemodelan CH Keputih Multivariabel dan Dummy Grid 1x1 dan Lag (Lanjutan)

```

text(100,110,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(Y1_Gamma_G1),dataPRE
D$Y1[2:3621]),3)))
text(100,100,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(Y1_Gamma_G1),dataPRE
D$CH_Keputih[2:3621]),3)))
plot(dataPRED$Y5, type = "l")
modell1_G2_ALL5D_1=fitted.values(Y1_Weibull_G1
)
points(modell1_G2_ALL5D_1,col="red")
text(100,110,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE = ",
round(RMSE(fitted.values(Y1_Weibull_G1),dataP
RED$Y1[2:3621]),3)))
text(100,100,font = 2, adj = 0, cex=1,
     paste0("RMSE* = ",
round(RMSE(fitted.values(Y1_Weibull_G1),dataP
RED$CH_Keputih[2:3621]),3)))

```

Lampiran 14. *Syntax R* Prediksi GCMR

```

yhat3 <-
(coef(Y1_WNA_GR1)[[1]]+(coef(Y1_WNA_GR1)[[2]]
*TEST_Data$PR5)+(coef(Y1_WNA_GR1)[[3]]*TEST_D
ata$TAS5)+
(coef(Y1_WNA_GR1)[[4]]*TEST_Data$HUSS5)+
(coef(Y1_WNA_GR1)[[5]]*TEST_Data$SFCWIND5))^2
View(yhat3)
par(mfrow=c(1,1))
plot(TEST_Data$CH_Keputih, type = "l", ylab =
"",ylim = c(0,164))
points(yhat3, col="red" )
text(0,120, font = 2, adj = 0, cex = 1,

```

Lampiran 14. Syntax R Prediksi GCMR (lanjutan)

```

paste0("RMSE =",
round(RMSE(yhat3,TEST_Data$CH_Keputih),5))

H1 = c(0,1,0,0,1,1,0,1,0,1,
        1,1,0,0,1,1,1,0,1,0,
        0,0,0,0,0,1,1,0,1,1,
        0)
for (i in 1:31){
  if (H1[i]==0){
    yhat3[i]=0
  }
}

```

Lampiran 15. Syntax R Mengubah Nilai 0 menjadi NA

```

data.all<-read_excel("Desktop/TUGAS AKHIR/0.0
DATA DATA/DATA AKAN DIOLAH/DATA_DUMMY.xls")
summary(data.all)
PRED_Data<-data.frame(data.all)
PRED_Data<-
mutate(PRED_Data,dummy=ifelse(month(PRED_Data
$Tanggal)%in%05:10,0,1))
PRED_Data$dummy=as.factor(PRED_Data$dummy)
PRED_Data<-PRED_Data[1:3621,]
PRED_Data[2:7][PRED_Data[2:7]==0] <- NA
View(PRED_Data)

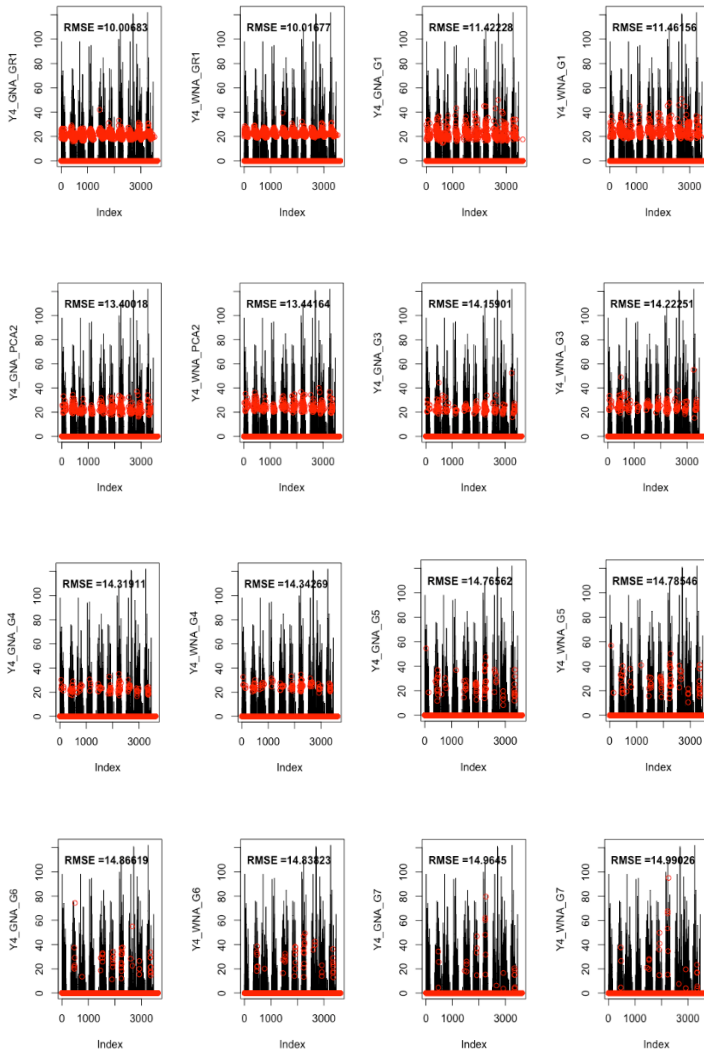
```

Lampiran 16. *Syntax R* Lag ARIMA

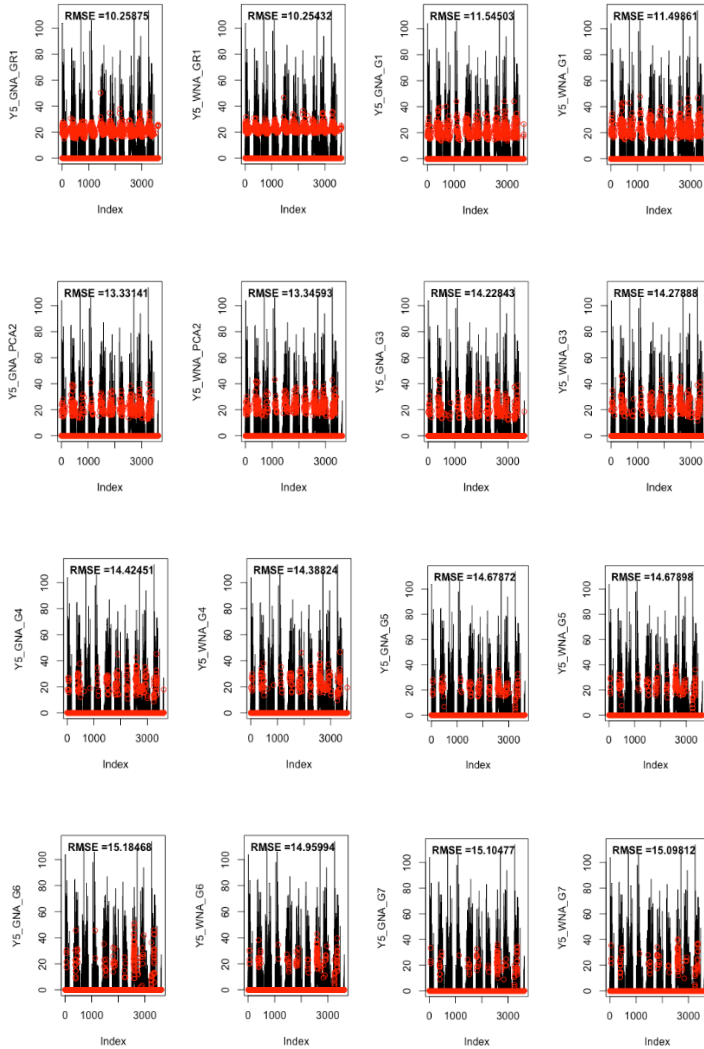
```

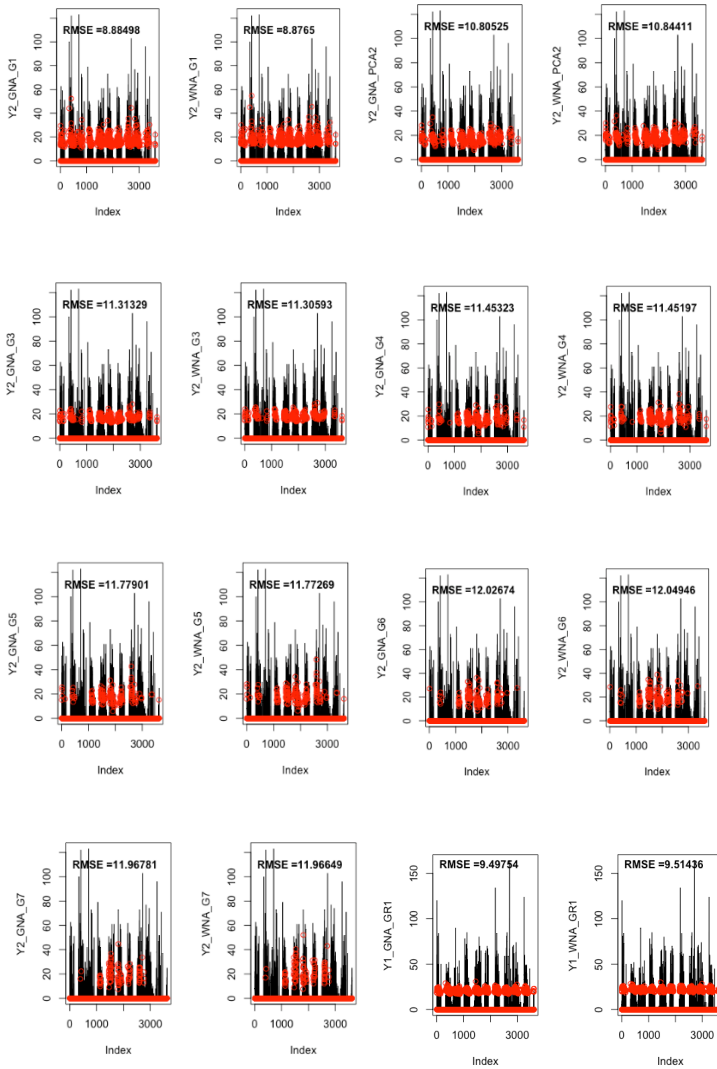
LAG_DATA=cbind.data.frame(Y1[(21921):(length(
Y1)-1)], Y1[(2192365):(length(Y1)-365)],
Y1[(2192-366):(length(Y1)-366)],Y1[(2192-
730):(length(Y1)-730)], Y1[(2192 731):
(length(Y1)-731)], Y1[(21921095):(length(Y1)-
1095)], Y1[(2192-1096):(length(Y1)-1096)],
Y1[(2192-1460):(length(Y1)-1460)],Y1[(2192-
1461):(length(Y1)-1461)], Y1[(2192-1825):
(length(Y1)-1825)], Y1[(2192-1826):(length
(Y1)-1826)], Y1[(2192-2190):(length(Y1)
2190)], Y1[(2192-2191):(length(Y1)-2191)])
colnames(LAG_DATA)=c("Y1_1", "Y1_365", "Y1_366"
, "Y1_lag730", "Y1_lag731", "Y1_1095", "Y1_1096",
"Y1_1460", "Y1_1461", "Y1_1825", "Y1_1826", "Y1_2
190", "Y1_2191")
View(LAG_DATA)
DATALAG= cbind(TRAIN[2192:3621,],LAG_DATA
[1:1430,])
View(DATALAG)
DATALAG=DATALAG[1:1430,]
DATALAG[2][DATALAG[2]==0] <-NA
View(DATALAG)

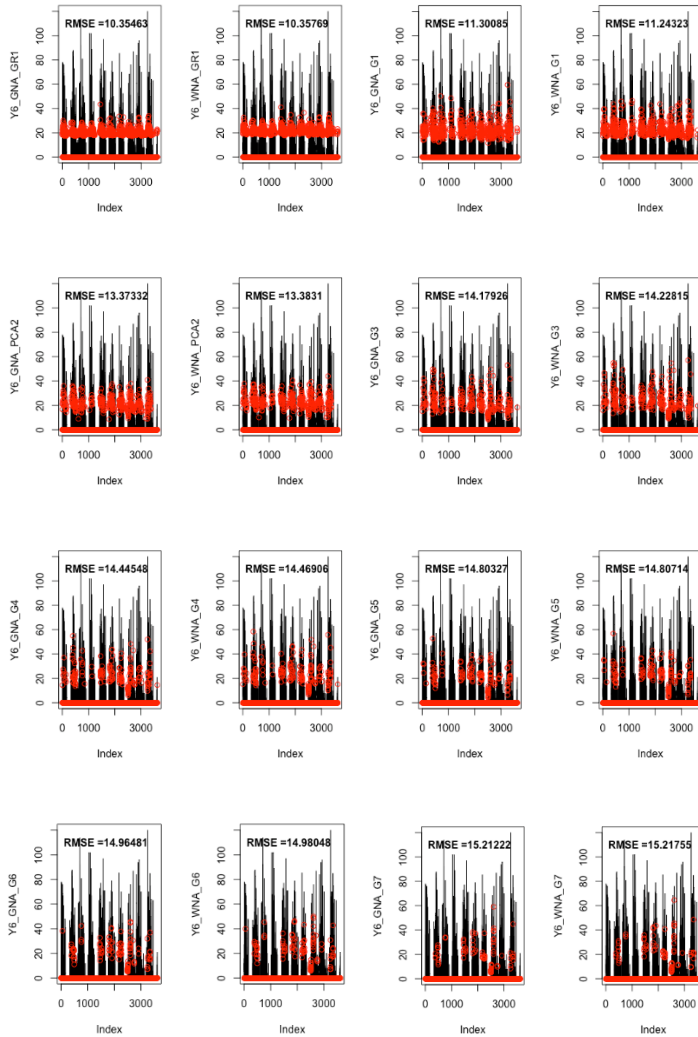
```

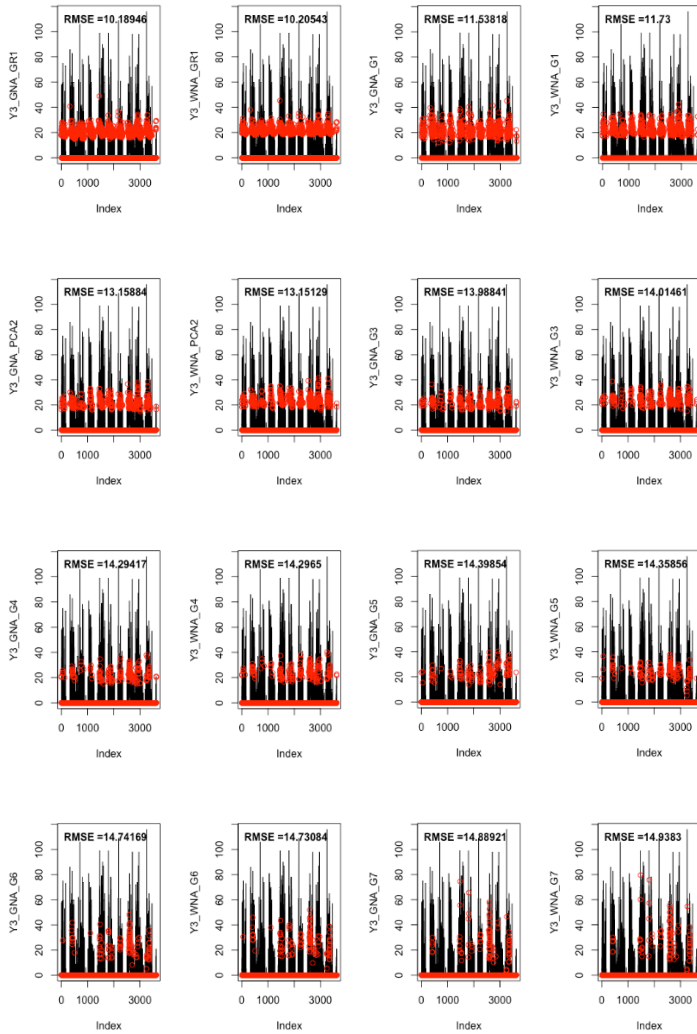
Lampiran 17. RMSE Wonorejo GRID 1X1 NA

Lampiran 18. RMSE Wonokromo GRID 1X1 NA

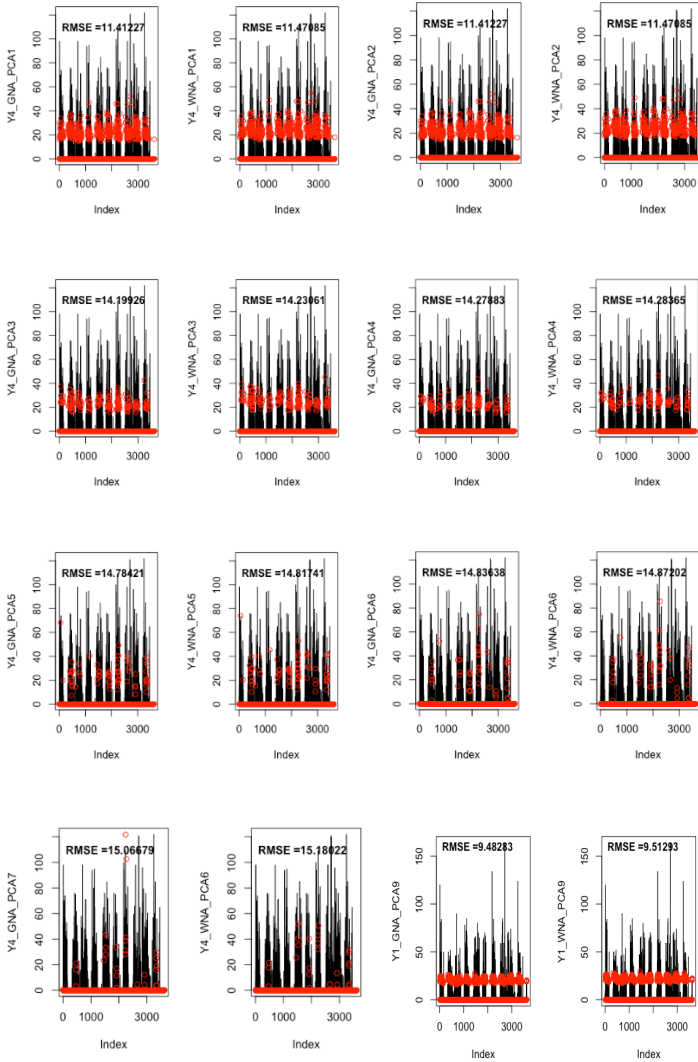


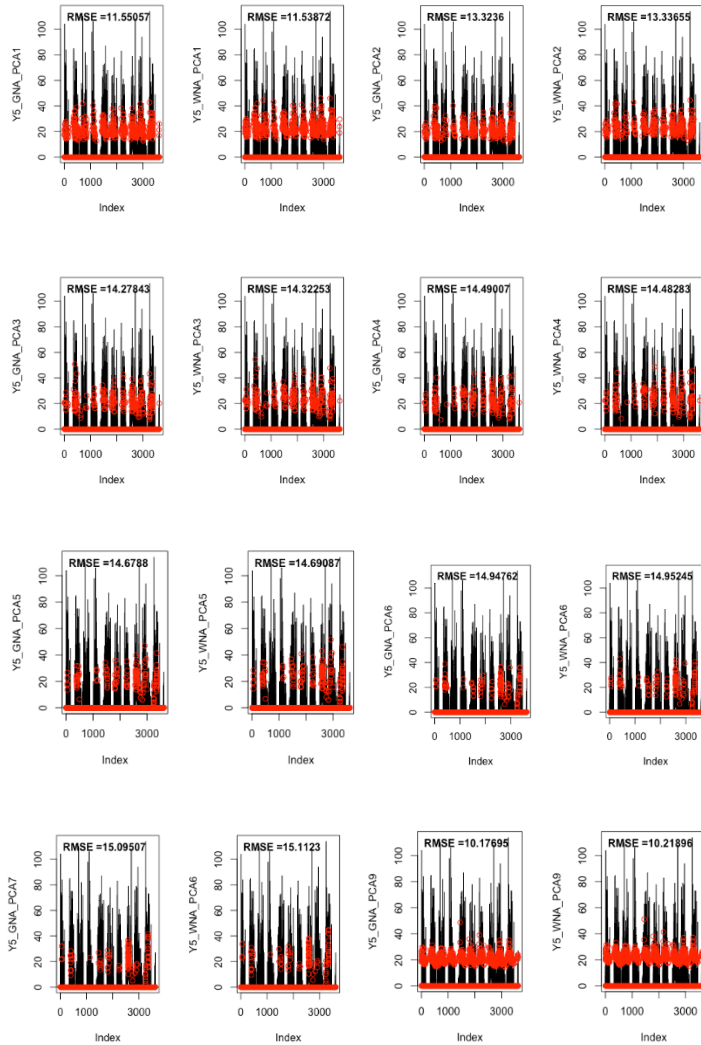
Lampiran 19. RMSE Kedungcowek GRID 1X1 NA

Lampiran 20. RMSE Gunung Sari GRID 1X1 NA

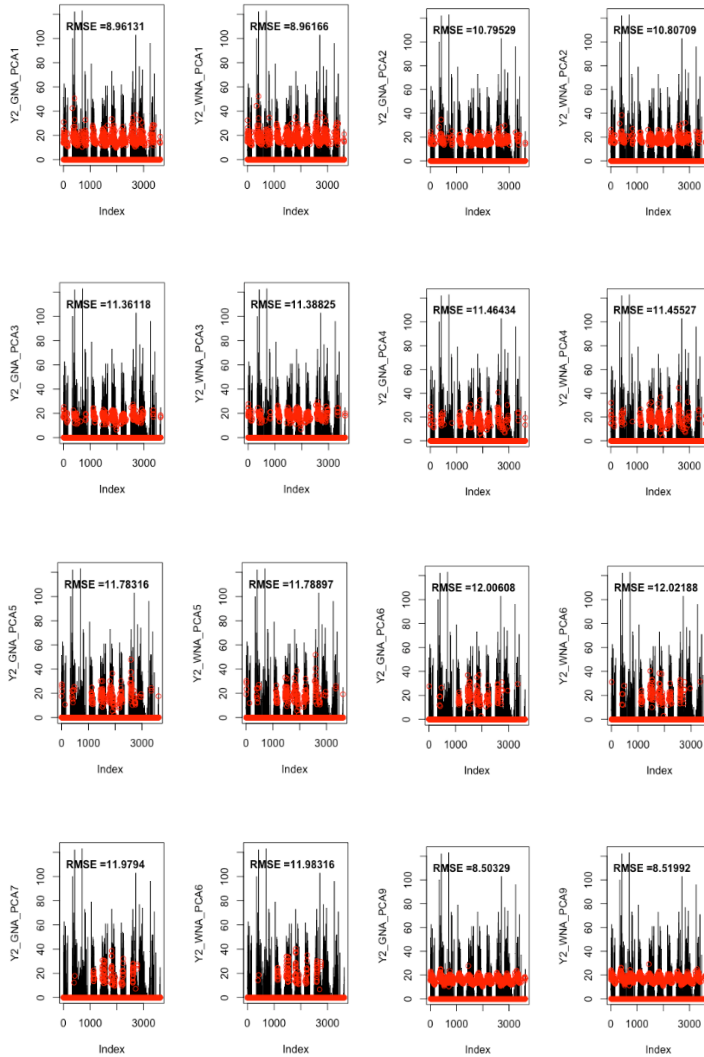
Lampiran 21. RMSE Gubeng GRID 1X1 NA

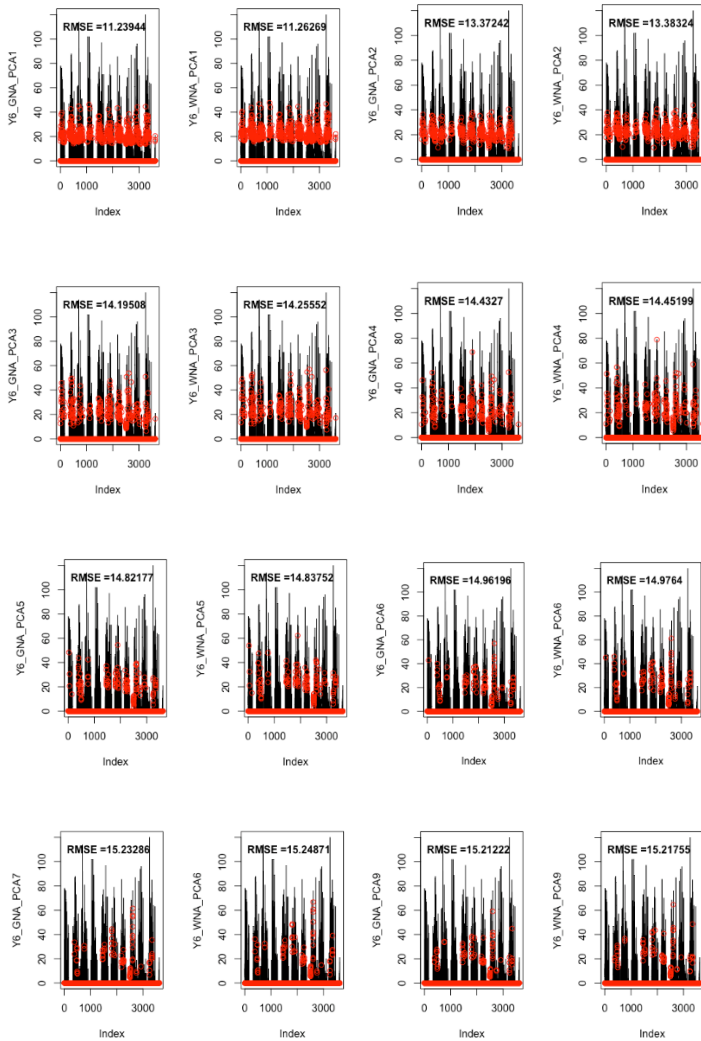
Lampiran 22. RMSE Wonorejo GRID 3X3 NA



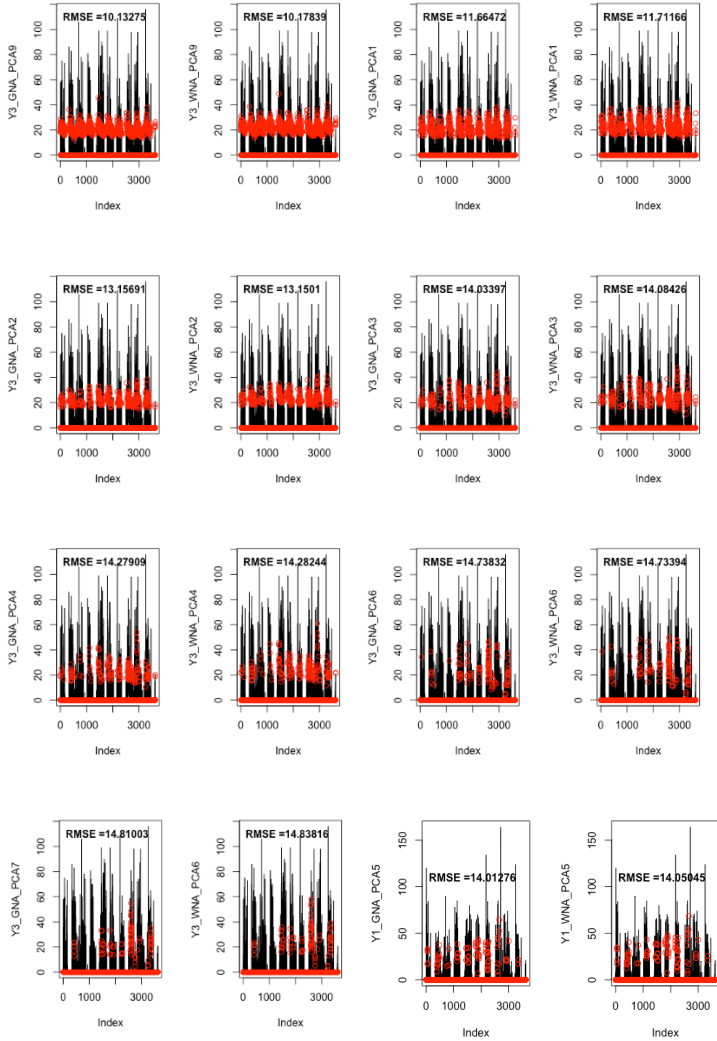
Lampiran 23. RMSE Wonokromo GRID 3X3 NA

Lampiran 24. RMSE Kedungcowek GRID 3X3 NA



Lampiran 25. RMSE Gunung Sari GRID 3X3 NA

Lampiran 26. RMSE Gubeng GRID 3X3 NA



Lampiran 27. *Output R Model Terbaik Pos Hujan Keputih*

Coefficients marginal model:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.541e+00	2.742e-05	-1.291e+05	< 2e-16 ***
PR5	1.870e+02	1.038e-06	1.802e+08	< 2e-16 ***
TAS5	2.409e-02	5.199e-04	4.634e+01	< 2e-16 ***
HUSS5	1.306e+01	2.361e-05	5.533e+05	< 2e-16 ***
SFCWIND5	1.040e-01	3.143e-02	3.308e+00	0.000939 ***
shape	1.472e+00	6.095e-02	2.416e+01	< 2e-16 ***
No coefficients in the Gaussian copula				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
log likelihood = 3853.4, AIC = 7718.8				

Lampiran 28. *Output R Model Terbaik Pos Hujan Kedungcowek*

Coefficients marginal model:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-2.672e+01	2.443e-05	-1.094e+06	< 2e-16 ***
PR5	6.051e+02	9.233e-07	6.553e+08	< 2e-16 ***
TAS5	9.847e-02	4.439e-04	2.218e+02	< 2e-16 ***
HUSS5	1.905e+01	1.804e-05	1.056e+06	< 2e-16 ***
SFCWIND	9.769e-02	2.695e-02	3.625e+00	0.000289 ***
shape	1.326e+00	4.982e-02	2.662e+01	< 2e-16 ***
No coefficients in the Gaussian copula				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
log likelihood = 4334.6, AIC = 8681.2				

Lampiran 29. Output R Model Terbaik Pos Hujan Gubeng

Coefficients marginal model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.358e+01	2.636e-05	-1.653e+06	< 2e-16 ***
PR5	1.433e+03	7.851e-07	1.825e+09	< 2e-16 ***
TAS5	1.545e-01	4.670e-04	3.309e+02	< 2e-16 ***
HUSS5	2.938e+01	1.920e-05	1.530e+06	< 2e-16 ***
SFCWIND5	1.125e-01	2.828e-02	3.979e+00	6.92e-05 ***
shape	1.505e+00	5.746e-02	2.620e+01	< 2e-16 ***

No coefficients in the Gaussian copula

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

log likelihood = 4523.6, AIC = 9059.2

Lampiran 30. Output R Model Terbaik Pos Hujan Wonorejo

Coefficients marginal model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.262e+01	2.990e-05	-1.425e+06	< 2e-16 ***
PR5	9.065e+02	1.026e-06	8.835e+08	< 2e-16 ***
TAS5	1.535e-01	5.306e-04	2.893e+02	< 2e-16 ***
HUSS5	7.416e+00	2.324e-05	3.191e+05	< 2e-16 ***
SFCWIND5	1.113e-01	3.250e-02	3.426e+00	0.000613 ***
shape	1.404e+00	5.685e-02	2.469e+01	< 2e-16 ***

No coefficients in the Gaussian copula

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

log likelihood = 4020, AIC = 8052

Lampiran 31. *Output R Model Terbaik Pos Hujan Wonokromo*

Coefficients marginal model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.323e+01	2.574e-05	-5.140e+05	<2e-16 ***
PR5	1.463e+03	8.159e-07	1.793e+09	<2e-16 ***
TAS5	5.743e-02	5.043e-04	1.139e+02	<2e-16 ***
HUSS5	6.019e+00	2.424e-05	2.483e+05	<2e-16 ***
SFCWIND5	5.921e-02	3.003e-02	1.972e+00	0.0486 *
shape	1.233e+00	2.785e-02	4.428e+01	<2e-16 ***

No coefficients in the Gaussian copula

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

log likelihood = 4420.7, AIC = 8853.4

Lampiran 32. *Output R Model Terbaik Pos Hujan Gunungsari*

Coefficients marginal model:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	3.897e+01	2.663e-05	1.464e+06	<2e-16 ***
PR5	1.685e+03	7.517e-07	2.241e+09	<2e-16 ***
TAS5	-1.152e-01	5.064e-04	-2.274e+02	<2e-16 ***
HUSS5	1.406e+01	2.595e-05	5.417e+05	<2e-16 ***
SFCWIND5	-1.313e-02	3.042e-02	-4.320e-01	0.666
shape	1.172e+00	2.645e-02	4.430e+01	<2e-16 ***

No coefficients in the Gaussian copula

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

log likelihood = 4486.6, AIC = 8985.1

Lampiran 33. Surat Keterangan Pengambilan Data Tugas Akhir**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMKSD ITS:

Nama : Devita Prima Vernanda

NRP : 06211540000115

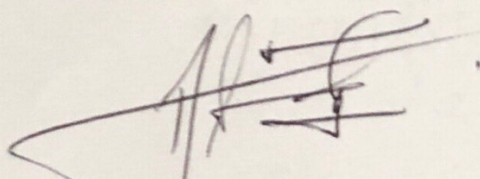
menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir/ Thesis ini merupakan data sekunder yang diambil dari publikasi yaitu :

Sumber : <https://cera-www.dkrz.de/>

Keterangan : Variabel klimatologi meliputi *Precipitable Water* (PR), Temperatur Udara (TAS), Kelembaban Spesifik (HUSS), dan Kecepatan Angin (SFCWIND)

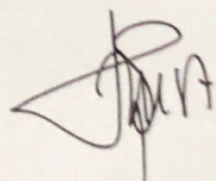
Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. rer. pol. Dedy Dwi P., S.Si., M.Si.
NIP. 19831204 200812 1 002

Surabaya, 2 Juli 2019



Devita Prima Vernanda
NRP. 06211540000115

*(coret yang tidak perlu)

Lampiran 34. Surat Keterangan Pengambilan Data Tugas Akhir

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : DEVITA PRIMA VERNANDA

NRP : 06211540000115

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : Dinas PU Bina Marga & Pematusan Kota Surabaya

Divisi/ bagian : Penyusunan Program dan Pelaporan

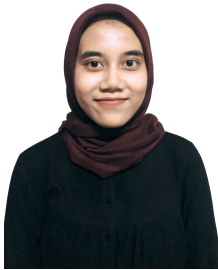
sejak tanggal 1 Maret 2019 sampai dengan 30 April 2019 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2018/ 2019.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 3 Juli 2019
Pimpinan Perusahaan



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Blitar, 23 Juni 1997 dengan nama lengkap Devita Prima Vernanda. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Tawangsari 3 Sidoarjo, SMP Negeri 32 Surabaya, SMA AL-Hikmah Surabaya dan meneruskan pendidikannya di Departemen Statistika ITS melalui jalur Mandiri tahun 2015. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai organisasi baik ditingkat departemen maupun tingkat institut, seperti menjadi staff di Departemen Dalam Negeri HIMASTA-ITS pada 2016-2017, staff Kementerian PSDM BEM – ITS Wahana Juang 2017-2018, Kabiro Departemen PSDM HIMASTA-ITS 2017-2018, dan Sekretaris Kementerian PSDM BEM-ITS Gelora Aksi 2019-2018. Tidak hanya aktif di berbagai organisasi di ITS, penulis juga aktif di berbagai kegiatan di KM ITS seperti Bendahara Gerigi ITS 2016, Staff Kestari ITS Expo 2016, dan PJ Region Surabaya STATION 2017.