



**KAJIAN PANJANG DATA HISTORIS YANG
REPRESENTATIF PADA MODEL STOKASTIK**

TESIS

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh:

Setiarso Gunawan
NIM: L4.A0.00.032

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2005**



KAJIAN PANJANG DATA HISTORIS YANG REPRESENTATIF PADA MODEL STOKASTIK

Disusun Oleh:

Setiarso Gunawan
NIM: L4.A0.00.032

Dipertahankan di Depan Penguji Tanggal :
22 Maret 2005

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

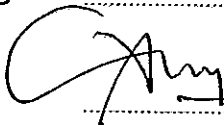
Ketua : Ir. Sri Eko Wahyuni, MS 

Sekretaris : Dr. Ir. Suharyanto, M.Sc 

Anggota :

1. Dr. Ir. Suripin, M.Eng 

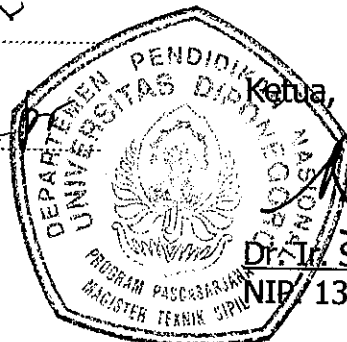
2. Ir. Pranoto SA, MS 

3. Ir. Sumbogo, MT 

Semarang, 22 Maret 2005

Magister Teknik Sipil

PPS UNDIP



Ketua,
Dr. Ir. Suripin, M.Eng
NIP. 131.668.511

Dari Kumpulan Puisi – Enam Matahari

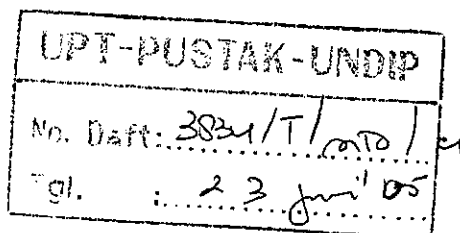
KAMI JAWAB !

bisa saja kelengangan di antara kami menjadi syarat
menjadi bukti kemerosotan waktu menuju lorong mereka
lantas ada seseorang mendesak kami memojokkan
mengambil luas beserta tiga sudutnya dalam ruang
pisaunya menyinggung daging kami !
dia katakan kami hanya dua sosok terapung limbung
dalam bejana berisi cairan sari penderitaan
dia katakan kami hanya dua sosok terapung gembung
dalam aliran limbah kepercayaan

kami jawab !
biarkan aku membela dirinya yang buat kami cukup nyeri
membuka diri
tiap kejujuran berarti mendekat tempuh mati
biarkan aku membela dirinya meski pada akhirnya
tak ada gunanya
tapi inilah kami !

menempuh hidup tidak berarti menang atau lumpuh
hidup hanyalah berinti pada hati
kami tidak bisa pisah meski oleh kekuasaan seribu kerajaan mereka !
tiap detik kami hilang dan ada
itu urusan kami !

26-11-1987



Persembahan untuk :
Iin istriku tercinta
Jenif, Dimas, Kevin anakku tersayang
Bapakku-sumber pengabdian
Ibuku-kasih sayang sepanjang masa

KATA PENGANTAR

Stokastik merupakan suatu kata yang sangat menarik. Dengan satu kata: stokastik itulah penulis tergerak melakukan penelitian ini. Stokastik identik dengan ketidakpastian. Dengan ketidakpastian, seorang ahli hidrologi berkesempatan untuk mengubahnya menjadi lebih dapat diprediksi, sehingga fenomena hidrologi berguna untuk ditulis dan dijabarkan. Meskipun proses stokastik adalah salah satu bagian dari proses hidrologi yang sangat penting, tetapi masih terdapat bagian yang belum selesai dijelaskan secara detail. Misalnya tentang jumlah data minimal yang diperbolehkan untuk dipakai sebagai data historis dalam pembangkitan data sintetik.

Banyak tulisan mengenai seberapa panjang data awal untuk analisis hidrologi. Tetapi berapa panjang data asli untuk pembangkitan data, belum dapat ditentukan. Dalam hal panjang data untuk analisis hidrologi, penelitian oleh Sri Harto (1986) menemukan bahwa penyimpangan 3 % terjadi pada jumlah data 6 buah. Warsini (1987) menyebutkan studi yang dilakukan Binie, sebaiknya data untuk analisis hidrologi lebih dari 20 buah, karena data tersebut dapat menyimpang lebih besar dari 3 %. Soewarno (1995) menyarankan menggunakan jumlah data lebih dari 30 tahun. Ada pun penelitian oleh Solomon (1970) di Canada menjelaskan bahwa dibutuhkan panjang data 40 tahun untuk terbebas dari penyimpangan 3 %.

Dalam hal panjang data untuk pembangkitan data sintetik, Soemarto (1987) menyebutkan panjang data untuk pembangkitan tidak menentu. Iskahar (2002) menguji data tiap 10 tahunan untuk keandalan waduk dan mendapatkan panjang data 10 tahun terdapat kesamaan rerata dan varian jika dibangkitkan 80 tahun. Setiarso (1989) memakai 4 tahun data pengamatan untuk menghitung debit banjir rencana dari ekstrapolasi data.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendalami perihal panjang data pengamat-

an untuk membangkitkan data baru. Model pembangkitan data yang dipilih pada tesis ini adalah model stokastik Markov - yang sederhana untuk data aliran tahunan, model Thomas-Fiering - yang rumit dan model Box-Jenkins (ARIMA) - yang lebih rumit untuk data aliran bulanan. Daerah pengaliran sungai (DPS) yang dijadikan sampel penelitian adalah DPS yang besar dan tersebar di wilayah Jawa: bagian Timur yaitu DPS Bengawan Solo di Bojonegoro, bagian Tengah yaitu DPS Serang di Kedungombo – Grobogan dan bagian Barat yaitu DPS Citarum di Cirata - Bandung.

Penyusunan tesis ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang. Banyak pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng. selaku ketua Program Magister Teknik Sipil, sekaligus anggota tim penguji.
2. Ibu Ir. Sri Eko Wahyuni, MS selaku pembimbing pertama penelitian, sekaligus ketua tim penguji.
3. Bapak Dr. Ir. Suharyanto, Msc. selaku pembimbing kedua penelitian, sekaligus sekretaris tim penguji.
4. Bapak Ir. Pranoto S.A, MS selaku anggota tim penguji.
5. Bapak Ir. Sumbogo P., MS selaku anggota tim penguji.
6. Bapak-ibu dosen S-2 Program Studi Sumber Daya Air, MTS Undip
7. Keluarga kami yang mendukung tidak henti-hentinya.
8. Pihak-pihak lain yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Bila terdapat kekurangan dan kekeliruan, penulis mohon dimaafkan dan mohon saran serta masukan untuk perbaikan laporan penelitian ini dan penelitian selanjutnya.

Semarang, Maret 2005

Penulis,

Ir. Setiarso Gunawan

ABSTRAKS

SETIARSO GUNAWAN (2005), Kajian panjang data historis yang representatif pada model stokastik

Model stokastik merupakan suatu model yang berfungsi membangkitkan data baru. Metode peramalan (*forecasting*) ini dikembangkan berdasarkan ilmu statistik dan matematik. Data asli yang dipakai untuk memperpanjang data tersebut berasal dari data pengamatan atau pengambilan sampel. Sampel yang terbatas adalah hambatan utama yang menyebabkan hasil ekstrapolasi data tersebut menjadi menyimpang. Kesalahan yang dapat diabaikan biasanya tidak lebih dari 5 % atau tingkat validitas 95 %.

Tiga jenis model stokastik yaitu Markov, Thomas-Fiering dan model Box-Jenkins (ARIMA) dipakai untuk membangkitkan dua jenis data aliran historis yaitu tahunan dan bulanan; pada tiga daerah pengaliran sungai yang dijadikan sampel penelitian; yaitu DPS Bengawan Solo di Bojonegoro, DPS Serang di Kedungombo – Grobogan dan DPS Citarum di Cirata - Bandung. Data sintetik hasil pembangkitan tersebut kemudian dipakai untuk menghitung nilai statistiknya.

Kesalahan hasil pembangkitan diukur dengan kesalahan relatif, yaitu hasil pembagian antara selisih nilai statistik data yang dibangkitkan dari data historis yang terpanjang dengan data historis seri yang diteliti dan nilai statistik data yang dibangkitkan dari data historis yang terpanjangnya dan dikalikan 100 persen. Akan didapatkan besar kesalahan relatif yang terjadi bila dilakukan pembangkitan dengan panjang data tertentu.

Pendalaman perihal panjang data historis untuk membangkitkan data baru mengindikasikan bahwa panjang data historis yang representatif pada model stokastik yang diteliti dan diterapkan pada daerah pengaliran besar mendekati nilai 30 tahun untuk validitas 95%.

Kata kunci : *stokastik, data historis, data sintetik, panjang data representatif, kesalahan relatif.*

ABSTRACT

SETIARSO GUNAWAN (2005), Study of Representative Historical Data Length for Stochastic Model

Stochastic models are models to generate new data series based on historical data and have similar statistical parameter with statistic historical data. Methods of forecasting are developed base on statistic and mathematic science. The historical data are observed data or sample data. The limited data is become main constrain for extrapolation of data. The mean error of generated data should be lower than 5%, its mean data of generated have the validation rate on 95 %.

Stochastic model of thesis used three models: Markov Model, Thomas-Fiering Model and Box-Jenkins Model, that is the annual and month historical data. Three samples location for study are Catchment of Bengawan Solo in Bojonegoro, Catchment of Serang in Kedungombo - Grobogan and Catchment of Citarum in Cirata - Bandung. The synthetic data and then is used to calculate the statistic parameter.

Error of generated data is measured with relative error. The relative error is result of divided and subtract statistic parameter of generated data and the statistic parameter of historical data longest and statistic parameter of generated data. The result of data length analysis is relative error and historical length of the data.

The analyzed result of thesis indicate that historical data are studied have representative historical data about 30 years length data.

Keywords: *stochastic, historical data, synthetics data, representative data length and relative error.*

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xxv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Umum.....	9
2.2. Model Hidrologi.....	11
2.3. Pembangkitan Data	15
2.4. Model Stokastik	17
2.4.1. Umum.....	17
2.4.2. Derat Berkala	17
2.4.3. Model Markov.....	19
2.4.4. Model Thomas-Fiering	20
2.4.5. Model Box-Jenkins (ARIMA)	21
2.5. Pola Data Historis pada Model Stokastik	22
2.6. Identifikasi Model pada Model Stokastik	23
2.7. Estimasi Parameter Model Stokastik	24
2.8. Uji Diagnostik.....	25
2.9. Analisis Distribusi.....	27
2.9.1. Penentuan Parameter Statistik.....	27
2.9.2. Pemilihan Jenis Distribusi.....	28

2.9.3. Uji Kesesuaian Distribusi.....	29
2.10. Kesalahan Relatif dan Panjang Data.....	29
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Identifikasi Masalah.....	32
3.1.1. Pengumpulan Data.....	33
3.1.2. Kritik Data.....	35
3.2. Prediksi Model.....	35
3.2.1. Stasionair.....	36
3.2.2. Musiman.....	37
3.3. Model Markov.....	37
3.4. Model Thomas-Fiering	39
3.4.1. Prosedur Model Thomas-Fiering	39
3.4.2. Validasi Model Thomas-Fiering	41
3.5. Model Box-Jenkins (ARIMA).....	43
3.5.1. Identifikasi Model.....	47
3.5.1.1. Autokorelasi	48
3.5.1.2. Autokorelasi Parsial	50
3.5.2. Estimasi Parameter Model	50
3.5.2.1. Penentuan Keacakan	50
3.5.2.2. Pengujian Stasionairitas	51
3.5.2.3. Penghilangan Ketidakstasionairan	51
3.5.3. Validasi Model.....	52
3.5.3.1. Diagnostik Residu	52
3.5.3.2. Pemeriksaan Parameter	53
3.6. Uji Statistik Model.....	54
3.7. Analisis Panjang Data Historis	55
BAB IV. ANALISIS MODEL STOKASTIK	57
4.1. Model Markov.....	57
4.1.1. Prosedur Model Markov	57
4.1.2. Validasi Model Markov	59
4.2. Model Thomas-Fiering	61
4.2.1. Prosedur Model Thomas-Fiering	61
4.2.2. Validasi Model Thomas-Fiering	63
4.3. Model Box-Jenkins (ARIMA).....	65

4.3.1. Identifikasi Model	65
4.3.1.1. Autokorelasi	65
4.3.1.2. Autokorelasi Parsial	66
4.3.2. Estimasi Parameter Model	70
4.3.3. Validasi Model	71
BAB V. PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN	72
5.1. Data yang Tersedia	72
5.1.1. Bojonegoro	72
5.1.2. Kedungombo	73
5.1.3. Cirata	75
5.2. Pembahasan	75
5.2.1. Data Aliran Historis	75
5.2.1.1. Bojonegoro	75
5.2.1.2. Kedungombo	77
5.2.1.3. Cirata	78
5.2.2. Pembangkitan Data Sintetik	78
5.2.2.1. Uji Homogenitas	78
5.2.2.2. Tipe Distribusi	79
5.2.3. Aplikasi Pembangkitan Data	81
5.2.3.1. Model Markov	83
5.2.3.2. Model Thomas-Fiering	87
5.2.3.3. Model Box-Jenkins	93
5.3. Kajian Panjang Data Historis yang Representatif	101
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	106
6.1. Kesimpulan	106
6.2. Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN	112

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Jenis Distribusi.....	29
3.1. Hubungan antara x, v dan p	47
5.1. Data Debit Rata-rata Bulanan S. Bengawan Solo di Sta. Bojonegoro.....	73
5.2. Data Debit Rata-rata Bulanan S. Serang di Sta. Wd. Kedungombo	74
5.3. Data Debit Rata-rata Bulanan S. Citarum di Sta. Wd. Cirata	76
5.4. Uji Homogenitas DPS Bengawan Solo Stasiun hidrometri Bojonegoro Tahun 1952 - 1991	80
5.5. Jenis Distribusi DPS Bengawan Solo Stasiun Hidrometri Bojonegoro Tahunan (1952 – 1991).....	82
5.6.1. Perhitungan Autokorelasi Model Markov Seri 40-1 Bojonegoro	84
5.6.2. Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 40-1 Bojonegoro.....	85
5.6.3. Nilai Statistik Historis dan Sintetik Model Markov Seri 40-1 Bojonegoro	86
5.6.4. Analisis Validitas Model Markov dengan Uji -t.....	86
5.6.5. Analisis Validitas Model Markov dengan Uji -F.....	86
5.7.1. Perhitungan Autokorelasi Historis Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro	88
5.7.2. Bilangan Acak Distribusi Normal Baku Seri 40-1 Bojonegoro Model Thomas-Fiering	89
5.7.3. Bilangan Acak Distribusi Gamma Seri 40-1 Bojonegoro Model Thomas-Fiering	90
5.7.4. Hasil Pembangkitan Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro	91

5.7.5.	Nilai Statistik Data Pembangkitan dan Data Historis Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro	92
5.7.6.	Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro dengan Uji -t Bulan Januari.....	94
5.7.7.	Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro dengan Uji -F Bulan Januari	94
5.7.8.	Perhitungan Chi Square Debit Rata-rata Bulanan Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Bojonegoro	94
5.8.1.	Perhitungan Autokorelasi Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	95
5.8.2.	Perhitungan Matrik Elemen Autokorelasi Parsial Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro	97
5.8.3.	Perhitungan Matrik Invers Autokorelasi Parsial Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro	98
5.8.4.	Correlogram Autokorelasi dan Parsial Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	99
5.8.5.A.	Nilai Statistik Historis dan Sintetik Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	100
5.8.5.B.	Correlogram Autokorelasi Residu Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	100
5.8.6.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Markov Bojonegoro.....	102
5.8.7.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Markov Bojonegoro.....	102

5.8.8.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Thomas-Fiering Bojonegoro.....	103
5.8.9.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Thomas-Fiering Bojonegoro.....	103
5.8.10.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Box-Jenkins Bojonegoro.....	104
5.8.11.	Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Box-Jenkins Bojonegoro.....	104
5.8.12.	Rekapitulasi Hasil Analisis Model Markov, Thomas-Fiering dan Box-Jenkins.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Lokasi Penelitian.....	7
1.2. Lokasi Stasiun Hidrometri (AWLR) Penelitian.....	8
2.1. Klasifikasi Proses Hidrologi	11
2.2. Proses Peramalan (Forecasting)	12
2.3. Hubungan Deret Berkala dengan Pengaruh Random	18
2.4. Pola Data Historis	23
2.5. Hubungan Antara Kesalahan Relatif Limpasan Tahunan Rata-rata Rancangan Dengan Panjang Data	31
3.1. Skenario Analisis Panjang Data Historis untuk Seri Simulasi Model Stokastik	33
3.2. Bagan Alir Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik	36
3.3. Bagan Alir Metode Simulasi Stokastik Box-Jenkins (ARIMA).....	48
4.1. ARIMA (1,0,0) (Teoritis)	68
4.2. ARIMA (1,0,0) (Empiris)	68
4.3. ARIMA (2,0,0) (Teoritis)	69
4.4. ARIMA (0,0,1) (Teoritis)	69
4.5. ARIMA (0,0,1) (Teoritis)	69
4.6. ARIMA (0,0,1) (Empiris)	69
4.7. ARIMA (0,0,2) (Teoritis)	70
4.8. ARIMA (1,0,1) (Teoritis)	70

5.8.7.A. Hubungan Kesalahan Relatif Nilai Tengah dan Panjang Data Model Markov Bojonegoro	102
5.8.7.B. Hubungan Kesalahan Relatif Deviasi Standar dan Panjang Data Model Markov Bojonegoro	102
5.8.8.A. Hubungan Kesalahan Relatif Nilai Tengah dan Panjang Data Model Thomas-Fiering Bojonegoro	103
5.8.8.B. Hubungan Kesalahan Relatif Deviasi Standar dan Panjang Data Model Thomas-Fiering Bojonegoro	103
5.8.9.A. Hubungan Kesalahan Relatif Nilai Tengah dan Panjang Data Model Box-Jenkins Bojonegoro	104
5.8.9.B. Hubungan Kesalahan Relatif Deviasi Standar dan Panjang Data Model Box-Jenkins Bojonegoro	104

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I.	Halaman
A. <u>DPS BENGAWAN SOLO – DI BOJONEGORO</u>	
I.A-1. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-1	113
I.A-2. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-2.....	115
I.A-3. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-3	117
I.A-4. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-4.....	119
I.A-5. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-1	121
I.A-6. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-2.....	123
I.A-7. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-3.....	125
I.A-8. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-4.....	127
I.A-9. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-1	129
I.A-10. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-2.....	131
I.A-11. Data Debit Tahunan DPS Bojonegoro Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 40-1.....	133
B. <u>DPS SERANG – DI KEDUNGOMBO</u>	
I.B-1. Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan	

	Model Markov Seri 5-1	135
I.B-2.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-2.....	137
I.B-3.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-3.....	139
I.B-4.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-4.....	141
I.B-5.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-1	143
I.B-6.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-2.....	145
I.B-7.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-3.....	147
I.B-8.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-4.....	149
I.B-9.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-1	151
I.B-10.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-2.....	153
I.B-11.	Data Debit Tahunan DPS Kedungombo Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 40-1	155
C. <u>DPS CITARUM – DI CIRATA</u>		
I.C-1.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-1	157
I.C-2.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-2.....	159
I.C-3.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 5-3.....	161
I.C-4.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan	

	Model Markov Seri 5-4.....	163
I.C-5.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-1.....	165
I.C-6.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-2.....	167
I.C-7.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-3.....	169
I.C-8.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 10-4.....	171
I.C-9.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-1.....	173
I.C-10.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 20-2.....	175
I.C-11.	Data Debit Tahunan DPS Cirata Hasil Pembangkitan Model Markov Seri 40-1.....	177

LAMPIRAN II

Halaman

A. DPS BENGAWAN SOLO – DI BOJONEGORO

II.A-1.(1)	Analisis Data Historis Debit Rata-rata Bulanan S. Bengawan Solo di Bojonegoro Parameter Statistik seri 5-1	179
II.A-1.(2)	Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Bengawan Solo di Bojonegoro Seri 5-1	180
II.A-2.(1)	Analisis Data Historis Debit Rata-rata Bulanan S. Bengawan Solo di Bojonegoro Parameter Statistik seri 10-1	182
II.A-2.(2)	Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun S. Bengawan Solo di Bojonegoro Seri 10-1	183
II.A-3.(1)	Analisis Data Historis Debit Rata-rata Bulanan S. Bengawan Solo di Bojonegoro Parameter Statistik seri 20-1	185
II.A-3.(2)	Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 20 Tahun S. Bengawan Solo di Bojonegoro Seri 20-1	186

II.A-4.(1) Analisis Data Historis Debit Rata-rata Bulanan S. Bengawan Solo di Bojonegoro Parameter Statistik seri 40-1	188
II.A-4.(2) Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 40 Tahun S. Bengawan Solo di Bojonegoro Seri 40-1	189
B. <u>DPS SERANG – DI KEDUNGOMBO</u>	
II.B-1. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-1	191
II.B-2. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-2	192
II.B-3. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-3	193
II.B-4. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-4	194
II.B-5. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-5	195
II.B-6. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-6	196
II.B-7. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-7	197
II.B-8. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 5-8	198
II.B-9. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 10-2	199
II.B-10. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 10-3	200
II.B-11. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 10-4	201
II.B-12. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 20 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 20-2	202

II.B-13. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 30 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 30-1	203
II.B-14. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 40 Tahun S. Serang Di Kedungombo Seri 40-1	204
C. <u>DPS CITARUM – DI CIRATA</u>	
II.C-1. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun Di Waduk Cirata Seri 5-1.....	205
II.C-2. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun Di Waduk Cirata Seri 5-2.....	206
II.C-3. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun Di Waduk Cirata Seri 5-3.....	207
II.C-4. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 5 Tahun Di Waduk Cirata Seri 5-4.....	208
II.C-5. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-1.....	209
II.C-6. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-2.....	211
II.C-7. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-3.....	213
II.C-8. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-4.....	215
II.C-9. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-5.....	217
II.C-10. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 10 Tahun Di Waduk Cirata Seri 10-6.....	218
II.C-11. Analisa Data Historis Debit Rata-Rata Bulanan Waduk Cirata Parameter Statistik Seri 53-1.....	219
II.C-11. Hasil Pembangkitan 80 Tahun Dari Data Historis 53 Tahun Di Waduk Cirata Seri 53-1.....	220

LAMPIRAN III.**Halaman****A. DPS BENGAWAN SOLO – DI BOJONEGORO**

III.A-1. Perhitungan Autokorelasi Model Box-Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	222
III.A-2. Hasil Pembangkitan Model Box - Jenkins Seri 40-1 Bojonegoro.....	234
III.A-3. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Bojonegoro Seri 5-1	241
III.A-4. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Bojonegoro Seri 10-1.....	244
III.A-5. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Bojonegoro Seri 20-1	246
III.A-6. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Bojonegoro Seri 30-1	249
III.A-7. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Bojonegoro Seri 40-1	251

B. DPS SERANG – DI KEDUNGOMBO

III.B-1. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 5-1 DPS Bojonegoro	254
III.B-2. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 10-1 DPS Bojonegoro	255
III.B-3. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 20-1 DPS Bojonegoro	256
III.B-4. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 40-1 DPS Bojonegoro	257

C. DPS CITARUM – DI CIRATA

III.C-1. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi DPS Cirata Seri 5-1	258
III.C-2. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 10-1	

DPS Cirata.....	261
III.C-3. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 20-1	
DPS Cirata.....	262
III.C-4. Debit historis Rata-Rata Bulanan dan Debit Pembangkitan Seri 30-1	
DPS Cirata.....	263
III.C-5. Tabel Autokorelasi dan Parsial Autokorelasi	
DPS Cirata Seri 40-1	264

LAMPIRAN IV.

Halaman

UJI HOMOGENITAS

IV.A-1. Uji Homogenitas DPS Bengawan Solo Stasiun Hidrometri Bojonegoro	
Tahun 1952 - 1991	267
IV.A-2. Uji Homogenitas DPS Bengawan Solo Stasiun Hidrometri Bojonegoro	
Bulanan	268
IV.B-1. Uji Homogenitas DPS Serang Stasiun Hidrometri Kedungombo	
Tahun 1952 - 1998	269
IV.B-2. Uji Homogenitas DPS Serang Stasiun Hidrometri Kedungombo	
Bulanan	270
IV.C-1. Uji Homogenitas DPS Citarum Stasiun Hidrometri Cirata	
Tahun 1929 - 2001	271
IV.C-2. Uji Homogenitas DPS Citarum Stasiun Hidrometri Cirata	
Bulanan	272

LAMPIRAN V.

Halaman

UJI – T DAN UJI – F

V.A-1. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Januari.....	273
V.A-2. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Januari.....	273
V.A-3. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Pebruari.....	274

V.A-4. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Pebruari.....	274
V.A-5. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Maret.....	275
V.A-6. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Maret.....	275
V.A-7. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan April.....	276
V.A-8. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan April	276
V.A-9. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Mei.....	277
V.A-10. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Mei.....	277
V.A-11. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Juni	278
V.A-12. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Juni	278
V.A-13. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Juli	279
V.A-14. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Juli	279
V.A-15. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Agustus.....	280
V.A-16. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Agustus.....	280
V.A-17. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan September.....	281
V.A-18. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	

Bulan September.....	281
V.A-19. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 D Uji-t	
Bulan Oktober.....	282
V.A-20. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Oktober.....	282
V.A-21. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Nopember.....	283
V.A-22. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Nopember.....	283
V.A-23. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-t	
Bulan Desember.....	284
V.A-24. Analisis Validitas Model Thomas-Fiering Seri 40-1 Uji-F	
Bulan Desember.....	284

LAMPIRAN VI.

Halaman

VI.B-1. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Markov	
Kedungombo.....	285
VI.B-2. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Markov	
Kedungombo.....	285
VI.B-3. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model	
Thomas-Fiering Kedungombo.....	286
VI.B-4. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model	
Thomas-Fiering Kedungombo.....	286
VI.B-5. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Box-Jenkins	
Kedungombo.....	287
VI.B-5. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Box-Jenkins	
Kedungombo.....	287
VI.C-1. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Markov	
Cirata.....	288
VI.C-2. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Markov	

Cirata.....	288
VI.C-3. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Thomas-Fiering Cirata	289
VI.C-4. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Thomas-Fiering Cirata	289
VI.C-5. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Nilai Tengah Model Box-Jenkins Cirata.....	290
VI.C-2. Hasil Analisis Kesalahan Relatif Deviasi Standar Model Box-Jenkins Cirata.....	290
LAMPIRAN VII.	Halaman
VII -1. Nilai-Nilai Kritis Untuk Statistik t.....	291
VII -2. Nilai Kritis F_c Distribusi F.....	292
VII -3. Grafik Distribusi Durbin-Watson.....	293
VII -4. Nilai-Nilai Statistik Durbin-Watson	294

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi

$\phi_{1, \dots, p}$	Koefisien autogresif
$\alpha_{1, \dots, q}$	Koefisien <i>moving average</i>
ε_t	Variabel random berdistribusi normal
A	Luas daerah pengaliran sungai
B_j	Koefisien regresi bulan ke-j
C_v	Koefisien variasi
DK	Derajat kebebasan
η	Efisiensi
g	Koefisiensi asimetri data
g_j	Koefisiensi asimetri bulan j
H	Elevasi (m)
k	Selang (lag)
γ	Koefisien kurtosis
n	Banyaknya data
n_1	Panjang data historis
n_2	Panjang data hasil bangkitan
μ	Nilai rerata populasi
Pe	Tingkat kegagalan (%)
Po	Perkolasi (mm/hari)
PWR	Kebutuhan air untuk data debit tahunan
q	Nilai rerata data debit tahunan
Q	Debit (m^3/dt)
q_i	Data debit hasil pembangkitan yang dicari (pada tahun ke-i)
q_{ij}	Data debit hasil pembangkitan yang dicari (pada tahun ke-i, bulan ke-j)
\bar{q}_j	Nilai rerata debit bulan ke-j
Q_t	Aliran masuk (inflow) selama periode t (m^3 / bulan)
Re	Curah hujan efektif (mm/hari)
r_j	Koefisien korelasi debit rerata bulan ke-j dengan bulan ke-j-i
r_k	Koefisien korelasi
S	Simpangan baku data
S_1	Simpangan baku data historis

S_2	Simpangan baku data hasil bangkitan
σ	Simpangan baku populasi
S_j	Simpangan baku bulan ke-j
t	Periode waktu yang digunakan, biasa 1 bulan
T	Jangka waktu penyiapan lahan (hari)
$t_{1, \dots, n}$	Bilangan acak berdistribusi mendekati normal
t_i	Nilai acak berdistribusi normal baku (pada tahun ke-i)
t_{ij}	Nilai acak berdistribusi normal baku (pada tahun ke-i, bulan ke-j)
$U_{1, \dots, n}$	Bilangan acak berdistribusi seragam
\bar{X}	Nilai rerata data
\bar{X}_1	Nilai rerata data historis
\bar{X}_2	Nilai rerata data hasil bagkitan
X_i	Nilai dari data
Y_t	Seri yang tergantung waktu, berdistribusi normal dengan rerata μ dan variasi σ^2
Z_i	Bilangan acak dengan nilai rerata μ dan simpangan σ
Z_t	Tampungan waduk pada awal periode t (m^3 / bulan)

Singkatan

AR	Autoregressive
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
ARMA	Autoregressive Moving Average
Cos	Cosinus
CP	Critical Period
Ditjen	Direktorat Jenderal
DPS	Daerah Pengaliran Sungai
DPU	Dinas Pekerjaan Umum
Exp	Eksponensial
KP	Kriteria Perencanaan
Log	Logaritma
m.a.	Muka Air
MA	Moving Average
MOL	<i>Minimum Operasi Level</i> = Elevasi muka air minimum
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
s/d	Sampai dengan
Sin	Sinus
US	United States

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengumpulan data debit air suatu sungai yang berupa deret yang cukup panjang untuk keperluan perencanaan bangunan air, misalnya: bendungan, waduk, bendung; penyediaan air untuk irigasi dan air minum, serta pembangkit tenaga listrik dan sebagainya - tidak mudah. Hal ini masih merupakan masalah yang sulit dan kompleks bagi negara seperti Indonesia. Penyebab permasalahan tersebut adalah dapat berupa kurangnya peralatan pengukur debit, kurangnya tenaga pelaksana yang trampil, kurang baiknya cara penyimpanan data dan sukarnya komunikasi antara tempat-tempat pengumpulan data dengan pengukuran debit.

Panjang suatu data historis sebagai masukan untuk mendapatkan gambaran sebenarnya fenomena hidrologi yang terjadi, sangat penting ditetapkan batas minimumnya. Para praktisi sering mengalami kesulitan dalam menentukan berapa panjang data historis minimum yang dapat mempengaruhi secara signifikan keandalan data atau representatif suatu data dalam perencanaan teknik bangunan keairan. Padahal panjang data historis yang memadai dan representatif pada suatu daerah pengaliran sungai (DPS) tersebut sangat berpengaruh pada proses dan hasil perencanaan bangunan pengembangan sumber daya air (Soemarto, 1987).

Data pencatatan langsung dari lapangan atau disebut data primer dapat berupa data hujan, data iklim, data debit dan lain-lain. Data primer tersebut setelah dicatat kemudian, dikelola dan direkapitulasi menjadi data sekunder. Data sekunder yang dikumpulkan dari sumber dan instansi yang berwenang dalam pencatatan dan pengumpulan data historis kemudian diuji secara statistik yang kemudian

dipakai sebagai data historis untuk mendapatkan data sintetik hasil pembangkitan yang panjang.

Data sekunder yang telah diuji tersebut kemudian dilakukan pembangkitan data dengan 3 (tiga) model model stokastik, yaitu model Markov untuk data aliran tahunan, model Thomas-Fiering dan model Box-Jenkins (ARIMA) untuk data aliran bulanan. Penanganan model Markov dan model Thomas-Fiering melalui tahap pemasukan data dan proses pembangkitan data, sedangkan penanganan model Box-Jenkins melalui tahap-tahap sistematis sebagai berikut, yaitu identifikasi model, estimasi model, penentuan parameter model, pemilihan model tentatif, pengujian model melalui pemeriksaan diagnostik, model stokastik terpilih, dan pembangkitan data. Tahap selanjutnya adalah data hasil pembangkitan tersebut digunakan untuk mengkaji hubungan antara kemiripan sifat statistiknya data hasil bangkitan dengan panjang data historis yang dipakai untuk membangkitkan data tersebut.

Untuk menentukan panjang data historis yang representatif data dilakukan pengkajian terhadap kesalahan relatif antara data hasil bangkitan terhadap data historisnya. Kesalahan relatif yang digunakan untuk menguji data historis yang representatif terhadap hasil pembangkitan model Stokastik adalah prosentase selisih besaran parameter statistik hasil pembangkitan data historis populasi (yang diasumsikan data paling panjang dari sampel) dan besaran parameter statistik hasil pembangkitan data historis dengan panjang data tertentu dibagi besaran parameter hasil pembangkitan data historis populasi.

Hubungan antara kesalahan relatif dan panjang data tersebut ditunjukkan dengan persamaan regresi garis yang menggambarkan tingkat keeratan hubungan. Panjang data historis yang memenuhi tingkat kesalahan 5 % ditentukan melalui

substitusi persamaan regresi garis tersebut. Hasil kajian terhadap panjang data yang representatif pada model stokastik ini bisa digunakan sebagai masukan pada tahap pengumpulan data historis untuk ekstrapolasi data maupun pembangkitan data pada suatu lokasi di mana jumlah data debit cukup pendek. Banyak model stokastik tidak memberikan acuan/pedoman terhadap seberapa data historis minimum yang dipakai pada model Stokastik yang representatif. Ketersediaan data historis dapat menimbulkan variasi data hasil ekstrapolasi yang signifikan.

1.2. Perumusan Masalah

Terdapat dua jenis model peramalan stokastik yang utama, yaitu: model deret berkala dan model regresi atau kausal (Makrikakis, et.al., 1998). Model deret berkala sangat terkait dengan data historis. Data historis adalah rangkaian nilai hujan atau aliran yang sungguh-sungguh pernah terjadi (Haan, 1982). Data historis pada lingkup hidrologi dapat berupa data-data sebagai berikut:

1. Rangkaian waktu yang menerus, misalnya data primer hasil pencatatan oleh alat pencatat hujan otomatis (*Automatic Rainfall Record, ARR*) atau alat pencatat debit otomatis (*Automatic Water Level Record, AWLR*).
2. Deret berkala, misalnya pengambilan data primer debit sungai dengan periode tertentu saja (tiap 1 jam, tiap 12 jam, tiap hari, tiap setengah bulan dan seterusnya).

Deret berkala adalah seperangkat nilai suatu angka yang menunjukkan tingkat atau status beberapa kejadian sepanjang waktu. Tiap-tiap nilai berhubungan dengan bagian dari periode waktu. Periode waktu untuk semua nilai dianggap sama dengan panjang (X_t), dimana $t = 1, 2, 3, \dots, N$, (Box dan Jenkins, 1982).

Data historis seringkali sangat pendek sehingga informasi yang didapat dari data tersebut juga amat sedikit. Salah satu usaha untuk memecahkan persoalan kurang panjangnya data hidrologi adalah dengan pembangkitan data (*data generation*). Filosofi data bangkitan atau data sintetik adalah membuat rangkaian data baru berdasarkan data historis yang umumnya pendek untuk mendapatkan data yang lebih panjang. Data baru yang panjang tersebut dibuat dengan sifat statistik seperti halnya data pendek sebagai sumbernya (Sri Harto dan Sudjarwadi, 1989).

Untuk memutuskan dan menentukan bahwa jumlah data historis yang tersedia memadai untuk keperluan perencanaan bangunan keairan diperlukan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Berapa batasan minimum panjang data yang sangat mempengaruhi besaran nilai untuk perencanaan bangunan keairan.
2. Diperlukan pengujian dan kajian dengan melakukan analisis pada hasil pembangkitan (data sintetik) yang mendekati kenyataan.

Dalam penyelesaian fenomena hidrologi dapat dikategorikan dalam dua penyelesaian, yaitu deterministik dan stokastik. Kondisi deterministik terjadi apabila kepastian menyertai proses hidrologi tersebut, sedangkan kondisi stokastik terjadi apabila terdapat ketidakpastian pada prosesnya. Namun demikian dalam permasalahan hidrologi sering dijumpai unsur – unsur gabungan antara deterministik dan stokastik (Singh, 1989). Raudkivi (1979) secara lebih rinci telah menjelaskan klasifikasi proses hidrologi.

Untuk memperoleh hasil penelitian yang memenuhi persyaratan secara teknis dan statistik diperlukan pengambilan sampel lokasi penelitian yang dilakukan pada daerah pengaliran sungai (DPS) yang luasnya lebih dari 100 km² dan tersebar.

Pengambilan sampel data historis dilakukan pada lokasi pada DPS Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro (Jawa Timur), DPS Serang di stasiun hidrometri waduk Kedungombo (Jawa Tengah) dan DPS Citarum di stasiun hidrometri waduk Cirata (Jawa Barat).

Pada data sintetik hasil pembangkitan kemudian dilakukan uji dan analisis statistik guna menentukan panjang data historis yang representatif.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian “Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik” dapat dijabarkan sebagai berikut ini :

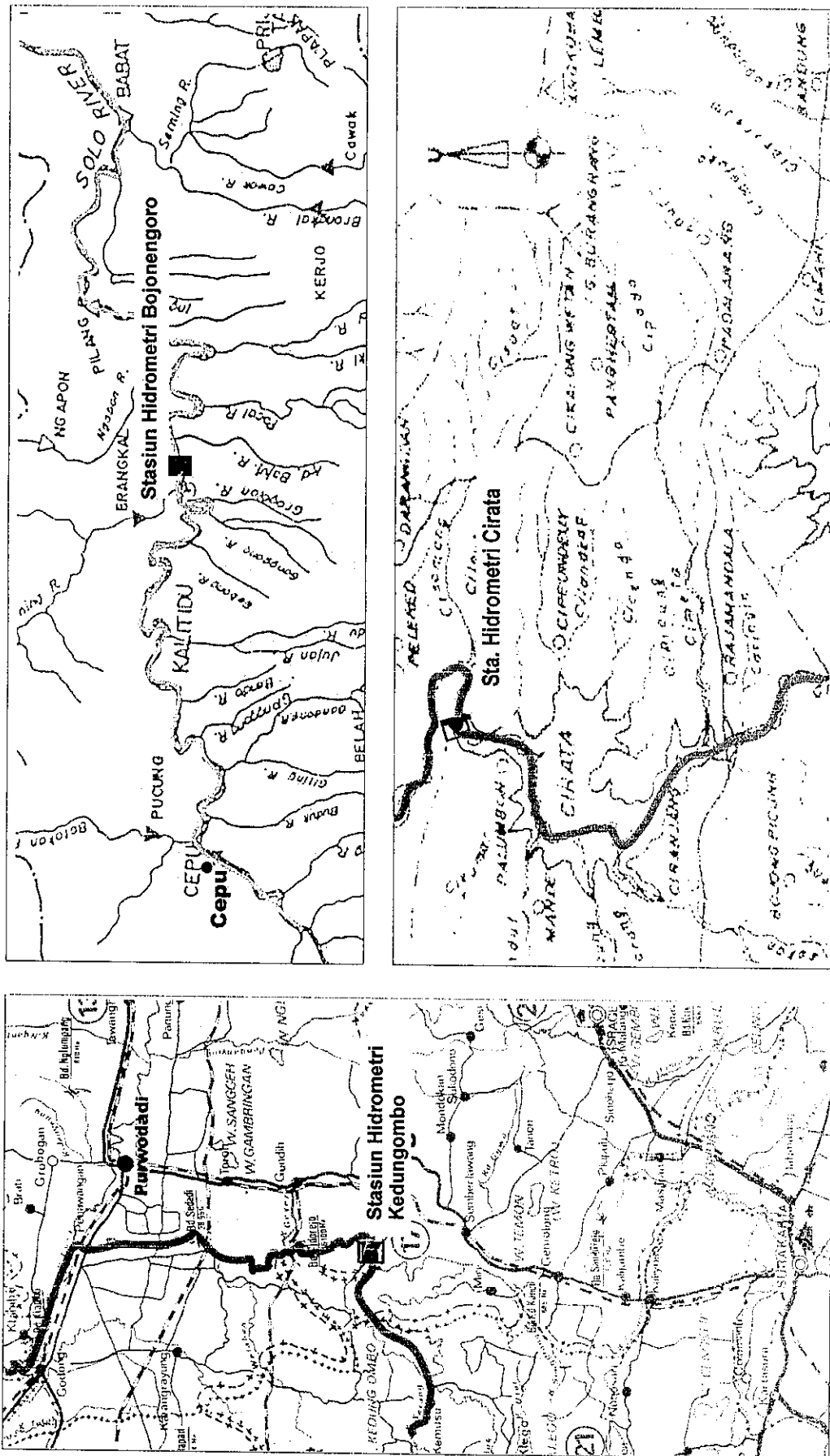
1. Membangkitkan data historis menjadi data sintetik hasil pembangkitan untuk mencari hubungan antara keakuratan hasil bangkitan dengan ketersediaan panjang data historis yaitu dengan perhitungan kesalahan relatif.
2. Memberi gambaran yang signifikan dan merekomendasi panjang data historis yang harus tersedia yang menghasilkan data sintetik/pembangkitan yang representatif.

1.4. Ruang Lingkup

Penelitian “Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik” mempunyai batasan – batasan sebagai berikut :

1. Data yang dipakai adalah data sekunder yang dikumpulkan dari hasil pencatatan oleh badan pengelola, yaitu masing-masing dari : Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo, Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Jratunseluna, dan PT. Pembangkit Jawa Bali .

2. Data historis yang merupakan data sekunder tersebut telah dilakukan uji data dan diterbitkan sebagai informasi yang valid.
3. Jenis-jenis model yang dikaji dibatasi pada model Stokastik saja dan tidak dibahas mengenai model-model probabilistik dan deterministik.
4. Model stokastik yang dikaji adalah Model Markov untuk data historis aliran tahunan, Model Thomas-Fiering dan Model Box-Jenkins (ARIMA) untuk data historis aliran bulanan.
5. Model-model lain tidak dibahas dalam penelitian ini karena metode Box-Jenkins (ARIMA) merupakan metode yang sistematis dalam mengolah model stokastik dan banyak dikembangkan oleh peneliti – peneliti lain karena juga dapat diaplikasikan untuk data stasionair maupun non stasionair Makridakis at. al. (1998). Sedangkan model Markov dan Model Thomas-Fiering masih relevan karena sederhana dan umum dipakai untuk data stasionair.
6. Kajian data historis dan data sintetis hasil pembangkitan model stokastik dilakukan dengan uji statistik, yaitu Uji F, Uji t dan Uji D - W.
7. Aplikasi model Stokastik dilakukan pada 3 (tiga) lokasi, yaitu DPS Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro, DPS Citarum di stasiun hidrometri Cirata, dan DPS Serang stasiun hidrometri Kedungombo.



Gambar 1.2. LOKASI STASIUN HIDROMETRI (AWLR) PENELITIAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Stokastik adalah suatu hal tentang ketidakpastian. Fenomena hidrologi merupakan daur stokastik. Perputaran bumi mengelilingi matahari merupakan faktor utama terjadinya daur, sedangkan gerakan atmosfer yang tidak beraturan menyebabkan keacakan proses hidrologi. Daur dan stokastik dalam proses hidrologi ini sama pentingnya dalam penelaahan hidrologi (Tao, 1976). Data daur yang deterministik dapat dijelaskan dengan persamaan matematika eksplisit, sedangkan data acak yang stokastik tidak ada persamaan eksplisitnya karena tiap-tiap data bersifat unik (Raudkivi, 1979).

Data historis hidrologi mengandung komponen deterministik dan komponen stokastik. Komponen stokastik jarang yang mengikuti distribusi normal (Mediana, 1988), tetapi mungkin mempunyai persistensi yang kuat di antara elemen-elemennya.

Variabel hidrologi biasanya diasumsikan dapat dipisahkan menjadi komponen yang menunjukkan kecenderungan (*trend*) x_T , komponen oskilasi periodik/siklis x_p dan komponen acak x_t :

$$X_t = x_T + x_p + x_t \dots \dots \dots (2.1)$$

Kecenderungan (*trend*) dan komponen oskilasi/siklis diasumsikan deterministik dan nilainya dapat ditentukan. Kecenderungan dalam data diidentifikasi dengan menggunakan analisis *moving average* dan dicari fungsi autokorelasinya. Data bulan tertentu dari tahun ke tahun dianggap bebas dari oskilasi musiman. Jadi untuk suatu bulan $x_t = X_t - x_p$, karena kecenderungan x_T telah

dipisahkan dari X_t . Untuk analisis, sebaiknya digunakan variabel baku yang diidentifikasi sebagai :

$$y_t = \frac{X_t - \bar{x}_t}{\sigma_t} \dots\dots\dots (2.2)$$

di mana :

y_t = variabel baku

X_t = variabel hidrologi

x_t = nilai rata-rata X_t

$$\sigma_t = \text{deviasi standar} = \sqrt{\frac{(x_t - \bar{x}_t)^2}{(n-1)}}$$

n = jumlah sampel

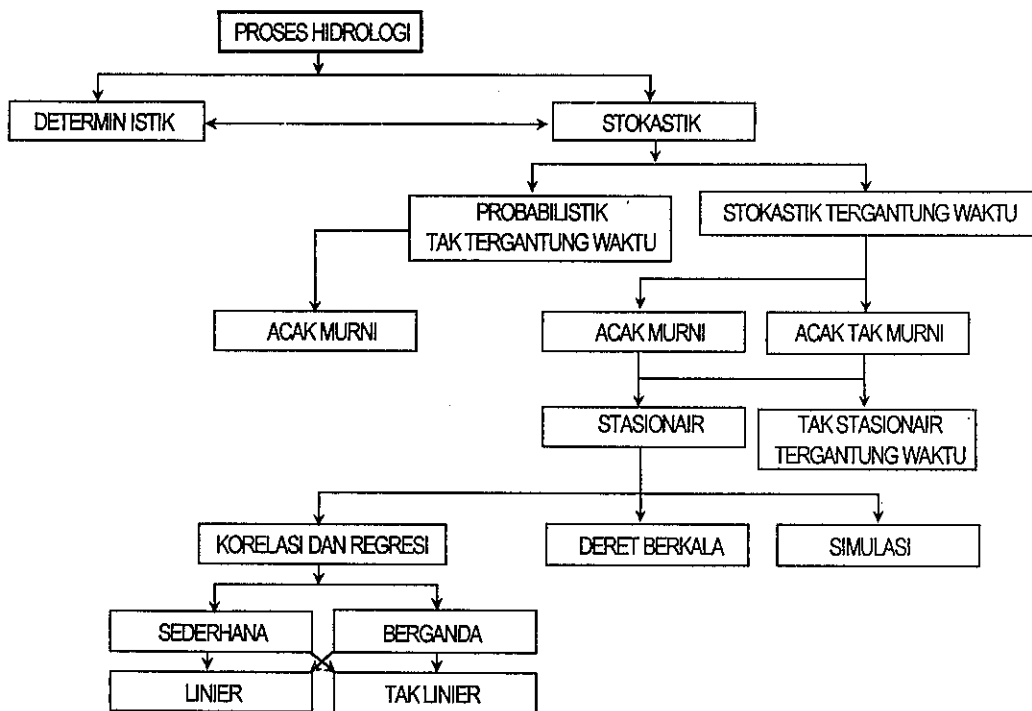
Variabel baku bulanan digunakan untuk mengeliminasi daur tahunan (Kite, 1977).

Persistensi data tergantung pada selang waktu. Data hidrologi jangka pendek biasanya sangat erat hubungannya, sedangkan data hidrologi jangka panjang misalnya tahunan kurang erat hubungannya, sehingga pertama-tama yang harus dilakukan adalah uji persistensi. Ukuran persistensi adalah koefisien korelasi geser satu, atau disebut koefisien autokorelasi, r_1 , yang memberikan nilai korelasi pada suatu waktu terhadap nilai sesaat sebelumnya. Untuk variabel acak yang benar-benar bebas, r_1 bisa dikatakan nol, sedangkan untuk data yang memiliki persistensi, r_1 mendekati satu. Proses dianggap stasionair yaitu distribusi probabilitasnya bagi selang waktu yang sama untuk setiap waktu adalah sama (Raudkivi, 1979). Klasifikasi proses hidrologi digambarkan seperti pada Gambar 2.1.

Pada deret acak terdapat koefisien korelasi untuk semua lag mempunyai kesalahan baku akibat jumlah sampel sebesar $\pm 1/\sqrt{n}$. Untuk lag satu, uji yang pasti

menunjukkan bahwa r_1 benar-benar bukan nol adalah bila nilainya berada di luar rentang untuk batas konviden 95% (Salas et. al., 1980) :

$$-\frac{1}{n-1} \pm 1,96 \frac{(n-2)}{(n-1)^{3/2}} \dots\dots\dots (2.3)$$



Sumber: Raudkvi, 1979

GAMBAR 2.1. KLASIFIKASI PROSES HIDROLOGI

2.2. Model Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang membahas tentang air yang ada di bumi, yaitu kejadian, sirkulasi dan penyebaran, sifat-sifat fisis dan kimiawi serta reaksinya terhadap lingkungan, termasuk hubungannya dengan kehidupan. Hidrologi teknik mencakup bagian-bagian dari bidang tersebut yang berhubungan langsung dengan perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan proyek-proyek teknik bagi pengaturan dan pemanfaatan air (Linsley et. al., 1982).

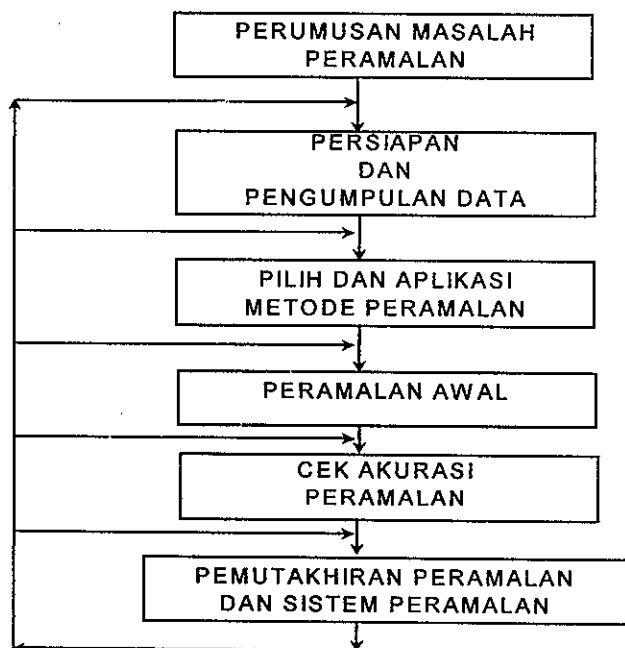
Model adalah suatu sistem yang disederhanakan menjadi suatu rangkaian persamaan matematik yang digunakan untuk mewakili suatu sistem nyata dengan

tujuan tertentu (Eko wahyuni, 1999). Dan menurut Makridakis et. al. (1998), model adalah merupakan representatif simbolis dari realitas. Untuk menyelesaikan masalah hidrologi sering dipakai model hidrologi.

Tujuan penggunaan model dalam hidrologi, (Sri Harto dan Sudjarwadi, 1989) adalah untuk :

1. peramalan (*fore casting*)
2. perkiraan (*prediction*)
3. alat deteksi dalam pengendalian
4. alat pengenalan (*identification tool*) dalam masalah perencanaan (*planning*)
5. ekstrapolasi data
6. perkiraan lingkungan dan
7. penelitian dasar dalam proses hidrologi

Proses peramalan menggunakan model hidrologi ditunjukkan dengan Gambar 2.2.



sumber: Eko Wahyuni, 1999

GAMBAR 2.2. PROSES PERAMALAN (FORECASTING)

Model hidrologi secara umum dapat dijabarkan sebagai sebuah sajian sederhana (*simple representation*) dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks (Sri Harto dan Sudjarwadi, 1989). Sedangkan menurut Eko wahyuni (1999) adalah suatu model yang dapat mensimulasi berbagai proses hidrologi yang terjadi pada suatu daerah tangkapan dengan menggambarkan proses fisis yang sesungguhnya dari siklus hidrologi, atau menirukan peristiwa hidrologi yang terjadi. Namun demikian, model tidak dapat segera diterapkan apabila parameter-parameter hidrologi tidak dimasukkan ke dalam variabel model. Hal ini dikarenakan model sangat terkait dengan besaran parameter tersebut sedemikian sehingga penentuan besaran parameter tersebut sangat diperlukan. Penentuan parameter hidrologi yang terkait dengan pembuatan model dapat dilakukan dengan menentukan tujuan model tersebut dibuat. Model stokastik mempunyai keterkaitan dengan parameter berpengaruh berupa musim, distribusi debit, sistem daerah aliran sungai yang akan dipakai sebagai model dan autokorelasi data itu sendiri.

Menurut Nemeć (1973), secara umum model hidrologi dapat dibagi dalam 3 (tiga) katagori utama, yaitu:

1. Model fisik (*physical model*), yaitu dengan pembuatan model dengan skala tertentu untuk menirukan prototipnya.
2. Model analog (*analog model*), yaitu proses hidrologi yang dipecahkan dengan analog.
3. Model matematik (*mathematical model*), yaitu penyajian sistem dalam suatu rangkaian persamaan yang mengaitkan antar variabel dan parameter.

Model hidrologi menurut hubungan masukan (*input data*) dan keluaran (*output data*) menjadi 2 (dua) bagian, yaitu :

1. Model stokastik (*Stochastic model*), yaitu model yang terdiri dari satu atau lebih unsur yang penyusunan hubungan antara masukan (*input data*) dan keluarannya (*output data*) mengikutsertakan pengertian peluang kejadian (*chance of occurrence*) dan memperkenalkan konsep probabilitas.
2. Model deterministik (*Deterministic model*), yaitu model yang mempunyai peluang kejadian (*chance of occurrence*) dari masing-masing variabelnya tidak diikutsertakan. Dengan demikian maka setiap masukan dengan sifat-sifat tertentu selalu akan menghasilkan keluaran tertentu pula (*identical input and output*). Nemec (1973).

Dalam kenyataannya, biasanya kejadian hidrologi berupa debit (*discharge*) atau limpasan permukaan (*surface run off*) termasuk dalam stokastik, karena pada titik tertentu, waktu tertentu, mempunyai besaran tertentu yang berkaitan dengan keacakan, sehingga dalam beberapa hal model stokastik banyak dipergunakan untuk menyelesaikan permasalahan hidrologi terapan. Namun tidak menutup kemungkinan kejadian hidrologi berupa gabungan antara deterministik dan stokastik. Di dalam penyelesaian masalah-masalah hidrologi stokastik diperlukan suatu model stokastik.

Menurut Mediana (1988), model stokastik sangat diperlukan dalam hubungannya dengan ketersediaan data yang terbatas.

Model lain adalah probabilitas, yaitu peluang dari suatu peristiwa yang ditunjukkan dengan angka dari 0 sampai dengan 1. Peristiwa yang tidak mungkin terjadi mempunyai probabilitas nol. Suatu peristiwa yang pasti terjadi mempunyai peluang 1, dan merupakan tingkat keyakinan dari peristiwa tersebut dengan

memberikan semua yang kita ketahui pada saat ini dan dinyatakan dengan suatu angka antara 0 dan 1.

Peramalan (*forecasting*) dibagi menjadi dua bagian, yaitu peramalan kualitatif dan peramalan kuantitatif. Peramalan kualitatif merupakan metode yang dilakukan bilamana asumsi konstan tidak dipenuhi karena pola yang terdapat di dalam data masa lalu tidak dapat dianggap berlanjut terus di masa mendatang, dan bilamana informasi tentang masa lalu tidak dapat diperoleh atau bilamana ramalannya mengenai peristiwa rasanya tidak mungkin atau tidak diharapkan di masa mendatang. Peramalan kuantitatif merupakan metode yang dilakukan bilamana informasi tentang masa lalu tersedia, bilamana informasi tersebut dapat dikuantitatifkan dan bilamana pola yang terdapat di dalam informasi masa lalu dapat dianggap terus berlanjut di masa mendatang.

Metode peramalan kuantitatif digunakan model stokastik untuk merepresentasikan pola dasar yang terdapat dalam data. Salah satu peramalan kuantitatif yang sederhana adalah ramalan naif, yaitu ramalan yang diperoleh dengan jumlah usaha yang minimal dan sedikit manipulasi data serta semata-mata didasarkan atas informasi paling akhir yang tersedia.

2.3. Pembangkitan Data

Pembangkitan data debit sintetis pertama kali dilakukan oleh Sudler tahun 1927 (Kottegoda, 1980). Data historis aliran sungai selama 50 tahun ditulis pada 50 buah kartu, kemudian kartu dikocok. Kartu diambil satu persatu dan nilainya dicatat berurutan. Dengan cara ini, didapatkan satu set data yang berlainan. Satu kekurangan utama dari cara ini adalah bahwa setiap data baru identik dengan data historisnya, sehingga nilai rata-rata dan ragamnya tidak dapat berubah. Kekurangan lainnya

adalah sifat penting dalam data asli menjadi rusak. Sifat itu adalah persistensi pada data alami, di mana aliran-aliran kering cenderung mengikuti aliran kering dan aliran besar mengikuti aliran besar. Tetapi dalam hal oskilasinya deret sintetik mempunyai penampilan yang sama dengan data asli. Cara yang dipakai Sudler kemudian dilengkapi dengan penggunaan tabel angka acak dengan distribusi normal maupun distribusi lain dan dikenal sebagai Metode Monte Carlo (Raudkivi, 1979).

Dalam hal pembangkitan data, Fiering mengingatkan 3 hal (Haan, 1982) :

1. Cara pembangkitan ini tidak mengatasi data yang menyimpang atau terdapat kesalahan.
2. Simulasi bukan substansi bagi penyelesaian analitis.
3. Bila simulasi sistem diperlukan, maka secara statistik tidak dibenarkan mengandalkan data pengamatan semata-mata.

Pada umumnya model stokastik berdasarkan model autoregresif (*Markov Chain*). Untuk data bulanan atau selang waktu yang lebih pendek, distribusi datanya dianggap makin menjauhi normal (Gauss) dan lebih mendekati distribusi gamma (Pearson). Fernandes dan Salas (1986) menggunakan distribusi gamma tiga parameter untuk aliran mingguan (Mediana, 1988).

Beberapa teknik untuk merubah deret data agar mendekati normal telah banyak dipakai. Pengubahan ini dikenal sebagai pemutihan (*prewhitening*). Distribusi normal dapat digunakan untuk data tahunan dan bulanan (Mediana, 1988). Untuk data dengan selang waktu yang lebih singkat, hendaknya digunakan distribusi Gamma.

2.4. Model Stokastik

2.4.1. Umum

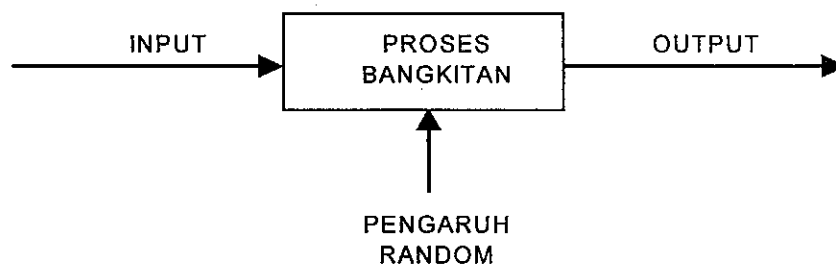
Model stokastik menurut Soemarto (1987) adalah “model hidrologi dengan basis matematik yang menghasilkan (*to generate*) suatu urutan nilai (*sequence of value*) yang merupakan hasil dari proses acak (*random process*) dengan cara memasukkan probabilitas. Simulasi model ini akan memberikan data sintetik dengan nilai tengah (*mean*), tingkat keragaman (*variance*), kesalahan standar (*standart deviation*) yang tetap terpelihara”. Sedangkan model stokastik menurut Eko wahyuni (2001) adalah “model hidrologi yang selalu berkisar dengan waktu, mewakili suatu urutan peristiwa dan selalu dipengaruhi oleh peristiwa sebelumnya”.

Suatu proses stokastik adalah keluarga variabel acak yang banyaknya tak terhingga dan tak terhitung, satu variabel acak untuk setiap t . Untuk t tertentu, $X(t)$ adalah VR dengan distribusi $F(x,t) = P\{x(t) \leq x\}$. Di mana $X(t)$ adalah himpunan fungsi $X(t,y)$, jika t dan y adalah variabel. $X(t)$ adalah fungsi waktu tunggal, jika t adalah variabel dan y adalah konstanta. $X(t)$ adalah variabel acak jika t adalah konstanta dan y adalah variabel. Dan $X(t)$ adalah bilangan, jika t dan y adalah konstanta (Papoulis, 1991).

2.4.2. Deret Berkala

Deret berkala (*time series*) adalah suatu rangkaian variabel yang diamati pada interval waktu ruang yang sama, sedangkan model deret berkala merupakan teknik matematik dan statistik untuk mendapatkan informasi dari data deret berkala, menetapkan hubungan antar variabel dan mengekstrapolasi ramalan untuk waktu yang akan datang (Eko wahyuni, 1999).

Model deret berkala merupakan sebuah model suatu fungsi yang menghubungkan nilai deret berkala dengan nilai awal deret berkala, kesalahannya, atau yang berhubungan dengan deret berkala lainnya (Makridakis et. al., 1998).



Sumber: Makridakis, 1998

GAMBAR 2.3. HUBUNGAN DERET BERKALA DENGAN PENGARUH RANDOM

Panjang data historis adalah merupakan acuan yang paling penting untuk mendapatkan hasil data sintetik yang baik dan andal, karena semakin sedikit data historis yang diperoleh dari lapangan akan semakin tidak representatif hasilnya. Nilai tengah sampel yang diperoleh tidak dapat diduga sama benar dengan nilai tengah data historis (Soemarto, 1987), tetapi ia cenderung mendekati nilai tengah data historis dan dekatnya nilai tengah tersebut dapat diperbaiki dengan makin panjangnya bangkitan (*generating sequence*). Banyak teori statistik yang meninjau persoalan mengenai seberapa dekat seharusnya berbagai sampel statistik itu mendekati nilai-nilai teoritisnya.

Kecukupan panjang data historis sangat penting dan dominan dalam model stokastik. Croley, (2000) menguatkan hal ini dalam penelitian mengenai estimasi frekuensi debit maksimum (*storm*) yang akan datang, dengan sangat memperhatikan kecukupan data ini.

Sampel yang terlalu kecil tidak begitu baik (*unreliable*) dan peluang untuk mendapatkan urutan yang tidak representatif (*unrepresentative*) dalam sampel yang

besar adalah jauh lebih kecil dibandingkan dengan sampel yang kecil (Soemarto, 1987). Besarnya sampel yang diperlukan untuk disebut cukup atau representatif dalam pembangkitan data menurut Soemarto (1987) tidaklah menentu, sehingga peneliti mempunyai gagasan tentang seberapa baik seharusnya perkiraan sampel tersebut.

2.4.3. Model Markov

Metode paling sederhana dan banyak dipakai untuk membangkitkan data hidrologi adalah model autoregresif atau disebut juga rantai Markov menurut nama ahli matematika A.A. Markov (1856-1922). Bila ada persistensi, maka deret sintetik tidak dapat dibuat hanya dengan mengambil data satu-persatu. Cara ini hanya dapat dilakukan bila tidak ada persistensi (Clarke, 1973 dan Raudivi, 1979). Nilai yang dicari dinyatakan sebagai fungsi dari nilai sebelumnya dan suatu nilai acak ε_t (Raudkivi, 1979). Model tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$(y_t - \mu) = \beta_1(y_{t-1} - \mu) + \beta_2(y_{t-2} - \mu) + \dots + \beta_k(y_{t-k} - \mu) + \varepsilon_t \dots \dots \dots (2.4)$$

di mana:

μ = rata-rata dari populasi, yang diperkirakan sama dengan rata-rata per sampel

β = parameter yang didapat dari koefisien korelasi antara satu variabel dan variabel sebelumnya

ε_t = bilangan acak dengan rata-rata nol dan deviasi standar tertentu

Persamaan ini dikenal sebagai autoregresif orde k, variabel acak ε_t biasa dianggap bebas dan berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan varian σ_ε^2 . Parameter yang harus dihitung sebanyak k+2 yaitu: $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k, \mu$ dan σ_ε^2 . Metode

yang tepat guna untuk menghitung parameter-parameter ini dijelaskan oleh Clarke (1973) berdasarkan metode-metode yang dibuat oleh Kendall dan Stuart (1968), Jenkins dan Watts (1968) dan Carlson, McCormick dan Watts (1970) (Clarke, 1973).

Autokorelasi orde 1 AR (1) diperoleh untuk $k = 1$, sehingga persamaan (2.4) menjadi :

$$(y_t - \mu) = \beta_1(y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Parameter β_1 , yang dihitung sebagai koefisien korelasi lag 1, menunjukkan kuatnya persistensi pada data bangkitan. Bila β_1 mendekati nol, persistensi kecil, sedangkan bila β_1 mendekati 1, persistensinya kuat. Clarke (1973) menyatakan bahwa makin besar daerah pengaliran sungai (DPS), makin besar korelasi di antara jumlah aliran tahunan.

2.4.4. Model Thomas-Fiering

Thomas dan Fiering mengembangkan model untuk membangkitkan aliran sungai bulanan. Secara implisit, model ini mengijinkan adanya ketidakstasionairan dalam data aliran bulanan (Clarke, 1973). Dalam cara ini, data selama n tahun dibagi menjadi 12 bagian. Data dari setiap bulan diregresikan terhadap bulan sebelumnya, sehingga didapatkan 12 persamaan regresi linier. Variasi musiman ditunjukkan oleh penggunaan hubungan regresi bulanan. Model ini menganggap adanya persistensi bulanan lag satu. Persistensi ini disebabkan oleh efek penyimpanan air sebagai lengas tanah dan air tanah. Terdapat pula efek bawaan pola cuaca musiman (Raudkivi, 1979).

Secara umum, persamaannya dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_{i+1} + b_i(Q_i - \bar{Q}_i) + t_i S_{i+1} \sqrt{1 - r_i^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

di mana :

Q = debit bulanan (m^3/dt)

i = indeks, dari 1 sampai 12

$b_i = (r_i \cdot S_i + 1) / S_i$

r = koefisien korelasi antara debit bulan ke i dan bulan ke $i+1$

S = deviasi standar

t = bilangan acak, biasanya merupakan variabel bebas berdistribusi normal dengan rata-rata 0 dan varian 1.

Agar parameter-parameter yang dihitung dalam persamaan regresi memiliki ketepatan yang cukup, disarankan digunakan dengan hati-hati bila data yang ada kurang dari 12 tahun (Clarke, 1973). Penyebaran komponen acak cenderung menjadi terlalu besar untuk debit kecil dan sebaliknya (Raudkivi, 1979). Sering juga ditemukan bahwa nilai bangkitan negatif. Nilai negatif ini tetap dipakai untuk perhitungan selanjutnya, tetapi hasil akhir nilai ini diganti dengan nol. Bila model ini diterapkan pada $\log Q$ dan bukan pada Q , nilai negatif tidak akan didapatkan (Raudkivi, 1979). Untuk pemakaian log, sebaiknya bilangan acaknya juga menggunakan logaritma, agar komponen itu tidak menjadi terlalu besar.

Model Thomas-Fiering ini biasanya dipakai untuk sungai dengan aliran kontinyu (*perennial*). Untuk sungai dengan aliran saat hujan dan tidak ada *baseflow* (*ephemeral*), model ini memerlukan penanganan khusus.

2.4.5. Model Box-Jenkins (ARIMA)

Model yang dapat dipakai untuk data yang tak stasionair adalah ARIMA, yang dijelaskan oleh Box dan Jenkins (Clarke, 1973). ARIMA singkatan dari *Autoregressive Integrated Moving Average*. Seri data asli yang terpisah (*discrete*) dan tak stasionair dideferensiasikan untuk mendapatkan seri yang stasionair. Untuk mengembalikan ke proses semula, hasil diferensiasi ini diintegrasikan. Konstanta pada

hitungan integrasi akan hilang pada waktu diferensiasi. Seri integrasi seperti ini akan kehilangan nilai rata-rata dan akibatnya, model ARIMA bersifat tidak stasionair.

Suatu variabel y_t dihubungkan dengan variabel acak bebas ϵ_t dan nilai-nilai y_{t-1}, y_{t-2}, \dots yang mendahuluinya dalam deret dinyatakan dengan persamaan:

$$\phi(B) \nabla^d y_t = \theta(B) \epsilon_t \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan $\phi(B)$ dan $\theta(B)$ merupakan polinomial berderajat p dan q .

Operator *backward* B didefinisikan sebagai $By_t = y_{t-1}$. Operator *difference* ∇ didefinisikan sebagai : $\nabla y_t = y_t - y_{t-1} = (1 - B) y_t$; yang mana operator ini digunakan untuk menghilangkan kecenderungan atau *trend*. Perbedaan (*differencing*) tingkat 1 ($d = 1$) adalah : $u_t = x_t - x_{t-1}$

2.5. Pola Data Historis pada Model Stokastik

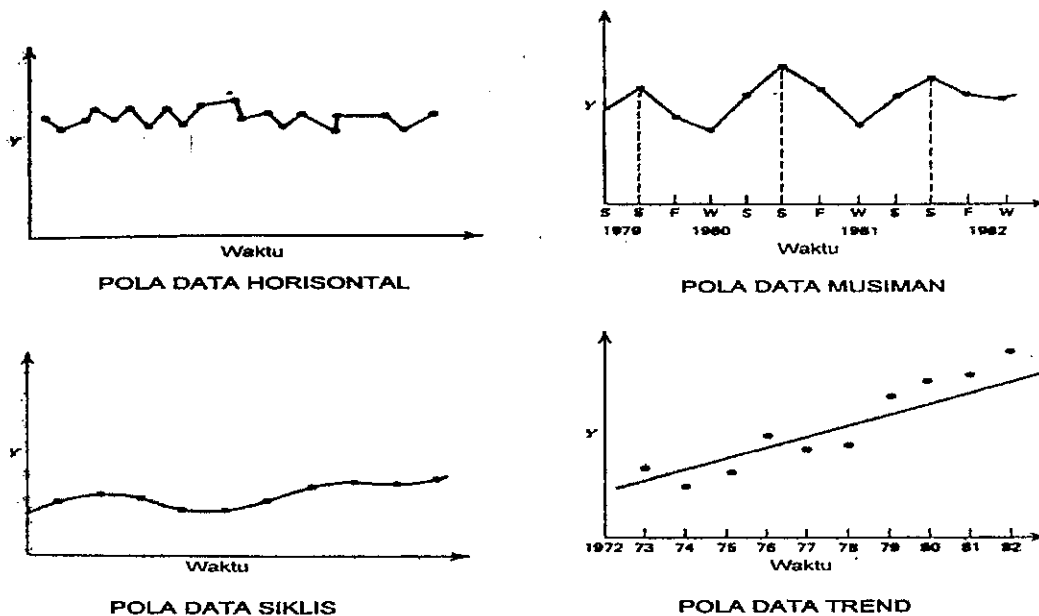
Pola adalah merupakan himpunan hubungan dasar dan proses yang mendasari selama waktu tertentu. Pola data historis didasarkan pada data pengamatan yang berlangsung pada waktu tertentu. Pengamatan adalah nilai dari suatu peristiwa tertentu yang ditunjukkan oleh suatu skala pengukuran nilai data tunggal. Dalam sebagian besar aplikasi peramalan sekelompok pengamatan dipakai untuk memberikan data di mana model yang dipilih sesuai.

Langkah penting dalam memilih suatu model stokastik yang tepat adalah dengan mempertimbangkan jenis pola data (Makridakis et. al., 1998) sehingga metode yang paling tepat dengan pola tersebut dapat diuji. Pola data dibedakan menjadi 4 (empat) jenis, yaitu :

1. Pola horisontal, terjadi jika nilai data berfluktuasi di sekitar nilai rata – rata yang konstan.
2. Pola musiman, terjadi jika suatu deret dipengaruhi oleh faktor musiman.

3. Pola siklis, terjadi jika datanya dipengaruhi oleh fluktuasi jangka panjang.
4. Pola *trend*, jika datanya terdapat kenaikan atau penurunan sekuler jangka panjang.

Gambar 2.4. menunjukkan pola data historis yang menggambarkan grafik pola data horisontal, musiman, siklis dan trend.



GAMBAR 2.4. POLA DATA HISTORIS

Banyak deret data yang mencakup gabungan dari jenis pola di atas. Metode peramalan yang dapat membedakan setiap pola harus dipakai jika diinginkan adanya pemisahan komponen pola tersebut. Metode peramalan alternatif dapat digunakan untuk mengenal pola dan mencocokkan data secara tepat sehingga nilai mendatang dapat diramalkan.

2.6. Identifikasi Model pada Model Stokastik

Identifikasi adalah merupakan langkah dalam pembuatan model deret berkala di mana pola dalam statistik seperti fungsi autokorelasi, fungsi autokorelasi parsial dan sebagainya dihubungkan terhadap model tentatif untuk data. Untuk mendapatkan model terpilih diperlukan autokorelasi, yaitu suatu asosiasi atau ketergantungan

bersama (*mutual dependence*) antara nilai – nilai suatu deret berkala yang sama pada periode waktu yang berlainan, atau selang waktu (*time lag*) yang berbeda. Pola dari koefisien – koefisien autokorelasi digunakan untuk menetapkan ada atau tidak adanya faktor musiman (*seasonality*) di dalam deret berkala tertentu dan untuk menentukan ada atau tidak adanya ketidakstasionairan data.

Cara lain identifikasi model adalah dengan mencari autokorelasi parsialnya untuk menunjukkan hubungan antara nilai suatu variabel saat ini dengan nilai sebelumnya dari variabel yang sama dengan menganggap pengaruh dari semua kelambatan waktu lainnya adalah konstan. Autokorelasi parsial adalah merupakan ukuran korelasi ini dipakai untuk menunjukan besarnya hubungan antara nilai suatu variabel saat ini dengan nilai sebelumnya dari variabel sebelumnya dari variabel yang sama (nilai-nilai untuk berbagai kelambatan waktu) dengan menganggap pengaruh dari semua kelambatan waktu lainnya adalah konstan. Jadi nilai ini benar-benar bersifat analog dengan korelasi parsial tapi mengacu pada variabel tunggal.

2.7. Estimasi Parameter Model Stokastik

Estimasi adalah usaha penemuan nilai-nilai yang sesuai untuk parameter-parameter sebuah persamaan dengan suatu cara sehingga beberapa kriteria dapat dioptimasi dengan prosedur iteratif. Parameter adalah merupakan karakteristik dari suatu populasi seperti nilai rata-rata atau deviasi. Penentuan parameter model dilakukan dengan menentukan tujuan model stokastik dibuat (Makridakis et. al., 1998). Model stokastik mempunyai keterkaitan dengan parameter berpengaruh berupa musim, distribusi debit, sistem daerah aliran sungai yang akan dipakai sebagai model dan autokorelasi data itu sendiri.

Parameter model stokastik berupa konstanta, variabel bebas yang berupa koefisien – koefisien deret berkala (*time series*): koefisien autoregresif dan koefisien *Moving Average*, bilangan acak dan koefisien musiman.

2.8. Uji Diagnostik

Pemeriksaan diagnostik adalah merupakan salah satu tahap pembuatan model stokastik di mana nilai taksiran kesalahan model diuji tentang kebebasan, nilai tengah nol, ketepatan ragamnya dan lain-lain dan untuk mendapatkan kevalidan suatu model.

Validasi merupakan proses pengujian derajat sebuah model dalam membuat peramalan. Data sampel seringkali diperoleh menjadi dua segmen, satu digunakan untuk menaksir parameter model dan lainnya digunakan sebagai acuan sampel untuk menguji ramalan yang dibuat oleh model tersebut.

Untuk mendapatkan suatu model yang representatif diperlukan model yang dapat diukur ketepatannya dengan data historisnya. Ketepatan (*accuracy*) adalah suatu kriteria yang dipakai untuk mengevaluasi unjuk kerja model dan metode-metode peramalan alternatif dan dapat menunjukkan tingkat kebenaran ramalan yang diukur. Ketepatan dapat diukur menggunakan dimensi seperti rata-rata kesalahan kuadrat (*mean square error, MSE*); rata-rata kesalahan presentase absolut (*mean absolute percent error, MAPE*) atau rata-rata kesalahan presentase atau bias (*mean percent error, MPE*).

Jenis kesalahan dalam suatu pemeriksaan diagnostik model stokastik yaitu :

1. Residu persentasi absolut rata-rata (*MAPE*) adalah merupakan ukuran ketepatan yang digunakan dalam metode kuantitatif atau peramalan, yaitu

suatu nilai tengah atau rata-rata jumlah seluruh persentasi residu untuk sebuah susunan data yang diberikan.

2. Nilai tengah persentasi kesalahan (*MME*) adalah merupakan rata-rata dari seluruh residu persentasi susunan data yang diberikan. Rata-rata ini memungkinkan residu persentasi positif dan negatif untuk saling menunda dan digunakan sebagai suatu ukuran bias dalam aplikasi metode peramalan.
3. Nilai tengah kesalahan kuadrat (*MSE*) adalah merupakan suatu ukuran ketepatan perhitungan dengan mengkuadratkan masing-masing residu untuk masing-masing item dalam sebuah susunan data dan kemudian memperoleh rata-rata atau nilai tengah jumlah kuadrat tersebut. Nilai tengah kuadrat memberikan bobot yang lebih besar terhadap residu yang besar daripada kesalahan kecil sebab residu dikuadratkan sebelum dijumlahkan.

Batas kepercayaan (*confidence limit*) adalah sebuah selang kepercayaan yang diterapkan untuk ramalan – ramalan masa depan dan berdasarkan pada teori statistik, distribusi peluang, perluasan variasi data dan horison waktu peramalan.

Untuk mendapatkan model yang representatif diperlukan uji statistik meliputi hal – hal sebagai berikut :

1. Uji chi – kuadrat adalah uji pada suatu populasi normal standar. Beberapa statistik terapan dapat diubah menjadi bentuk – bentuk yang mendekati distribusi chi – kuadrat dan kemudian dapat dilakukan uji nyata statistik, misalnya untuk melihat apakah korelasi sampel tersebut berbeda dari nol secara nyata.

2. Uji-t adalah uji statistik untuk menguji hipotesa yang koefisiennya berbeda nyata dari nol. Ia dihitung sebagai perbandingan antara suatu koefisien dengan residu standar koefisien tersebut.
3. F-test (Uji – F) adalah cara menguji signifikansi beberapa item dengan menghitung rasio dua kuadrat rata-rata (ragam). Dengan melihat tabel F, derajat kesignifikanan dari nilai F-hitung dapat ditentukan.
4. Durbin-Watson test (Uji D - W) adalah pengujian hipotesis yang menyatakan bahwa tidak terdapat autokorelasi satu *time lag* pada nilai sisa yang diperoleh dari peramalan. Dengan membandingkan nilai terhitung uji D-W dengan nilai yang cocok dari tabel nilai statistik D-W, maka signifikansi dapat ditentukan.

2.9. Analisis Distribusi

Analisis distribusi sesungguhnya merupakan prakiraan (*forecasting*) dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi. Distribusi kemungkinan teori *probability distribution* yang biasa digunakan adalah :

1. Distribusi Normal (*Gauss*)
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi Pearson III (*Gamma*)
4. Distribusi Log Pearson tipe III
5. Distribusi Gumbel.

Secara sistematis analisis ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut.

2.9.1. Penentuan Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam analisis statistik meliputi parameter nilai rata-rata (X), deviasi standar (Sd), koefisien variasi (Cv) koefisien kemiringan (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck).

Untuk memperoleh harga parameter statistik dilakukan perhitungan dengan rumus dasar sebagai berikut.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$Sd = \frac{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2}}{n-1}$$

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}}$$

$$Cs = \frac{\frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^3}{\left(\frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^2 \right)^{3/2}} \cdot \frac{n^2}{(n-1)(n-2)}$$

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^2 \right)^2} \cdot \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)}$$

di mana,

\bar{x} = debit rata-rata selama n tahun

$\sum X$ = jumlah debit selama n tahun

n = jumlah tahun pencatatan data debit

Sd = deviasi standar

Cv = koefisien variasi

Cs = koefisien kemiringan

Ck = koefisien kurtosis

Lima parameter statistik di atas akan menentukan jenis distribusi yang akan digunakan dalam analisis statistik.

2.9.2. Pemilihan Jenis Distribusi

Penentuan jenis distribusi akan digunakan untuk analisis frekuensi dilakukan dengan beberapa asumsi sebagai berikut :

Tabel 2-1. Jenis Distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal (Gauss)	$C_s = 0$ $C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s (\ln x) = 0$ $C_k (\ln x) = 3$
3	Pearson Tipe III (Gamma)	$C_s > 0$ $C_k = 1,5 C_s^2 + 3$
4	Log Pearson Tipe III	$C_s (\ln x) = 0$ $C_k (\ln x) = 1,5 (C_s (\ln x)^2) + 3$
5	Gumbell	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$

Dari parameter statistik yang ada, apabila tidak dapat memenuhi kondisi untuk ke-5 (lima) jenis distribusi seperti tersebut di atas maka selanjutnya dipilih yang paling mendekati.

2.9.3. Uji Kesesuaian Distribusi

Dengan kemungkinan tingkat kesalahan yang cukup besar maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari distribusi terpilih selanjutnya dilakukan uji kecocokan data (*testing at goodness of fit*) dengan menggunakan cara Uji Chi Kuadrat (*Chi Square*) dan Uji Smirnov Kolmogorov.

Distribusi yang dipilih dan dianggap tidak cocok menurut Uji Chi Kuadrat adalah apabila harga X^2 melewati harga X^2 kritik sementara menurut Uji Smirnov Kolmogorov yaitu apabila harga kesalahan maksimum (D maks) lebih besar dari harga kesalahan kritik (D kritik).

2.10. Kesalahan Relatif dan Panjang Data

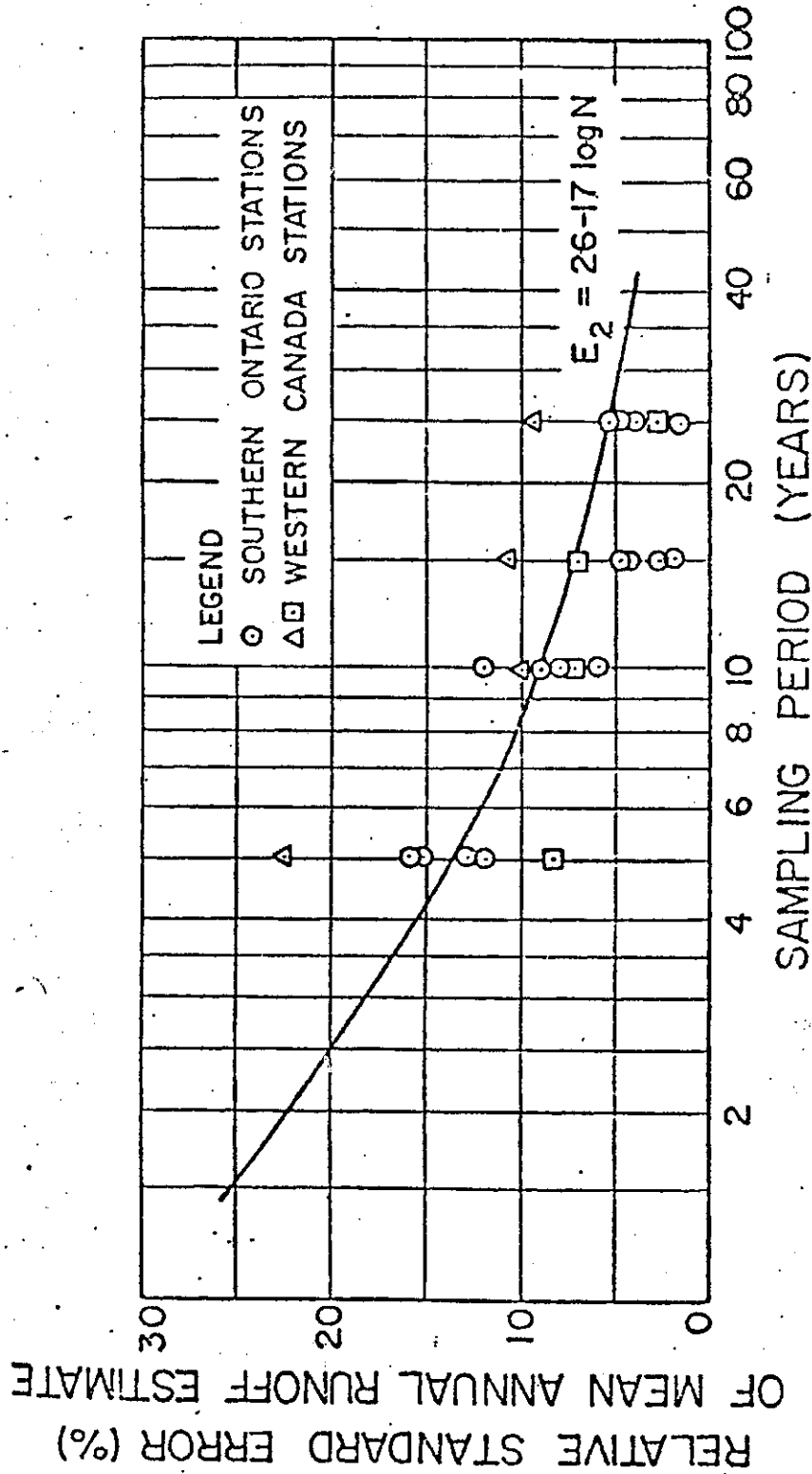
Kesalahan relatif adalah prosentase selisih besaran parameter statistik hasil pembangkitan data historis populasi dan besaran parameter statistik hasil pembangkitan data historis dengan panjang data tertentu dibagi besaran parameter hasil pembangkitan data historis populasi.

Sri Harto (1986) menunjukkan adanya hubungan antara panjang data yang tersedia dengan kesalahan yang terjadi dengan mendapatkan bahwa perbedaan panjang data yang digunakan dalam analisis perkiraan hujan dengan periode ulang tertentu adalah signifikan. Semakin pendek data historis yang digunakan, maka semakin besar kesalahan relatif yang terjadi. Menurut Warsini (1987) suatu analisis hidrologi dengan data historis kurang dari 20 tahun akan memberikan kesalahan relatif lebih besar dari 3 %.

Dalam studi yang dilakukan Radianto dan Nizam (1987) penambahan 4 buah data pada setiap tahun untuk perhitungan periode ulang 20 tahunan akan meningkatkan kesalahan relatif, dan menyarankan sebaiknya cukup penambahan 2 sampai 3 buah data setiap tahunnya, sehingga dengan data 10 tahun hanya untuk perhitungan periode ulang 20 sampai 30 tahunan saja.

Penelitian Solomon (1970) pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kesalahan relatif limpasan tahunan rata-rata rencana dengan panjang data di Ontario dan Canada. Kesalahan relatif 5 % terjadi pada panjang data historis 30 tahun, sedangkan penelitian Bayu Arianto (1988) pada DPS Brantas Hulu menunjukkan kesalahan relatif 5 % untuk panjang data antara 20 - 40 tahun sesuai dengan periode ulang hujan rancangannya.

Hubungan antara kesalahan relatif debit rencana dengan panjang data historis untuk dibangkitkan belum ditemukan. Ada yang menyarankan data historis yang digunakan untuk pembangkitan model stokastik paling sedikit 4 tahun dan berisi pola musiman.



GAMBAR 2.5. HUBUNGAN ANTARA KESALAHAN RELATIF LIMPASAN TAHUNAN RATA - RATA RANCANGAN DENGAN PANJANG DATA
 SUMBER : SOLOMON, 1972

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

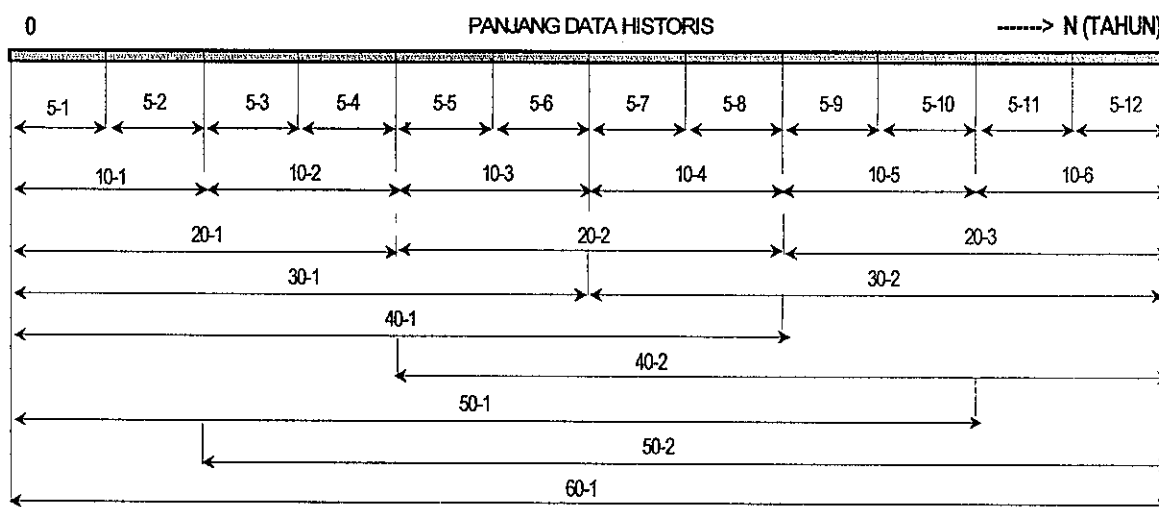
3.1. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam studi penelitian atau tesis ini adalah bahwa untuk mendapatkan data sintetik melalui pembangkitan (*generated*) dibutuhkan panjang data yang representatif atau diperkenankan secara statistik yang mewakili data aliran historisnya. Menurut Soewarno (1995), panjang data untuk analisis hidrologi secara statistik biasanya dipakai lebih dari 20 tahun. Menurut Clark (1973), parameter statistik dalam persamaan regresi disarankan jangan kurang dari 12 tahun. Ada yang menyarankan penulis (1989) bahwa untuk membangkitkan data debit historis menjadi data sintetik untuk analisis debit banjir rencana dengan model stokastik Markov diperlukan panjang data minimal 4 tahun.

Seberapa panjang data aliran historis yang representatif untuk pembangkitan data aliran, penulis dalam tesis ini akan menganalisis dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data aliran selama minimal 40 tahun dari beberapa daerah pengaliran sungai.
2. Daerah pengaliran sungai dengan luas melebihi 100 km² untuk sampel pembangkitan data.
3. Memakai model stokastik Markov untuk pembangkitan data aliran historis tahunan.
4. Memakai model stokastik Thomas-Fiering dan model stokastik Box-Jenkins (ARIMA) untuk pembangkitan data aliran historis bulanan.

5. Membangkitkan seri data aliran historis 5, 10, 20, 30, dan 40 tahunan serta seri lainnya untuk mendapatkan data sintetik 80 tahunan. Skenario analisis panjang data historis untuk seri simulasi model stokastik dijelaskan pada Gambar 3.1.
6. Membandingkan nilai statistik data aliran historis maksimum yang diasumsikan sebagai populasinya dengan data sintetik tiap seri hasil pembangkitan.
7. Menghubungkan nilai-nilai statistik untuk mendapatkan pengaruh panjang data aliran historis yang representatif pada model stokastik.



GAMBAR 3.1. SKENARIO ANALISIS PANJANG DATA HISTORIS UNTUK SERI SIMULASI MODEL STOKASTIK

3.1.1. Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan bertujuan untuk menarik kesimpulan mengenai populasinya. Sebagai bahan analisis dalam studi penelitian ini adalah data hidrologi berupa data aliran bulanan dan tahunan pada daerah pengaliran sungai yang mempunyai karakteristik luas DPS yang relatif besar ($> 100 \text{ km}^2$). Hal ini berkaitan dengan asumsi bahwa pada daerah pengaliran sungai yang luas biasanya stabil. Data

luas masing-masing daerah pengaliran sungai lokasi penelitian adalah daerah pengaliran sungai Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro (selanjutnya disebut **Bojonegoro**) = 12.804 km², daerah pengaliran sungai Serang di stasiun hidrometri waduk Kedungombo (selanjutnya disebut **Kedungombo**) = 614 km², dan daerah pengaliran sungai Citarum di stasiun hidrometri waduk Cirata (selanjutnya disebut **Cirata**) = 2.283 km².

Data aliran historis berupa data sekunder yang berasal dari sumber instansi Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai (PIWS) yang dicatat oleh petugas yang berwenang dalam pencatatan data hidrologi dan meteorologi. Pengujian data aliran historis yang diperoleh dari sumber Dinas dan Proyek secara statistik masih diperlukan guna mengecek kevalidan data. Sumber data masing-masing DPS adalah sebagai berikut: sumber data Cirata dari PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Unit Pembangkitan Cirata, sumber data Bojonegoro dari Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo, dan sumber data Kedungombo dari Badan Pelaksana Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Jratunseluna.

Konstansitas data yang terjaga sepanjang waktu dibutuhkan untuk memperoleh data aliran historis yang tidak terputus yaitu dengan pengelolaan alat pencatatan data oleh petugas Proyek. Semakin lama pencatatan data aliran historis semakin baik karena secara statistik akan mendekati sifat populasinya.

Ketersediaan data cukup terpenuhi dengan panjang data aliran historis minimal 40 tahun dari berbagai Daerah Pengaliran Sungai, antara lain : Bojonegoro adalah 40 tahun (1952-1991), Kedung Ombo adalah 47 tahun (1952-1998), dan Cirata adalah 73 tahun (1929-2001).

Lokasi Bojonegoro berada ± 100 km arah Barat kota Surabaya Jawa Timur, lokasi Kedungombo berada ± 20 km arah Selatan kota Purwodadi kabupaten Grobogan Jawa Tengah, serta lokasi Cirata terletak ± 30 km arah Barat kota Bandung Jawa Barat. Penyebaran lokasi pengambilan sampel yang tersebar di 3 (tiga) wilayah pulau Jawa tersebut diharapkan dapat diperoleh masukan yang dapat membuat kesimpulan yang baik.

3.1.2. Kritik Data

Kritik data harus dilakukan untuk memberi gambaran yang jelas mengenai data itu sendiri. Hampir seluruh data aliran historis yang telah dicatat harus dibersihkan untuk mengidentifikasi model stokastik. Nilai ekstrim akibat kesalahan pencatatan atau kejadian abnormal (*abnormal event*) harus diperbaiki dengan metode korelasi dan interpolasi. Data yang hilang harus dipertimbangkan untuk diganti melalui metode *reciprocal* atau dihilangkan bagian depan atau belakang dari data itu.

3.2. Prediksi Model

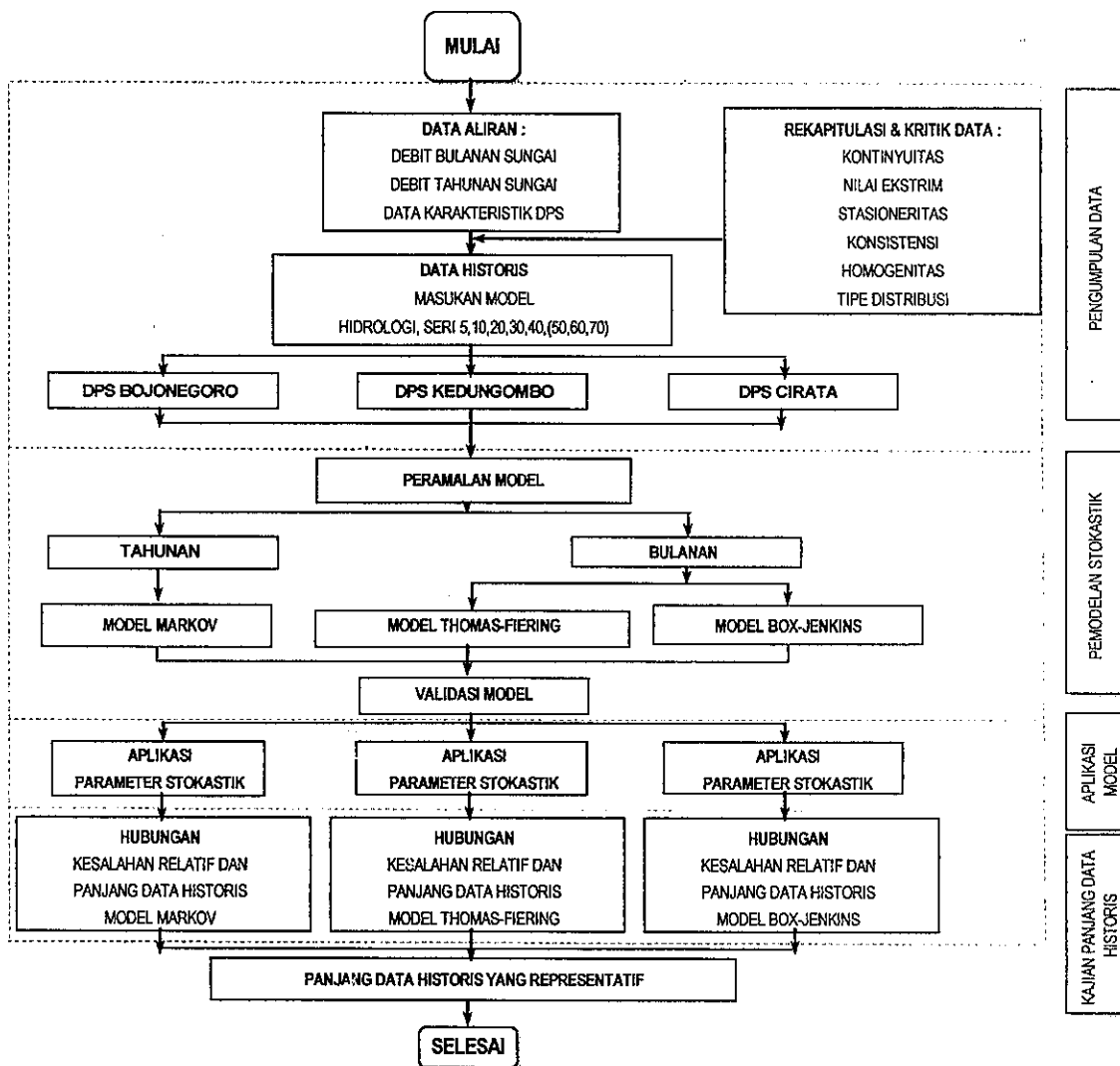
Langkah-langkah dasar dalam penggunaan model hidrologi menurut Soegijanto (2000) adalah:

1. Perumusan masalah, yaitu permasalahan yang ada di lapangan dikaji dan dilakukan perumusan masalahnya.
2. Pemilihan model, yaitu menjabarkan pemecahannya kedalam sesuatu yang menyerupai keadaan sebenarnya.
3. Kalibrasi model, yaitu simulasi model untuk mendapatkan parameter model.

Dalam penelitian ini model Stokastik yang terbaik dipilih berdasarkan analisis autokorelasi, yaitu merupakan ukuran statistik yang menyatakan bagaimana suatu deret

berkala (*time series*) saling berhubungan di antaranya sepanjang waktu. Dengan perkataan lain korelasi antara 2 *series* dan bilangan sebelumnya dengan menghitung kovarians dibagi standar deviasi.

Tahap-tahap penelitian kajian panjang data yang representatif pada model stokastik ditunjukkan dengan Bagan Alir pada Gambar 3.2.



GAMBAR 3.2. BAGAN ALIR: KAJIAN PANJANG DATA HISTORIS YANG REPRESENTATIF PADA MODEL STOKASTIK

3.2.1. Stasionair

Stasionair didefinisikan sebagai suatu pola yang konstan berada pada nilai tengah. Stasionair berarti tidak terdapat kenaikan dan penurunan pada data dan data

harus horisontal sepanjang sumbu waktu. Fluktuasi data berada di sekitar, tidak tergantung pada waktu dan varian dari fluktuasi tersebut konstan setiap waktu.

3.2.2. Musiman

Musiman didefinisikan sebagai suatu pola yang berulang-ulang dalam selang waktu yang tetap, sedemikian sehingga autokorelasi akan mempunyai nilai positif yang tinggi yang konsisten pada lag k dan memperlihatkan bahwa pada bulan-bulan selain pada lag k di dalam satu tahun signifikasinya tidak berbeda dari nol (tidak berhubungan atau acak). Untuk data yang stasionair, faktor musiman dapat ditentukan dengan mengidentifikasi koefisien autokorelasi pada dua atau tiga *time lag* yang berbeda nyata dari nol. Autokorelasi yang secara signifikan berbeda dari nol menyatakan adanya suatu pola dalam data. Untuk mengenali adanya faktor musiman eko wahyuni harus melihat pada autokorelasi yang tinggi seperti tersebut.

Faktor musiman dapat dengan mudah dilihat di dalam grafik autokorelasi atau dilihat cepat pada autokorelasi dari *time lag* yang berbeda, jika hanya pola tersebut yang ada. Tetapi hal ini tidak mudah jika dikombinasikan dengan pola lain seperti *trend*. Semakin kuat pengaruh *trend* akan semakin tidak jelas adanya faktor musim, karena secara relatif besarnya autokorelasi yang positif merupakan hasil dari adanya ketidakstasionairan data karena adanya *trend*. Data tersebut harus ditrans-formasikan ke bentuk yang stasionair sebelum ditentukan adanya faktor musim.

3.3. Model Markov

Metode Markov adalah model simulasi stokastik autoregresif tahunan yang paling sederhana. Model Markov mempunyai bentuk, yaitu (Soemarto, 1987):

$$q_i = d_i + e_i \dots\dots\dots(3-1)$$

di mana:

d_t = komponen deterministik

e_t = komponen acak

Komponen deterministik mempunyai bentuk autoregresif linier, yaitu:

$$d_t = \beta_0 + \beta_1 q_{t-1} + \beta_2 q_{t-2} + \dots + \beta_m q_{t-m} \dots\dots\dots(3-2)$$

di mana :

d_t = kombinasi linier dari m buah aliran sebelumnya, untuk suatu m terbatas.

Dalam model Markov tersebut dianggap bahwa seluruh pengaruh sebelumnya terhadap aliran sekarang direfleksikan dalam nilai aliran yang terdahulu. Untuk model Markov lag-satu konstanta β_0 dan β_1 serta e_t ditentukan. Jika μ merupakan nilai tengah aliran, koefisien korelasi serial lag-satu dan σ^2 keragaman aliran, maka bentuk persamaan adalah sebagai berikut :

$$q_t = \mu + \rho (q_{t-1} - \mu) + e_t \dots\dots\dots(3-3)$$

di mana:

q_t = penjumlahan dari nilai tengah

μ = nilai tengah

ρ = koefisien korelasi

e_t = komponen acak

Keragaman q_t mempunyai hubungan dengan σ_e^2 yang dinyatakan dalam:

$$\sigma_e^2 = \sigma^2 (1-\rho^2) \dots\dots\dots(3-4)$$

Hal ini terjadi karena aliran q_t mempunyai keragaman komponen acak e_t .

Jika t_i merupakan variabel acak yang mempunyai distribusi normal, tidak tergantung secara serial bernilai tengah nol dan berstandar deviasi satu, maka persamaan (3-3) menjadi sebagai berikut:

$$q_t = \mu + \rho (q_{t-1} - \mu) + t_i \sigma \sqrt{1-\rho^2} \dots\dots\dots(3-5)$$

Model ini melakukan regresi aliran dari periode waktu i menjadi aliran pada waktu $i-1$. Dengan q sebagai debit tahunan, maka q_i sebagai data sintetik hasil model stokastik Markov dapat dihitung.

3.4. Model Thomas-Fiering

3.4.1. Prosedur Model Thomas-Fiering

Model Thomas-Fiering berlaku untuk aliran sungai *perennial* (Mediana, 1988). Prosedur pembangkitan data debit bulanan model Thomas-Fiering dapat ditulis sebagai berikut:

1. Menghitung debit rata-rata tiap bulan dari data aliran historis dengan:

$$q_j = \sum q_{ij} / n \dots\dots\dots(3-6)$$

di mana:

q_j = debit rata-rata bulan ke- j

q_{ij} = debit tahun ke- i , bulan ke- j

n = panjang data bulan ke- j .

2. Menghitung standar deviasi tiap bulan semua data debit historis dengan :

$$\sigma_j = \sum (q_{ij} - q_j)^2 / (n-1) \dots\dots\dots(3-7)$$

di mana:

σ_j = standar deviasi

q_{ij} = debit tahun ke- i , bulan ke- j

q_j = debit rata-rata bulan ke- j .

3. Menghitung koefisien korelasi serial tiap bulan data debit historis dengan:

$$\rho_j = \sum (q_{ij} - q_j) (q_{i,j-1} - q_{j-1}) / (\sum (q_{ij} - q_j)^2 (q_{i,j-1} - q_{j-1})^2) \dots\dots\dots(3-8)$$

di mana:

ρ_j = koefisien korelasi serial bulan ke- j dengan bulan ke- $j-1$

$q_{i,j}$ = debit tahun ke-i, bulan ke-j

$q_{j,j}$ = debit tahun ke-I, bulan ke-j

$q_{i,j-1}$ = debit rata-rata bulan ke-j-1

4. Menghitung koefisien regresi bulanan sebagai berikut:

$$\beta_j = \rho_j \sigma_j / \sigma_{j-1} \dots \dots \dots (3-9)$$

β_j = koefisien regresi bulan ke-j

ρ_j = koefisien korelasi serial debit rata-rata bulan ke-j dan bulan ke-j-1

σ_j = standar deviasi bulan ke-j

σ_{j-1} = standar deviasi bulan ke-j-1

5. Menghitung koefisien variasi bulanan sebagai berikut:

$$Cv_j = \sigma_j / q_j \dots \dots \dots (3-10)$$

Cv_j = koefisien variasi bulan ke-j

σ_j = standar deviasi bulan ke-j

q_j = debit rata-rata bulan ke-j

6. Menghitung koefisien asimetri bulanan sebagai berikut:

$$\gamma_j = 3Cv_j / Cv_j^3 \dots \dots \dots (3-11)$$

γ_j = koefisien asimetri bulan ke-j

Cv_j = koefisien variasi bulan ke-j

7. Membuat bilangan acak berdistribusi seragam antara 0 dan 1. Mengubah menjadi bilangan acak berdistribusi normal baku dengan dengan nilai tengah 0 dan variasi 1, dan mengoreksi menjadi distribusi gamma.

8. Membangkitkan data sintetik model Thomas-Fiering sebagai berikut:

$$q_{i,j} = \bar{q}_i + \beta_j (q_{i,j} - \bar{q}_{j-1}) + t_{i,\gamma,j} \cdot \sigma_j \sqrt{(1 - \rho_j^2)} \dots \dots \dots (3-12)$$

di mana :

$q_{i,j}$ = debit tahun ke-i, bulan ke-j

q_j = debit rata-rata bulan ke-j

$q_{j,j-1}$ = debit rata-rata bulan ke-j-1

β_j = koefisien korelasi serial bulan ke-j dengan bulan ke-j-1

ρ_j = koefisien korelasi serial debit rata-rata bulan ke-j dan bulan ke-j-1

$t_{i,j}$ = nilai acak berdistribusi normal baku pada tahun ke-i bulan ke-j

σ_j = standar deviasi bulan ke-j

3.4.2. Validasi Model Thomas-Fiering

Validasi model Thomas-Fering adalah dengan menguji kesamaan nilai tengah (*mean*) dan varian antara dua populasi, sehingga dapat diketahui bahwa data aliran historis dan data sintetik hasil simulasi model stokastik tersebut berasal dari populasi yang sama dengan tingkat kepercayaan tertentu.

Uji kesamaan nilai tengah antara data aliran historis dan data sintetik hasil simulasi model stokastik sebagai berikut (Soewarno 1995):

1. Merentukan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (tidak terdapat perbedaan nyata)

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (terdapat perbedaan nyata)

2. Menghitung statistik penguji berdistribusi student-t sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1 + n_2}}} \dots\dots\dots (3-13)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \dots\dots\dots (3-14)$$

3. Menghitung derajat kebebasan sebagai berikut:

$$DK = n_1 + n_2 - 2$$

Di mana,

DK = derajat kebebasan

T = statistik penguji nilai tengah

\bar{x}_1 = nilai tengah data aliran historis

\bar{x}_2 = nilai tengah data sintetik

σ = simpangan baku

n_1 = panjang data aliran historis

n_2 = panjang data sintetik

S_1 = simpangan baku data aliran historis

S_2 = simpangan baku data sintetik

4. Menentukan daerah kritik dan titik dua sisi, yaitu $-t_{cr}(k;\alpha)$ dan $t_{cr}(k;\alpha)$ dengan derajat kebebasan DK dan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi $-t$ (lihat Lampiran VII Tabel VII-1)

5. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ diterima apabila $-t_{cr} < t < t_{cr}$

Uji kesamaan varian antara data aliran historis dengan data sintetik hasil simulasi model stokastik sebagai berikut (Soewarno, 1995):

1. Menentukan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : S_1 = S_2 \text{ (tidak terdapat perbedaan nyata)}$$

$$H_1 : S_1 \neq S_2 \text{ (terdapat perbedaan nyata)}$$

2. Menghitung statistik penguji berdistribusi F, sebagai berikut:

$$F = \frac{n_1 \cdot S_1^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_2 \cdot S_2^2 \cdot (n_1 - 1)} \dots\dots\dots (3-15)$$

3. Menghitung derajat kebebasan (DK) sebagai berikut:

$$DK_1 = n_1 - 1$$

$$DK_2 = n_2 - 2$$

di mana,

F = statistik pengujian varian

S_1^2 = varian data aliran historis

S_2^2 = varian data sintetis

n_1 = panjang data aliran historis

n_2 = panjang data sintetis

DK_1 = derajat kebebasan data aliran historis

DK_2 = derajat kebebasan data sintetis

4. Menentukan luas daerah distribusi F, yaitu $F_{\alpha}(DK_1, DK_2; \alpha)$ dengan kebebasan data aliran historis DK_1 dan data sintetis DK_2 serta dengan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi F (lihat Lampiran VII Tabel VII-2).

5. $H_0: \mu_1 = \mu_2$ diterima apabila $1/F_{\alpha}(k_2; k_1; \alpha/2)$.

Y_t = seri yang tergantung waktu, yang berdistribusi normal dengan nilai tengah μ dan variasi τ^2

ε_t = variabel random, berdistribusi normal dengan nilai tengah nol dan variasi τ_{ε}^2

μ = nilai tengah

$\alpha_{1..p}$ = koefisien moving average.

3.5. Model Box-Jenkins (ARIMA)

Model Box-Jenkins (ARIMA) menganggap deret (a_t) bersebaran normal dan bebas. Anggapan ini menjadi kunci penyelesaian parameter-parameter persamaan-nya.

Menurut teori statistik, nilai parameter yang dipilih hendaknya membuat $\sum a_t^2$ mencapai nilai terkecil. Clarke (1973) memberikan cara untuk menghitung parameter θ dan ϕ dari model Box-Jenkins (ARIMA) $(0,1,1) (0,1,1)^{12}$.

Persamaan modelnya :

$$y_t - y_{t-1} - y_{t-12} + y_{t-13} = a_t - \theta * a_{t-1} - \phi * a_{t-12} + \theta * \phi * a_{t-13} \dots\dots\dots(3-16)$$

Persamaan ini hanya mempunyai tiga parameter yang harus diselesaikan, yaitu : θ, ϕ dan σ_a^2 . Perhitungan dibahas sebagai berikut ini.

1. Deret variabel diberi nomor dari - 12 sampai (n - 13). Misalkan ada data selama 12 tahun, maka deretnya:

$$[y_{-12}, y_{-11}, \dots, y_{-1}, y_0, y_1, \dots, y_{131}]$$

di mana:

$$w_t = y_t - y_{t-1} - y_{t-12} + y_{t-13} \dots\dots\dots(3-17)$$

w diberi nomor dari 1 sampai 131.

2. Hitung nilai θ_0, ϕ_0 untuk penghitungan dengan matrik atau memulai iterasi.

$$\rho_1 = \frac{-\theta}{(1+\theta^2)} \rightarrow \theta_0 = \frac{[-1 + \sqrt{(1-4\rho_1^2)}]}{(2\rho_1)}$$

$$\rho_{12} = \frac{\phi}{(1+\phi^2)} \rightarrow \phi_0 = \frac{[1 + \sqrt{(1-4\rho_{12}^2)}]}{(2\rho_{12})}$$

3. Nilai ρ_1 dan ρ_{12} adalah koefisien korelasi seri lag 1 dan lag 12 dari w.

Hitung $e_{132}, e_{130}, \dots, e_i$ dengan rumus:

$$e_t = w_t + \theta_0 * e_{t+1} + \theta_0 * \phi_{t+12} - \theta_0 * \phi_0 * e_{t+13}$$

Semua nilai e yang tidak diketahui diganti dengan nol.

4. Hitung nilai-nilai $w_0, w_{-1}, \dots, w_{-12}$ dengan rumus :

$$w_t = e_t - \theta_0 * e_{t+1} - \phi_0 * e_{t+2} + \theta_0 * \phi_0 * e_{t+3}$$

Semua nilai e yang tidak diketahui diganti dengan nol.

5. Dengan formula :

$$a_t = w_t + \theta_0 * a_{t-1} + \phi_0 * a_{t-2} - \theta_0 * \phi_0 * a_{t-3}$$

dan nilai a yang tidak diketahui diganti dengan nol, hitung $a_{-12}, a_{-11}, a_{-10}$

..... $a_{-1}, a_0, a_1, \dots, a_{131}$.

6. Ulangi hitungan dari (2) sampai dengan (5) di atas untuk nilai-nilai :

$$\theta_0 + 0,1 \theta_0 \quad \text{dan} \quad \phi_0 - 0,1 \phi_0$$

sehingga didapat 3 deret a_t dari pasangan-pasangan :

$$(\theta_0, \phi_0)$$

$$(\theta_0 + 0,1 \theta_0, \phi_0)$$

$$(\theta_0, \phi_0 - 0,1 \phi_0)$$

kemudian didapat :

$$(a_{-12}, a_{-11}, \dots, a_{131}) \text{ I } \theta_0, \phi_0 \quad \longrightarrow \quad \text{ap (1,t)}$$

$$(a_{-12}, a_{-11}, \dots, a_{131}) \text{ I } \theta_0 + 0,1 \theta_0, \phi_0 \quad \longrightarrow \quad \text{ap (2,t)}$$

$$(a_{-12}, a_{-11}, \dots, a_{131}) \text{ I } \theta_0, \phi_0 - 0,1 \phi_0 \quad \longrightarrow \quad \text{ap (3,t)}$$

7. Hitung deret $\{ x(1,t) \}$ yang elemennya didapat dari elemen ap (1,t)

dikurangi ap (2,t) dibagi $0,2 \theta_0$ dan deret $\{ x(2,t) \}$ yang elemennya

didapat dari ap(1,t) dikurangi ap(3,t) dibagi $0,2 \theta_0$.

8. Hitung regresi ganda :

$$\text{ap (1,t)} = b_0 x(1,t) + b_0 x(2,t) + \text{konstanta}$$

Koefisien b_0 adalah koefisien regresi ganda bila $x(2,t)$ dianggap konstan.

Koefisien b_1 adalah koefisien regresi antara $ap(1,t)$ dan $x(2,t)$ bila $x(1,t)$

dianggap konstan. Metoda kuadrat terkecil memberikan persamaan :

$$\begin{aligned}
 b_0 \sum \{\Delta x(1,t)\}^2 + b_1 \sum \{\Delta x(1,t)\Delta x(2,t)\} = \\
 \sum \{(\Delta ap(1,t)\Delta x(1,t))\} \\
 b_1 \sum \{\Delta x(1,t)\Delta x(2,t)\} + b_0 \sum \{\Delta ap(1,t)\Delta x(1,t)\}^2 = \\
 \sum \{(\Delta ap(1,t)\Delta x(1,t))\} \\
 \sum \Delta x = \sum (x_i - \bar{x})
 \end{aligned}$$

dari persamaan – persamaan di atas, dapat dihitung nilai b_0 dan b_1 .

9. Ganti nilai θ dan Θ dengan :

$$\theta_1 = \theta_0 + b_0$$

$$\Theta_1 = \Theta_0 + b_1$$

10. Hitungan diulangi dengan nilai-nilai baru ini. Ulangi terus sampai nilai b_0

dan b_1 dapat diabaikan. Misalnya saja, sampai nilai-nilai kurang dari $0,01 \times$

θ dan θ yang berlaku. Nilai akhir ini yang menjadi perkiraan yang paling

mungkin (*maximum likelihood estimates*) bagi parameter yang dicari. Nilai

akhir θ dan θ ini dimasukkan ke persamaan (3-16), guna peramalan nilai-

nilai debit bulanan. Ralat a_p hendaknya merupakan variabel normal, di

mana korelasi seri r_k diperkirakan bersebaran normal dengan rerata nol dan

ragam kira-kira $1/N$ ($N =$ jumlah data). Uji Box-Pierce kombinasi

(*portmanteau*) dapat menjawab pertanyaan ini (Kotegoda, 1980). Jika k

cukup besar, misalnya antara 10 dan 25, maka $Q = n \sum_{i=1}^k r_i^2$ memiliki

sebaran χ^2 dengan derajat bebas $U = k - p - q$ dan $n = N - d$, pada model

ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)^s. Nilai Q harus lebih kecil dari x^2 untuk yang ditetapkan (lihat Tabel 3.1).

TABEL 3.1. HUBUNGAN ANTARA X, D DAN P

D	Tingkat peluang (p)							
	0,99	0,95	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,01
1	0,00	0,00	0,06	0,45	1,60	2,70	3,84	6,63
2	0,02	0,10	0,44	1,38	3,21	4,60	5,99	9,21
3	0,11	0,35	1,00	2,36	4,64	6,25	7,81	11,34
4	0,29	0,71	1,64	3,35	5,98	7,79	9,48	12,27
5	0,55	1,14	2,34	4,35	7,28	9,23	11,07	15,08
6	0,87	1,63	3,07	5,38	8,55	10,64	12,59	16,81
7	1,23	2,16	3,82	6,33	9,80	12,01	14,06	18,47
8	1,64	2,73	4,59	7,34	11,03	13,36	15,50	20,09
9	2,08	3,32	5,38	8,34	12,24	14,68	16,91	21,66
10	2,55	3,94	6,17	9,34	13,44	15,98	18,30	23,20
11	3,05	4,57	6,98	10,34	14,63	17,27	19,67	24,72
12	3,57	5,22	7,80	11,34	15,81	18,54	21,02	26,21
13	4,10	5,89	8,63	12,34	16,98	19,81	22,36	27,68
14	4,66	6,57	9,46	13,33	18,15	21,06	23,68	29,14
15	5,22	7,26	10,30	14,33	19,31	22,30	24,99	30,57
16	5,81	7,96	11,15	15,33	20,46	23,54	26,29	32,00
17	6,40	8,67	12,00	16,33	21,61	24,76	27,58	33,40
18	7,01	9,39	13,85	17,33	22,76	25,98	28,86	34,80
19	7,63	10,11	13,71	18,33	23,90	27,20	30,14	36,19
20	8,26	10,85	14,37	19,33	25,03	28,41	31,41	37,36
21	8,89	11,39	15,44	20,33	26,17	29,61	32,67	38,93
22	9,54	12,33	16,31	21,33	27,30	30,81	33,92	40,28
23	10,19	13,09	17,18	22,33	28,42	32,00	35,17	41,63
24	10,85	13,84	18,06	23,33	29,55	33,19	36,41	42,98
25	11,52	14,61	18,94	24,33	30,67	34,38	37,65	44,98
26	12,19	15,37	19,82	25,33	31,79	35,56	38,88	45,64
27	12,87	16,15	20,00	26,33	32,91	36,74	40,11	46,96
28	13,56	16,92	21,58	27,33	34,02	37,91	41,33	48,27
29	14,23	17,70	22,47	28,33	35,13	39,08	42,55	49,58
30	14,95	18,49	23,36	29,33	36,25	40,25	43,77	50,89

(sumber: Varshney, 1979)

3.5.1. Identifikasi Model

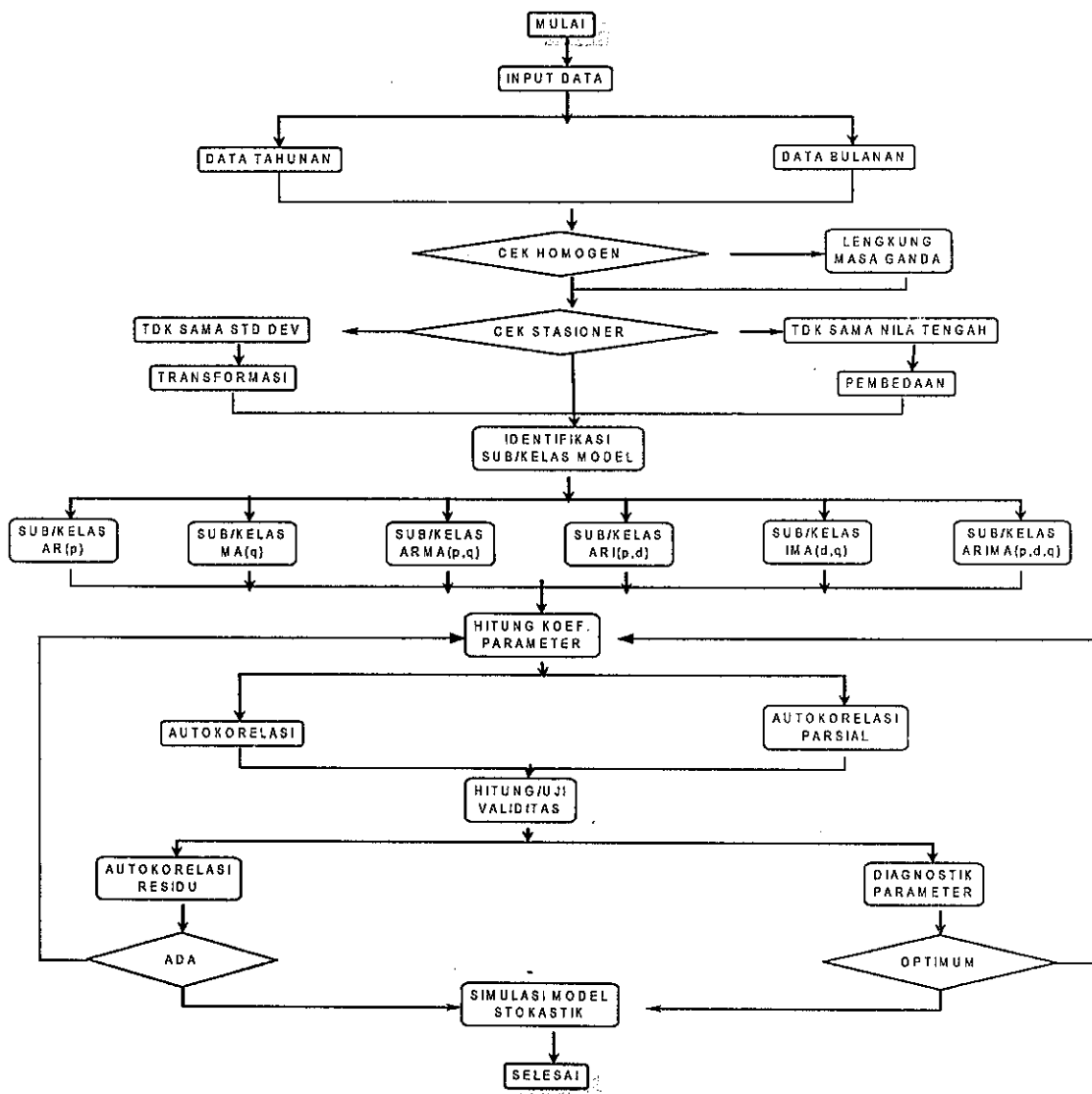
Metode Box-Jenkins adalah metode simulasi stokastik yang dikembangkan oleh George Box dan Gwilym Jenkins (1976). Metode ini merupakan metode yang sistematis dalam mengidentifikasi jenis model dan menghitung parameter model serta menguji validitas model yang ditentukan.

Sub/kelas model dari metode Box-Jenkins adalah:

1. AR(p), Autoregressive
2. MA(q), Moving Average
3. ARMA(p,q), Autoregressive Moving Average
4. ARI(p,d), Autoregressive Integrated

- 5. IMA(d,q), Integrated Moving Average
- 6. ARIMA(p,d,q), Autoregressive Integrated Moving Average

Bagan alir metode Box-Jenkins dapat digambarkan pada Gambar 3-3.



GAMBAR 3.3. BAGAN ALIR METODE SIMULASI STOKASTIK BOX-JENKINS (ARIMA)

3.5.1.1. Autokorelasi

Metode identifikasi model stokastik yang pertama adalah autokorelasi yaitu merupakan ukuran statistik yang menyatakan bagaimana suatu time series saling

berhubungan di antaranya sepanjang waktu. Suatu bilangan dalam suatu deret yang mempunyai hubungan dengan bilangan sebelumnya yang dipisahkan oleh selang waktu (lag). Autokorelasi lag 2 adalah menyatakan bagaimana hubungan antara bilangan dengan selisih 2 periode, di mana $-1 \leq \text{autokorelasi} \leq +1$.

Autokorelasi (COR) adalah kovarian (COV) dibagi standar deviasi (STD) atau kovarian (COV) dibagi akar dari varian (VAR).

$$COR(X, Y) = \frac{COV(X, Y)}{STD(X)STD(Y)} \dots\dots\dots(3-18)$$

$$COR(X, Y) = \frac{COV(X, Y)}{\sqrt{VAR(X)}\sqrt{VAR(Y)}} \dots\dots\dots(3-19)$$

$$COR(X, Y) = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n}}} \dots\dots\dots(3-20)$$

Tinjauan model autoregresif orde 1, AR(1) :

$$X_t = A_1^1 X_{t-1} + \varepsilon_t \dots\dots\dots(3-21)$$

$$R_t = COR(X_t, X_{t-1}) = \frac{COV(X_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)}$$

$$R_t = \frac{A_1^1 COV(X_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)} + \frac{COV(\varepsilon_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)} \dots\dots\dots(3-23)$$

Tinjauan model autoregresif orde 2 (AR(2)) :

$$X_t = A_1^2 X_{t-1} + A_2^2 X_{t-2} + \varepsilon_t \dots\dots\dots(3-24)$$

$$R_t = COR(X_t, X_{t-1}) = \frac{COV(X_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)} \dots\dots\dots(3-25)$$

$$R_t = \frac{A_1^2 COV(X_{t-1}, X_{t-1})}{VAR(X_t)} + \frac{A_2^2 COV(X_{t-2}, X_{t-1})}{VAR(X_t)} + \frac{COV(\varepsilon_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)} \dots\dots\dots(3-26)$$

$$R_1 = A_1^2 + A_2^2 R_1 \dots\dots\dots (3-27)$$

$$R_2 = COR(X_t, X_{t-2}) = \frac{COV(X_t, X_{t-2})}{VAR(X_t)} \dots\dots\dots (3-28)$$

$$R_2 = \frac{A_1^2 COV(X_{t-1}, X_{t-2})}{VAR(X_t)} + \frac{A_2^2 COV(X_{t-2}, X_{t-2})}{VAR(X_t)} + \frac{COV(\varepsilon_t, X_{t-2})}{VAR(X_t)} \dots\dots\dots (3-29)$$

$$R_2 = A_1^2 R_1 + A_2^2 \dots\dots\dots (3-30)$$

Secara umum untuk model $AR(p)$ adalah :

$$\begin{aligned} R_1 &= A_1^p + A_2^p R_1 + A_3^p R_2 + \dots + A_p^p R_{p-1} \\ R_2 &= A_1^p R_1 + A_2^p + A_3^p R_2 + \dots + A_p^p R_{p-2} \\ R_3 &= A_1^p R_2 + A_2^p R_1 + A_3^p + \dots + A_p^p R_{p-3} \\ R_p &= A_1^p R_{p-1} + A_2^p R_{p-2} + A_3^p R_{p-3} + \dots + A_p^p \dots\dots\dots (3-31) \end{aligned}$$

Untuk $k > p$, maka koefisien autokorelasi parsial sama dengan 0.

3.5.1.2. Autokorelasi Parsial

Metode identifikasi model stokastik yang kedua adalah autokorelasi parsial yaitu merupakan ukuran statistik yang menyatakan bagaimana suatu *time series* saling berhubungan secara terpisah di antaranya sepanjang waktu. Autokorelasi parsial adalah variabel yang mengikat autokorelasi *lag* ke k . Dalam kaitan dengan autokorelasi bahwa A_k^p merupakan autokorelasi parsial, di mana p = orde dan k = lag. Penentuan autokorelasi parsial dilakukan dengan menyelesaikan persamaan pada orde ke p dan lag ke k melalui metode matrik.

3.5.2. Estimasi Parameter Model

3.5.2.1. Penentuan Keacakan

Suatu model peramalan yang telah dipilih, autokorelasi residu (nilai sisa) dihitung untuk menetapkan apakah data tersebut acak. Pendekatan standar untuk

menetapkan apakah nilai-nilai residu bersifat acak adalah dengan cara menghitung autokorelasi dari residu – residu tersebut. Perhitungan diagnostik residu dilakukan dengan mencari rata – rata kesalahan (*RME*) dan rata – rata persentase kesalahan.

3.5.2.2. Pengujian Stasionairitas

Visualisasi suatu plot deret berkala seringkali cukup untuk meyakinkan ekowahyuni bahwa data tersebut adalah stasionair atau tidak stationer, demikian pula plot autokorelasi dapat dengan mudah memperlihatkan ketidakstasionairan. Nilai-nilai autokorelasi dari data stasionair akan turun sampai nol sesudah *time lag* kedua atau ketiga, sedangkan untuk data yang tidak stasionair, nilai-nilai tersebut berbeda signifikan dari nol untuk beberapa periode waktu. Jika ditampilkan secara grafik, autokorelasi data yang tidak stasionair memperlihatkan suatu *trend* searah diagonal dari kanan ke kiri bersama dengan meningkatnya jumlah *time lag*.

Adanya suatu trend dalam data berarti setiap nilai yang berturut-turut akan berkorelasi positif satu sama lainnya. Autokorelasi dari suatu *time lag* r_1 , relatif akan besar dan positif, tetapi tidak sebesar r_1 , karena komponen residu acak telah dimasukkan dua kali. Demikian pula, secara umum, r_k untuk data yang tidak stasionair akan relatif besar dan positif, sampai nilai k menjadi cukup besar, sehingga komponen kesalahan random mulai mendominasi autokorelasi.

3.5.2.3. Penghilangan Ketidakstasionairan

Penghilangan ketidakstasionairan pada suatu deret berkala dapat dihilangkan dengan menggunakan metode pembedaan (*defferencing*), yaitu dengan mengurangkan nilai – nilai yang berurutan sehingga membentuk deret berkala baru. Apabila autokorelasi dari data yang dibedakan pertama tidak mendekati nol sesudah *lag* kedua atau ketiga, hal ini menunjukkan bahwa stasionairitas tidak dicapai dan oleh karena itu

pembedaan pertama dari data yang telah dibedakan dilakukan pembedaan kedua (*second orde differences*).

Pencapaian stasionairitas dapat diturunkan menjadi pekerjaan yang agak mekanis dengan melakukan pembedaan berturut-turut sampai nilai autokorelasi mendekati nol di dalam dua atau tiga *time lag*.

3.5.3. Validasi Model

3.5.3.1. Diagnostik Residu

Nilai sisa (residu) yang tertinggal sesudah dilakukan pencocokan model, diharapkan hanya merupakan gangguan acak. Oleh karena itu, apabila autokorelasi dan autokorelasi parsial dari nilai sisa telah diperoleh, diharapkan akan ditemukan hal – hal sebagai berikut :

1. Tidak ada autokorelasi yang nyata antar residu.
2. Tidak ada autokorelasi parsial yang nyata antar residu.

Untuk mengetahui bahwa diagnostik residu berlangsung dengan benar diperlukan hal-hal sebagai berikut:

1. Kesalahan atau bias ditunjukkan dengan menghitung rata – rata kesalahan residu dan rata – rata persentase kesalahan.
2. Korelasi antar residu ditunjukkan dengan menghitung autokorelasi dan autokorelasi parsial residu. Jika autokorelasi dan autokorelasi parsial residu menunjukkan *spike* yang besar, maka hal tersebut menunjukkan masih ada pola, residu masih berkorelasi dan model dianggap belum baik.
3. *Closseness of fit statistics* digunakan untuk mengetahui seberapa besar komponen bilangan acak dan seberapa ketidakpastian dari peramalan (*forecasting*) yang dihasilkan oleh model, ditunjukkan dengan mengukur

hubungan dengan data aliran historis dan alat untuk membandingkan berbagai alternatif.

4. *Average absolute error (AAE)*, *residual standard error (RSE)* dan *Average Absolute Percent Error (AAPE)* serta *Index of Determination (R²)* digunakan menghitung besarnya kesalahan relatif terhadap data aliran historis.

$$AAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |\varepsilon_t| \dots\dots\dots(3-31)$$

$$AAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\varepsilon_t}{X_t} \right| \times 100 \dots\dots\dots(3-32)$$

$$RSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2} \dots\dots\dots(3-33)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma\varepsilon^2}{\sigma x^2} \dots\dots\dots(3-34)$$

Mempelajari nilai sisa (*residual*) untuk melihat apakah masih terdapat beberapa pola yang belum diperhitungkan.

Uji kevalidan model dilaksanakan untuk memperoleh model stokastik yang :

1. mempunyai kesalahan terkecil,
2. nilai residu tidak mempunyai korelasi,
3. bentuk model yang sederhana dan aplikabel.

Terdapat dua cara yang mendasar untuk melakukan diagnostik terhadap suatu model stokastik, yaitu dengan melakukan diagnostik parameter dan diagnostik residu.

3.5.3.2. Pemeriksaan Parameter

Penaksiran nilai-nilai parameter dari model ditetapkan dahulu untuk sementara, kemudian dilakukan diagnostik parameter dan diagnostik residu untuk membuktikan

bahwa model tersebut cukup memadai atau andal. Beberapa yang harus dilakukan adalah:

1. Mempelajari korelasi antar parameter dengan mengukur korelasi antara 2 (dua) parameter dalam model stokastik. Jika ada 2 (dua) parameter yang sangat berkorelasi maka salah satu dapat diabaikan sedemikian sehingga model menjadi lebih sederhana tanpa mengurangi kualitas. Eliminasi parameter ini sangat berguna jika terdapat banyak parameter yang mempunyai korelasi kuat yang menyebabkan model menjadi tidak aplikabel.
2. Mengetahui batas kepercayaan parameter dengan mengukur keakuratan parameter dalam model stokastik sehingga dapat ditentukan parameter yang tidak diperlukan atau tidak tepat. Batas kepercayaan biasanya ditetapkan dengan tingkat kepercayaan 95 % (Eko Wahyuni, 2001). Jika interval yang terjadi mencakup bilangan nol, maka parameter tidak signifikan dan parameter tersebut biasanya dieliminasi dari model stokastik.

3.6. Uji Statistik Model

Jika X_t merupakan data aliran historis untuk periode t dan F_t merupakan ramalan atau nilai kecocokan (*fitted value*) untuk periode yang sama, maka kesalahan didefinisikan sebagai E_t . Besaran $E_t = X_t - F_t$.

Ukuran statistik standar terdiri dari:

1. Nilai tengah residu (*mean error*) :

$$ME = \sum_{t=1}^n e_t / n \dots\dots\dots(3-35)$$

2. Nilai tengah residu absolut (*mean absolute error*)

$$MAE = \sum_{t=1}^n |e_t| / n \dots\dots\dots(3-36)$$

di mana,

m = lag maksimum

n = N – d

N = jumlah data aliran historis

r_k = autokorelasi untuk lag k

Q = menyebar mengikuti chi kuadrat dengan derajat bebas (m-p-q)

Q statistik ini dianggap sebagai nilai chi kuadrat dengan df sebesar (m-p-q). Jika nilai chi kuadrat untuk df tertentu dengan tingkat kesalahan α persen maka Q perhitungan dapat dibandingkan dengan P tabel chi kuadrat.

3.7. Analisis Panjang Data Historis

Skenario analisis panjang data historis untuk seri simulasi model stokastik dimulai dengan membagi data historis yang tersedia menjadi 5 tahunan, sehingga jika data historis terpanjang adalah 40 tahun, maka terdapat 8 seri 5 tahunan, yaitu 5-1, 5-2, ..., 5-8. Terdapat pula 4 seri 10 tahunan, yaitu 10-1, 10-2, 10-3 dan 10-4, dan seterusnya. Masing-masing seri adalah data historis yang digunakan untuk pembangkitan data sintetik dari model stokastik, sehingga diperoleh nilai statistik untuk keperluan analisis panjang data historis yang representatif. Untuk menganalisis panjang data historis dipakai alat pengukur yaitu nilai kesalahan relatif.

Kesalahan relatif merupakan prosentase nilai yang membandingkan selisih nilai tengah data sintetik yang dibangkitkan oleh panjang data terpanjang dengan nilai tengah data sintetik hasil pembangkitan oleh seri data tertentu. Persamaan kesalahan relatif tersebut digunakan sebagai alat untuk menggambarkan hubungan panjang data aliran historis yang representatif pada model stokastik yang diteliti.

Kesalahan relatif pada nilai tengah ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta = |\mu_p - \mu_x| / \mu_p \times 100\% \dots\dots\dots (3-37)$$

di mana:

Δ = kesalahan relatif

μ_p = nilai tengah data pembangkitan oleh panjang data historis terpanjang yang diasumsi sama dengan populasi

μ_x = nilai tengah data pembangkitan oleh panjang data historis seri tertentu

Kesalahan relatif standar deviasi ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta = |S_p - S_x| / S_p \times 100\% \dots\dots\dots (3-38)$$

di mana:

Δ = kesalahan relatif

S_p = standar deviasi data pembangkitan oleh panjang data historis terpanjang yang diasumsi sama dengan populasi

S_x = standar deviasi data pembangkitan oleh panjang data historis seri tertentu

BAB IV

ANALISIS MODEL STOKASTIK

Analisis model stokastik terdiri dari 3 model yang diteliti yaitu model Markov, Thomas-Fiering dan Box-Jenkins yang meliputi tahap-tahap pembentukan model yaitu prosedur dan validasi untuk model Markov dan Thomas-Fiering serta identifikasi, estimasi parameter model, dan validasi untuk model Box-Jenkins.

4.1. Model Markov

4.1.1. Prosedur Model Markov

Contoh perhitungan dipakai DPS Bengawan Solo di Bojonegoro seri 40-1, lihat Tabel 5.6.1. halaman 86.

1. Debit rata-rata tahunan dari data aliran historis dihitung dengan:

$$\mu = \Sigma q_i / n$$

$$\mu = 13.017 / 40$$

$$\mu = 325,44 \text{ m}^3/\text{dt}$$

2. Deviasi standar tahunan dihitung dengan:

$$\sigma = \Sigma(q_i - \mu)^2 / (n-1)$$

$$\sigma = 292.692 / (40-1)$$

$$\sigma = 292.692 / 39$$

$$\sigma = 86,63 \text{ m}^3/\text{dt}$$

3. Autokorelasi lag 1 dihitung dengan tahap-tahap berikut:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i - x_{i+1} \quad f_1 = \sum_{i=1}^{39} x_i - x_{i+1} = 4.185.823$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i \quad f_2 = \sum_{i=1}^{39} x_i = 12.693$$

$$f_3 = \sum_{i=2}^n x_i \quad f_3 = \sum_{i=2}^{40} x_i = 12.765$$

$$f_4 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} x_i \right)^2 \quad f_4 = \sum_{i=1}^{39} x_i^2 - \left(\frac{1}{39} \sum_{i=1}^{39} x_i \right)^2 = 292.691$$

sehingga : $\sqrt{f_4} = 541$

$$f_5 = \sum_{i=2}^n x_i^2 - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n x_i \right)^2 \quad f_5 = \sum_{i=2}^{40} x_i^2 - \left(\frac{1}{39} \sum_{i=2}^{40} x_i \right)^2 = 177.369$$

sehingga : $\sqrt{f_5} = 421$

Nilai autokorelasi lag 1 (r_1) adalah : $r_1 = \frac{f_1 - \frac{1}{n-1}(f_2 \times f_3)}{\sqrt{f_4} \times \sqrt{f_5}}$

$$r_1 = \frac{4.185.823_1 - \frac{1}{40-1}(12.693 \times 12.765)}{541 \times 421} \quad r_1 = 0,138$$

4. Autokorelasi lag 2 dihitung dengan tahap-tahap berikut:

$$k_1 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i - x_{i+1} \quad k_1 = \sum_{i=1}^{39} x_i - x_{i+1} = 4.112.813$$

$$k_2 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i \quad k_2 = \sum_{i=1}^{39} x_i = 12.405$$

$$k_3 = \sum_{i=2}^n x_i \quad k_3 = \sum_{i=2}^{40} x_i = 12.516$$

$$k_4 = \sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} x_i \right)^2 \quad k_4 = \sum_{i=1}^{39} x_i^2 - \left(\frac{1}{39} \sum_{i=1}^{39} x_i \right)^2 = 291.233$$

sehingga : $\sqrt{k_4} = 540$

$$k_5 = \sum_{i=2}^n x_i^2 - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n x_i \right)^2 \quad k_5 = \sum_{i=2}^{40} x_i^2 - \left(\frac{1}{39} \sum_{i=2}^{40} x_i \right)^2 = 280.995$$

sehingga : $\sqrt{k_5} = 530$

Nilai autokorelasi lag 2 (r_2) adalah :
$$r_2 = \frac{k_1 - \frac{1}{n-1}(k_2 \times k_3)}{\sqrt{k_4} \times \sqrt{k_5}}$$

$$r_2 = \frac{4.112.813 - \frac{1}{(40-1)}(12.405 \times 12.516)}{540 \times 530} \quad r_2 = 0,094$$

5. Debit pembangkitan dihitung dengan: (lihat Tabel 5.6.2. halaman 87)

$$q_i = \mu + \rho (q_{i-1} - \mu) + t_i \sigma \sqrt{1-\rho^2}$$

▫ Tahun ke-1

$$q_1 = \mu + \rho (q_0 - \mu) + t_1 \sigma \sqrt{1-\rho^2}$$

$$q_1 = 325,44 + 0,138 (325,44 - 325,44) + (-0,523 \times 88,63 \sqrt{1-0,138^2})$$

$$q_1 = 280,56 \text{ m}^3/\text{dt} \dots\dots\dots(\text{kolom 10, Tabel 5.6.2})$$

▫ Tahun ke-2

$$q_2 = \mu + \rho (q_1 - \mu) + t_2 \sigma \sqrt{1-\rho^2}$$

$$q_2 = 325,44 + 0,138 (280,56 - 325,44) + (0,611 \times 88,63 \sqrt{1-0,138^2})$$

$$q_2 = 371,70 \text{ m}^3/\text{dt} \dots\dots\dots(\text{kolom 10, Tabel 5.6.2})$$

▫ Tahun ke-3

$$q_3 = \mu + \rho (q_2 - \mu) + t_3 \sigma \sqrt{1-\rho^2}$$

$$q_3 = 325,44 + 0,138 (371,70 - 325,44) + (-0,359 \times 88,63 \sqrt{1-0,138^2})$$

$$q_3 = 301,00 \text{ m}^3/\text{dt} \dots\dots\dots(\text{kolom 10, Tabel 5.6.2})$$

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.6.2.

4.1.2. Validasi Model Markov

Uji kesamaan nilai tengah antara data aliran historis dengan data sintetik hasil pembangkitan model stokastik Markov sebagai berikut :

1. Menentukan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (\text{tidak ada perbedaan nyata})$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad (\text{ada perbedaan nyata})$$

2. Statistik pengujian berdistribusi student-t dihitung dengan:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1 + n_2}}}$$

$$t = \frac{325,44 - 309,24}{88,81 \sqrt{\frac{1}{60 + 40}}} \longrightarrow t = 0,94$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{40 \times 86,63 + 60 \times 90,87}{40 + 60 - 2}} \longrightarrow \sigma = 88,81$$

3. Derajat kebebasan dihitung dengan:

$$DK = n_1 + n_2 - 2$$

$$DK = 40 + 60 - 2$$

$$DK = 98$$

4. Daerah kritik dua sisi, yaitu $-t_{cr}(k;\alpha)$ dan $t_{cr}(k;\alpha)$ dengan derajat kebebasan

DK dan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi -t, yaitu:

$$t_{cr}(98;0,025) = 1,960$$

5. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ diterima, karena $-t_{cr} < t < t_{cr}$; yaitu $-1,960 < 0,94 < 1,960$

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.6.4.

Uji kesamaan varian antara data aliran historis dengan data sintetis hasil pembangkitan model stokastik sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (\text{tidak ada perbedaan nyata})$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad (\text{ada perbedaan nyata})$$

2. Statistik penguji berdistribusi F dihitung dengan:

$$F = \frac{n_1 \cdot S_1^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_2 \cdot S_2^2 \cdot (n_1 - 1)}$$

$$F = \frac{40 \times 86,63^2 \times (40 - 1)}{60 \times 90,87^2 \times (40 - 1)} \longrightarrow F = 1,11$$

3. Derajat kebebasan (DK) dihitung dengan:

$$DK_1 = n_1 - 1$$

$$DK_1 = 40 - 1$$

$$DK_1 = 39$$

$$DK_2 = 60 - 2$$

$$DK_1 = 58$$

4. Luas daerah distribusi F, yaitu $F_{cr} (DK_1; DK_2; \alpha)$ dengan kebebasan data aliran historis DK_1 dan data sintetis DK_2 serta dengan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi F, yaitu:

$$F_{cr} (DK_1; DK_2; \alpha) = 1,59$$

5. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ diterima karena $F < F_{cr} (k_1 ; k_2 ; \alpha/2)$ yaitu: $1,11 < 1,59$

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.6.5.

4.2. Model Thomas-Fiering

4.2.1. Prosedur Model Thomas-Fiering

Prosedur pembangkitan data debit bulanan model Thomas-Fiering dapat ditulis sebagai berikut (lihat Tabel 5.7.1) :

1. Debit rata-rata tiap bulan dari data aliran historis dihitung dengan:

$$q_j = \sum q_{ij} / n \dots\dots\dots \text{(lihat persamaan 3-6)}$$

untuk bulan januari:

$$q_{\text{Januari}} = 25.134 / 40$$

$$q_{\text{Januari}} = 628,36 \text{ m}^3/\text{dt}$$

2. Deviasi standar tiap bulan dihitung dengan :

$$\sigma_j = \Sigma(q_{ij} - q_i)^2 / (n-1) \dots\dots\dots(\text{lihat persamaan 3-7})$$

untuk bulan Januari:

$$\sigma_{\text{Januari}} = 8862,75 / 39$$

$$\sigma_j = 227,25 \text{ m}^3/\text{dt}$$

3. Koefisien korelasi serial tiap bulan data debit historis dihitung dengan:

$$\rho_j = \Sigma(q_{ij} - q_i) (q_{i-j} - q_{i-j}) / (\Sigma(q_{ij} - q_i)^2 (q_{i-j} - q_{i-j})^2) \dots\dots(\text{lihat persamaan 3-8})$$

untuk bulan Januari:

$$\rho_{\text{Januari}} = \Sigma(563,8 - 628,36) (311,5 - 628,36) / (\Sigma(563,8 - 628,36)^2 (563,8 - 628,36)^2)$$

$$\rho_{\text{Januari}} = 0,01$$

4. Koefisien regresi bulanan dihitung dengan:

$$\beta_j = \rho_j \sigma_j / \sigma_{j-1} \dots\dots\dots(\text{lihat persamaan 3-9})$$

untuk bulan Januari:

$$\beta_j = 0,01 \times 227,25 / 200$$

$$\beta_j = 0,01$$

5. Koefisien variasi bulanan dihitung dengan:

$$Cv_j = \sigma_j / q_j \dots\dots\dots(\text{lihat persamaan 3-10})$$

Untuk bulan Januari:

$$Cv_j = 227,25 / 628,36$$

$$Cv_j = 0,36$$

6. Koefisien asimetri bulanan dihitung dengan:

$$\gamma_j = 3Cv_j / Cv_j^3 \dots\dots\dots \text{(lihat persamaan 3-11)}$$

untuk bulan Januari:

$$\gamma_j = 3 \times 0,36 / 0,4^3$$

$$Cv_j = 1,13$$

7. Bilangan acak berdistribusi seragam antara 0 dan 1 dibuat dengan program komputer Excel 2000 dan diubah menjadi bilangan acak berdistribusi normal baku dengan dengan nilai tengah 0 dan variasi 1, dan mengoreksi menjadi distribusi Gamma.

8. Data sintetik model Thomas-Fiering dibangkitkan dengan:

$$q_{i,j} = \bar{q}_i + \beta_j \cdot (q_{i,j} - \bar{q}_{j-1}) + t_{i,r,j} \cdot \sigma_j \sqrt{(1 - \rho_j^2)} \dots\dots\dots \text{(lihat persamaan 3-12)}$$

untuk bulan Januari:

$$q_{i,j} = 628,36 + 0,01(563,8 - 628,36) + (-0,11) \cdot 227,55 \sqrt{(1 - 0,01^2)}$$

$$q_{i,j} = 603,51$$

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.7.2.

4.2.2. Validasi Model Thomas-Fiering

Uji kesamaan nilai tengah antara data aliran historis dengan data sintetik hasil pembangkitan model stokastik Thomas-Fiering sebagai berikut :

1. Menentukan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{(tidak ada perbedaan nyata)}$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \quad \text{(ada perbedaan nyata)}$$

1. Statistik pengujian berdistribusi student-t dihitung dengan:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}^{0.5}$$

untuk bulan Januari:

$$t = \frac{|628,36 - 613,51|}{14,93 \times \left| \frac{1}{40} + \frac{1}{60} \right|^{0,5}} \longrightarrow t = 0,33$$

$$\sigma = \left| \frac{40 \times 184,36 + 60 \times 46,97}{40 + 60 - 2} \right|^{0,5}$$

$$\sigma = \left| \frac{9090 + 12760,8}{98} \right|^{0,5}$$

$$\sigma = \sqrt{222,97} = 14,93 \text{ m}^3/\text{dt}$$

3. Derajat kebebasan dihitung dengan:

$$DK = n_1 + n_2 - 2$$

$$DK = 40 + 60 - 2$$

$$DK = 98$$

4. Daerah kritik dua sisi, yaitu $-t_{cr}(k;\alpha)$ dan $t_{cr}(k;\alpha)$ dengan derajat kebebasan

DK dan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi $-t$, yaitu:

$$t_{cr}(98;0,025) = 1,960$$

5. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ diterima, karena $-t_{cr} < t < t_{cr}$; yaitu $-1,960 < 0,33 < 1,960$

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.7.3.

Uji kesamaan varian antara data aliran historis dengan data sintetik hasil pembangkitan model stokastik sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : S_1 = S_2 \text{ (tidak terdapat perbedaan nyata)}$$

$$H_1 : S_1 \neq S_2 \text{ (terdapat perbedaan nyata)}$$

2. Statistik pengujian berdistribusi F dihitung dengan:

$$F = \frac{n_1 \cdot S_1^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_2 \cdot S_2^2 \cdot (n_1 - 1)}$$

$$F = \frac{20 \times 0,5^2 \cdot (20 - 1)}{20 \times 0,6^2 \cdot (20 - 1)} \longrightarrow F = 0,5$$

3. Derajat kebebasan (DK) dihitung dengan:

$$DK_1 = n_1 - 1$$

$$DK_1 = 40 - 1$$

$$DK_1 = 39$$

$$DK_2 = 60 - 2$$

$$DK_1 = 58$$

4. Luas daerah distribusi F, yaitu $F_{cr} (DK_1; DK_2; \alpha)$ dengan kebebasan data aliran historis DK_1 dan data sintetik DK_2 serta dengan tingkat kepercayaan α , diperoleh dari tabel distribusi F, yaitu:

$$F_{cr} (DK_1; DK_2; \alpha) = 1,55$$

5. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ diterima karena $F < F_{cr} (k_2; k_1; \alpha/2)$.

Secara lengkap perhitungan ditabulasi dan ditampilkan pada Tabel 5.7.4.

4.3. Model Box-Jenkins (ARIMA)

Model Box-Jenkins menganggap deret (a_t) bersebaran normal dan bebas

4.3.1. Identifikasi Model

Identifikasi jenis model ditentukan dengan menghitung autokorelasi dan autokorelasi parsial.

4.3.1.1. Autokorelasi

Langkah-langkah menghitung autokorelasi adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Covarian (COV) dengan rumus

$$COV(X_t, X_{t-1}) = \sum \frac{(X_t - \bar{X})(X_{t-1} - \bar{X})}{N} \dots\dots\dots(4-1)$$

Contoh perhitungan memakai Tabel 5.8.1. pada halaman 95, didapatkan pada lag 1, Covarian = 69.741,81.

2. Menghitung Auto Correlation (AC) dengan rumus :

$$R_t = COR(X_t, X_{t-1}) = \frac{COV(X_t, X_{t-1})}{STD(X_t) \times STD(X_{t-1})} = \frac{COV(X_t, X_{t-1})}{VAR(X_t)} \dots(4-2)$$

Contoh perhitungan memakai Tabel 5.8.1. pada halaman 95, didapatkan pada lag 1, R₁ = 0,71.

3. Memplotkan Auto Correlation (AC) ke dalam grafik Correlogram untuk mengidentifikasi model Moving Average atau ARIMA (0,0,q) dan Auto Regressive and Moving Average atau ARIMA (p,0,q). Lihat gambar pada Tabel 5.8.4. halaman 99.

4.3.1.2. Autokorelasi Parsial

Langkah-langkah menghitung autokorelasi parsial adalah sebagai berikut :

1. Menghitung Partial Auto Correlation (PAC) dengan memakai metode invers matrik pada persamaan (3-31)

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= A_1 + A_2 R_1 + \dots + A_p R_{p-1} \\ R_2 &= A_1 R_1 + A_2 + \dots + A_p R_{p-2} \\ R_3 &= A_1 R_2 + A_2 R_1 + \dots + A_p R_{p-3} \\ R_p &= A_1 R_{p-1} + A_2 R_{p-2} + \dots + A_p \end{aligned} \right\} \text{Yule-Walker}$$

Dari persamaan tersebut kemudian disusun menjadi matriks yaitu :

Matrik Elemen :

$$\begin{vmatrix} 1 & R_1 & R_2 & R_p \\ R_1 & 1 & R_1 & R_{p-1} \\ R_2 & R_1 & 1 & R_{p-2} \\ R_p & R_{p-1} & R_{p-2} & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_p \end{vmatrix}$$

Matrik A₁₁ = 1 ; A₂₁ = A₁₂ = R₁ ; A₃₁ = A₁₃ = A₂ ; selanjutnya lihat tabel 5.8.2. halaman 97.

Penyelesaian persamaan dengan Matriks:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned}$$

dengan $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} \end{pmatrix}$; $X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_n \end{pmatrix}$; dan $b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_n \end{pmatrix}$

$$A^{-1} \cdot A \cdot x = A^{-1} \cdot b$$

$$A^{-1} \cdot A = I; I \cdot x = A^{-1} \cdot b; X = A^{-1} \cdot b; A \cdot x = b; X = A^{-1} \cdot b$$

$$\text{Det } A = |A|; \text{ Adjoin } A = C^T; A^{-1} = \frac{C^T}{|A|} = \text{matrik invers}$$

matrik invers dari matrik elemen orde 2, $A_{11} = A_{22} = 1,991$; $A_{12} = A_{21} = -1,405$. Matrik invers tersebut selanjutnya dikalikan dengan matrik Auto Korelasi yang kemudian menghasilkan nilai Partial Auto Korelasi.

$$A_1 = R_1 \dots \dots \dots (4 - 3)$$

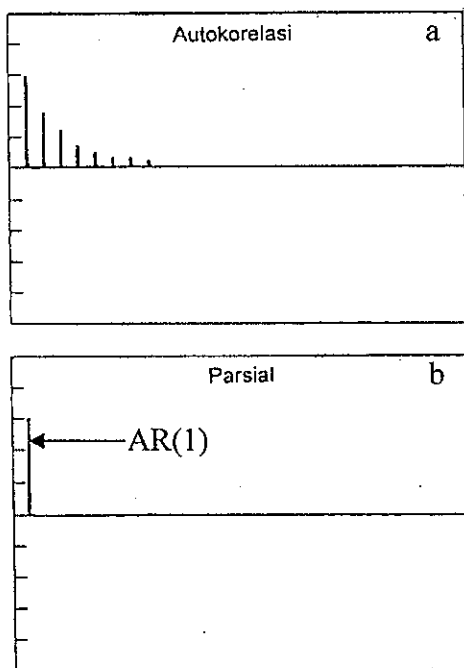
2. Memplotkan Partial Auto Correlation (PAC) ke dalam Correlogram untuk mengidentifikasi model Auto Regresive atau ARIMA (p,0,0) atau Auto Regressive Moving Average ARIMA(p,0,q) lihat gambar pada Tabel 5.8.4.

Identifikasi jenis model dengan :

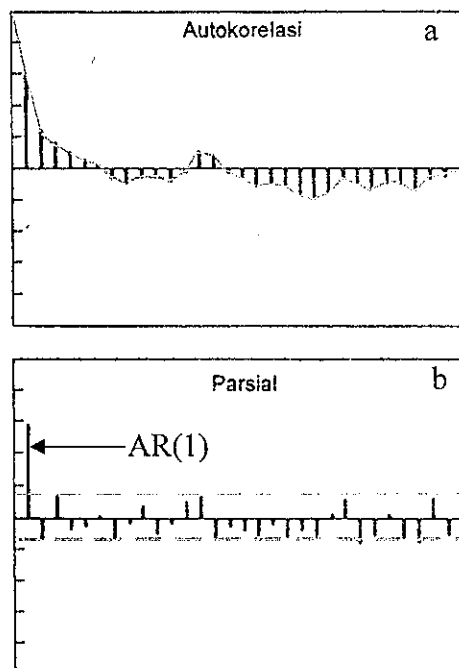
1. Menganalisis Correlogram dengan mempertimbangkan pola-pola teoritis untuk menentukan model stokastik tentatif. Pola-pola Correlogram biasanya dapat ditemukan pada model stokastik mendekati pola seperti pada Gambar 4-1 sampai Gambar 4-9. Gambar 4-1 dan 4-2 pada Correlogram Parsialnya ada 1 spike yang menjadikan AR (1) atau ARIMA (1,0,0).

Pada Gambar 4-4, 4-5 dan 4-6 pada Correlogram Auto Korelasinya ada 1 spike yang menunjukkan MA (1) atau ARIMA (0,0,1). Pada Gambar 4-3 dan 4-9 pada Correlogram Parsialnya ada 2 spike positif dan negatif yang menunjukkan AR (2). Pada Gambar 4-7 pada Correlogram Auto Korelasi ada 2 spike negatif dan positif yang menunjukkan MA (2). Sedangkan pada Gambar 4-8 pada Correlogram Auto Korelasi dan Parsialnya tidak ada spike baik positif dan negatif, negatif yang menunjukkan ada 2 model yaitu AR (1) dan MA (1) atau (ARMA 1,1) atau ARIMA (1,0,1).

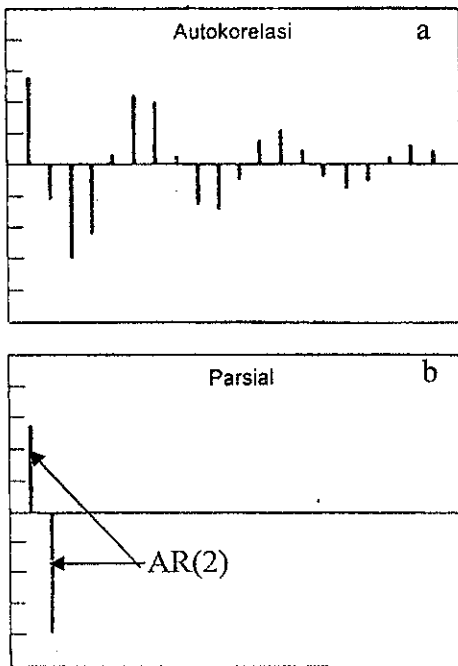
2. Pada model stokastik musiman biasanya ditemukan *spike* yang periodik atau gelombang sinus berulang pada correlogram. Untuk itu diperlukan pembedaan (*defferencing*) guna meniadakan pola musimannya. Pembedaan dilakukan dengan mengurangkan data sekarang dengan data sebelumnya ($X_t - X_{t-1}$).



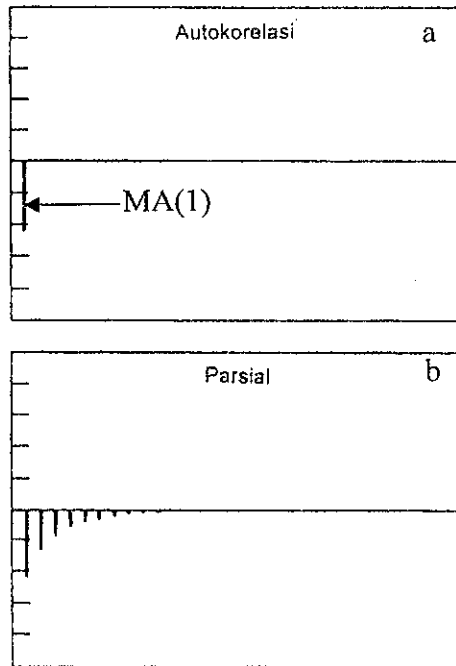
Gambar 4.1. ARIMA (1,0,0)
(Teoritis)



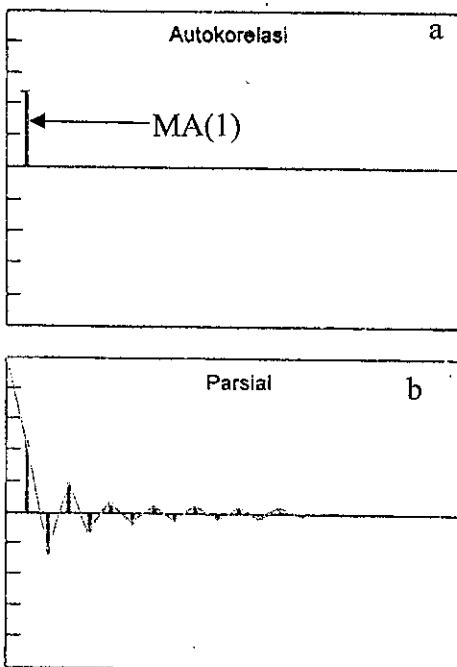
Gambar 4.2. ARIMA (1,0,0)
(Empiris)



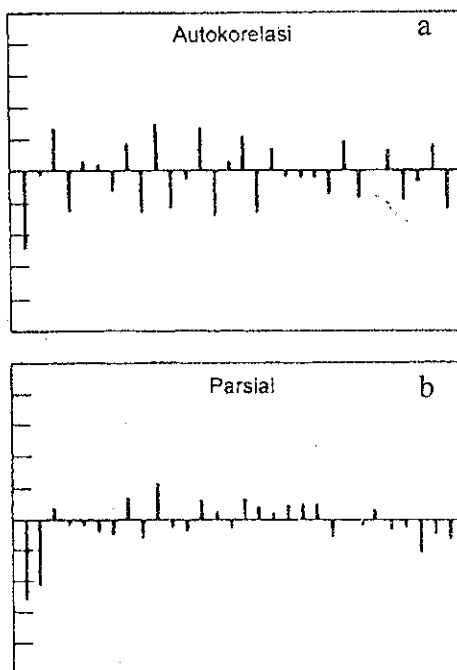
Gambar 4.3. ARIMA (2,0,0)
(Teoritis)



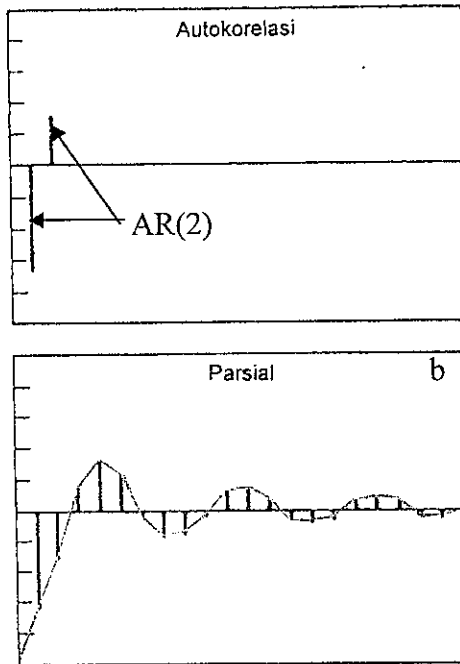
Gambar 4.4. ARIMA (0,0,1)
(Teoritis)



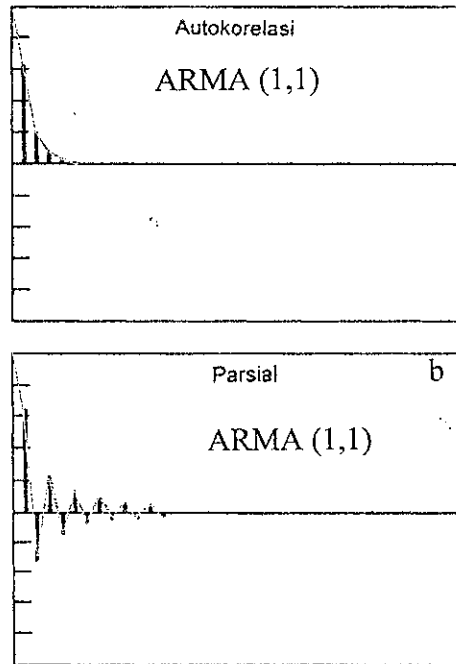
Gambar 4.5. ARIMA (0,0,1)
(Teoritis)



Gambar 4.6. ARIMA (0,0,1)
(Empiris)



Gambar 4.7. ARIMA (0,0,2) (Teoritis)



Gambar 4.8. ARIMA (1,0,1) (Teoritis)

3. Apabila belum didapatkan pola pada Correlogram yang mendekati pola teoritis dan masih ditemukan *spike* yang periodik atau gelombang sinus berulang, maka dilakukan pembedaan kedua. Biasanya pembedaan ke dua sudah mendapatkan data yang stasionair (tidak musiman).

4.3.2. Estimasi Parameter Model

- Model Auto Regressive :

$$\phi_1 = \Phi_1 \rightarrow \hat{\Phi} = r_1 \dots \dots \dots (4-4)$$

$$\phi_1 = \Phi_1 + \Phi_2 \phi_1 \dots \dots \dots (4-5)$$

$$\phi_2 = \Phi_1 \phi_1 + \Phi_2 = r_1 \dots \dots \dots (4-6)$$

$$\hat{\Phi}_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2} \dots \dots \dots (4-7)$$

$$\hat{\Phi}_2 = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2} \dots\dots\dots (4-8)$$

- Model Moving Average

$$\phi_1 = \frac{-\theta_1}{1 + \theta_1^2} \rightarrow \phi_1 + \phi_1 \theta_1^2 + \theta_1 = 0 \dots\dots\dots (4-9)$$

$$r_1 \hat{\theta}_1^2 + \hat{\theta}_1 + r_1 = 0 \dots\dots\dots (4-10)$$

$$\theta_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots\dots\dots (4-11)$$

$$\phi_1 = \frac{-\theta_1 + \theta_1 \theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} = \frac{-\theta_1(1 - \theta_2)}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \dots\dots\dots (4-12)$$

$$\phi_2 = \frac{-\theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \dots\dots\dots (4-13)$$

Pemecahan persamaan (4-12) dan (4-13) dilakukan dengan prosedur iteratif.

4.3.3. Validasi Model

Validasi model Box-Jenkins ditunjukkan dengan mencek residu model sedemikian sehingga merupakan data acak. Hal itu ditunjukkan dengan nilai autokorelasi yang signifikan mendekati nol, yaitu dalam rentang 2 kali deviasi standarnya. Perhitungan validasi model secara lengkap ditampilkan pada Lampiran Tabel III.A.7.

BAB V

PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

5.1. Data yang Tersedia

5.1.1. Bojonegoro

Data yang tersedia pada sungai Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro yang terkumpul dalam buku *Supporting Report on Hidrologi, Lower Solo River Improvement Project, April 1994*, meliputi :

1. Rata-rata aliran : 328,0 m³/dt
2. Luas daerah pengaliran sungai : 12.804 km²
3. Panjang sungai : 125,9 km
4. Kemiringan sungai rata-rata : 1/16.200
5. Aliran spesifik : 2,56 m³/dt/km²
6. Banjir rencana Q₁₀ (tanggul+shortcut) : 2.160 m³/dt
7. Banjir rencana Q₂₅ (tanggul+dam Jipang) : 1.723 m³/dt
8. Alat pengukur ketinggian air :
 - a. Dekat jembatan Kaliketek : (SG), DPMA; 1971; 7,15 SHVP
 - b. Dekat pasar Bojonegoro : (SG), IRJAT, 1912; -0,12SHVP
 - c. Pada Jembatan Kaliketek : (AWLR), PBS, 1971; 715SHVP
9. Persamaan lengkung debit :
 - a. $H < 1,2$ meter : $Q = (7,169 H - 1,623)^2 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - b. $H > 1,2$ meter : $Q = 39,9921 (H - 7,6)^{1,949} \text{ m}^3/\text{dt}$

Data debit bulanan sungai Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro yang tercatat mulai tahun 1952 sampai dengan tahun 1991 selama 40 tahun ditampilkan pada Tabel 5.1.

TABEL 5.1.
DATA DEBIT RATA-RATA BULANAN S. BENGAWAN SOLO DI STA. BOJONEGORO (m³/dt)

THN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES	RATA2 THN
1952	563,80	590,10	871,90	201,60	55,70	35,20	17,70	21,70	20,60	40,50	305,90	311,50	253,02
1953	248,80	531,50	523,70	482,20	734,90	45,30	38,30	18,10	15,00	12,80	56,90	278,60	248,84
1954	533,50	784,80	456,90	379,70	391,70	116,80	139,80	56,70	36,75	32,50	403,70	427,20	311,67
1955	497,00	473,80	391,30	529,40	229,70	148,30	241,30	95,30	58,50	52,20	372,20	259,00	279,00
1956	648,80	571,70	298,10	130,20	138,30	289,40	140,30	87,00	42,40	60,20	80,00	396,90	240,11
1957	373,90	465,40	1159,90	474,30	164,10	48,90	188,70	95,50	26,50	23,60	58,20	642,30	310,11
1958	340,30	919,80	717,00	719,00	402,70	94,50	248,10	159,90	111,60	177,30	193,10	691,20	397,88
1959	907,30	798,20	615,40	328,30	293,80	136,90	52,70	14,00	15,50	9,80	74,20	490,90	311,42
1960	449,30	849,30	628,80	485,70	457,30	60,80	38,80	8,20	5,80	460,10	243,60	249,80	328,13
1961	421,30	507,90	582,80	281,70	252,30	89,60	50,90	18,50	15,90	5,10	44,00	129,10	199,93
1962	722,20	619,40	568,30	834,20	244,50	83,40	86,10	27,30	15,30	21,20	99,00	373,90	307,07
1963	675,10	775,10	884,90	350,40	89,50	50,40	29,60	21,80	19,30	18,80	23,40	120,00	254,86
1964	159,30	209,00	461,50	485,20	67,85	156,40	31,20	19,80	18,80	224,60	274,10	185,00	191,06
1965	481,70	733,90	551,20	341,90	46,20	44,80	19,80	19,90	16,50	120,75	48,50	284,80	225,83
1966	424,00	672,60	1001,70	1288,00	548,30	355,10	282,70	18,70	16,90	16,90	140,70	354,80	425,03
1967	995,40	571,70	383,00	400,80	83,60	27,20	14,00	5,80	4,80	4,80	23,80	243,50	229,87
1968	443,30	518,40	863,70	559,75	475,30	343,60	328,90	10,00	76,10	36,80	287,00	605,40	379,02
1969	544,80	802,40	744,10	718,70	174,70	62,80	21,40	14,20	13,90	21,20	30,30	340,90	290,78
1970	375,00	731,00	795,60	343,20	302,40	109,90	10,50	7,50	8,10	9,20	174,60	534,70	283,48
1971	723,40	995,40	750,10	511,20	415,10	244,40	65,10	23,60	14,10	135,40	558,60	734,80	430,93
1972	646,30	508,60	765,60	432,30	310,80	31,90	4,00	1,70	0,30	0,10	6,70	453,80	263,51
1973	325,60	946,50	1004,30	730,80	815,20	53,00	143,50	62,70	58,30	87,10	389,80	663,00	439,98
1974	386,70	874,10	973,00	840,00	430,70	103,30	36,90	203,10	250,20	302,50	555,10	510,90	455,54
1975	705,10	1082,20	1270,10	1379,20	760,40	168,30	126,70	96,60	172,90	491,50	631,60	705,10	632,48
1976	839,00	375,90	604,20	269,90	50,40	18,40	11,60	16,70	7,80	48,30	217,10	196,50	221,32
1977	450,60	539,50	784,20	478,30	230,30	283,40	25,50	8,20	3,80	1,40	14,90	178,00	249,84
1978	892,80	596,00	710,80	220,60	300,70	358,90	36,75	135,90	130,60	64,80	165,40	565,50	348,23
1979	762,50	632,10	662,00	895,10	689,40	241,00	48,00	36,40	15,40	54,10	190,00	321,90	378,99
1980	483,90	630,90	491,70	587,90	143,40	41,00	26,00	32,00	8,00	30,20	240,50	365,10	256,72
1981	599,30	707,20	773,70	421,20	365,00	171,10	155,50	16,20	26,50	65,90	198,20	488,70	332,38
1982	1002,90	1043,80	782,30	560,80	76,20	41,70	18,30	13,10	8,00	5,40	14,00	242,80	317,44
1983	593,80	624,00	502,20	485,70	626,90	107,20	48,40	33,60	21,80	74,50	314,20	367,10	316,62
1984	825,50	1296,80	761,00	568,00	183,80	67,50	54,90	31,30	152,70	121,40	85,00	597,40	395,44
1985	867,70	1088,60	1184,80	692,80	199,80	255,40	61,30	43,90	51,80	82,90	192,00	412,40	427,87
1986	863,70	1118,60	1204,60	100,40	134,80	259,20	106,30	41,20	95,20	92,50	409,80	248,70	389,58
1987	1070,90	1307,00	852,60	176,40	85,60	102,50	40,50	19,70	16,30	12,70	80,20	600,20	363,73
1988	746,30	871,30	646,70	316,40	304,10	88,60	39,30	33,50	19,90	68,20	291,80	374,50	316,72
1989	829,30	1046,30	580,40	512,20	308,50	615,60	243,40	78,20	37,40	58,70	187,60	315,30	401,08
1990	906,80	750,70	520,40	387,80	169,80	82,30	55,10	27,90	22,00	28,20	186,50	315,80	287,78
1991	809,40	1022,70	510,10	684,20	140,70	34,10	19,90	12,50	9,20	9,40	144,60	496,00	324,40
Rata2	628,36	754,11	720,62	514,14	297,37	141,73	83,69	42,20	41,51	79,59	200,17	401,83	325,44

5.1.2. Kedungombo

Data yang tersedia pada sungai Serang di stasiun hidrometri waduk Kedungombo yang terkumpul dalam buku *Laporan Akhir – Pekerjaan Studi Sistem Operasi Waduk Kedungombo dan Manual Pengoperasian, 1995*, meliputi :

1. Debit rata-rata tahunan : 26,01 m³/dt
2. Luas daerah pengaliran sungai : 614 km²
3. Panjang sungai : 40,9 km
4. Kemiringan sungai rata-rata : 1/10.000

5. Aliran spesifik : $4,24 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$

Data debit bulanan sungai Serang di stasiun hidrometri hulu waduk Kedungombo yang tercatat mulai tahun 1952 sampai dengan tahun 1998 selama 47 tahun ditampilkan pada Tabel 5.2.

TABEL 5.2.

DATA DEBIT RATA-RATA BULANAN S. SERANG DI STA. WD. KEDUNGOMBO (m^3/dt)

THN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	DES	RATA2 THN
1952	63,88	63,22	77,49	24,11	14,68	4,43	1,23	3,44	3,85	0,90	2,30	44,36	25,32
1953	41,57	34,44	32,14	41,00	24,78	4,18	7,79	0,82	0,57	7,63	51,66	52,32	24,91
1954	48,46	60,27	34,69	51,82	36,74	7,30	9,51	3,20	5,00	0,33	6,97	24,19	24,04
1955	81,26	47,89	37,72	28,04	11,48	6,23	15,91	5,74	6,23	12,30	61,99	40,67	29,62
1956	66,50	77,00	41,33	11,48	14,19	13,86	4,92	6,56	4,59	11,64	36,82	33,05	26,83
1957	49,53	29,85	77,33	44,44	11,56	3,77	10,33	2,05	1,39	9,59	17,14	60,19	26,43
1958	41,82	91,76	81,10	54,20	51,66	10,50	26,08	29,03	4,84	1,23	4,10	36,49	36,07
1959	83,72	63,71	62,24	46,90	45,51	12,71	17,96	1,89	1,15	26,16	29,44	76,26	38,97
1960	31,98	64,86	34,93	34,69	39,03	8,20	6,40	1,23	0,66	2,95	21,81	72,08	26,57
1961	39,28	38,54	45,84	20,75	48,30	5,82	1,56	0,33	0,16	2,71	26,32	23,29	21,08
1962	54,12	47,40	33,70	54,45	15,17	7,46	6,15	4,76	0,49	0,25	20,01	23,53	22,29
1963	67,57	48,71	65,19	39,85	4,92	1,31	0,82	0,33	0,08	2,79	26,24	46,99	25,40
1964	19,19	51,91	46,58	56,50	24,52	11,32	7,22	4,43	3,85	0,49	6,81	22,22	21,25
1965	52,23	60,35	63,96	34,85	8,04	2,71	1,89	0,25	0,16	18,78	19,68	16,73	23,30
1966	48,71	65,93	136,61	28,45	12,79	21,73	5,99	4,76	1,23	1,97	13,12	23,62	30,41
1967	77,16	78,80	39,11	32,72	6,23	0,90	0,08	0,08	0,08	16,73	20,17	37,39	25,79
1968	53,55	79,95	56,42	46,99	46,08	11,64	20,25	13,86	3,53	0,08	9,76	42,72	32,07
1969	45,51	58,14	42,15	32,88	7,30	6,72	2,95	0,82	0,41	11,23	40,92	48,54	24,80
1970	25,42	28,78	43,30	18,20	29,19	8,36	6,07	4,10	13,28	9,27	8,45	42,80	19,77
1971	68,63	47,31	48,38	33,70	37,39	22,22	0,49	0,08	0,08	6,48	15,91	40,43	26,76
1972	58,71	36,33	30,34	18,29	13,53	4,67	4,43	0,82	0,08	4,35	11,48	36,90	18,33
1973	43,71	59,20	49,53	27,22	53,55	18,29	25,01	3,77	23,21	0,08	11,07	29,93	28,71
1974	14,68	54,69	72,41	31,98	34,69	2,30	3,53	8,77	19,02	9,51	39,28	54,37	28,77
1975	61,25	56,01	60,19	75,44	44,77	5,00	5,25	1,48	4,51	32,55	38,21	50,10	36,23
1976	45,43	34,52	48,22	29,68	6,81	1,89	0,66	0,66	0,25	23,29	33,29	65,35	24,17
1977	42,15	67,90	41,90	18,86	16,56	16,15	1,64	0,82	0,41	7,71	26,49	14,35	21,25
1978	35,42	62,16	41,08	17,14	15,42	8,69	18,61	9,51	6,31	0,41	4,84	19,76	19,95
1979	67,98	50,43	30,83	42,72	35,51	11,23	3,03	1,31	1,89	8,28	11,89	38,87	25,33
1980	82,74	29,52	43,62	35,18	6,40	2,21	1,39	1,48	0,49	3,12	17,79	12,87	19,73
1981	42,72	47,31	42,80	31,57	25,91	14,84	12,30	1,56	12,79	3,20	24,60	54,61	26,18
1982	97,58	92,25	73,14	29,77	4,02	3,85	1,07	0,57	0,33	9,43	18,53	70,60	33,43
1983	9,89	14,48	16,42	5,25	2,42	1,57	1,61	0,38	0,31	0,21	1,63	9,73	5,66
1984	26,38	28,99	15,01	12,12	14,99	3,91	0,89	0,15	0,06	8,53	17,74	15,90	12,06
1985	35,61	57,54	33,95	15,33	6,00	1,68	2,00	1,20	6,01	6,43	6,53	18,98	15,94
1986	20,46	29,96	33,98	19,14	5,01	3,25	3,34	0,78	0,65	4,38	4,02	15,52	11,71
1987	28,89	37,23	43,10	23,34	4,02	13,86	2,60	0,62	7,82	7,62	16,13	18,37	16,97
1988	60,85	61,48	37,88	31,13	20,64	6,38	4,53	3,50	1,57	2,95	13,75	36,48	23,43
1989	61,15	63,60	39,78	23,96	21,22	11,39	9,07	4,71	3,08	8,35	20,03	32,85	24,93
1990	67,19	60,97	21,12	14,25	14,01	5,24	5,01	3,21	2,68	3,82	1,77	38,56	19,82
1991	90,17	55,91	38,78	24,67	12,01	5,17	5,09	2,71	3,03	2,75	8,27	60,19	25,73
1992	53,76	57,63	39,84	33,06	19,76	6,21	4,63	4,51	9,44	7,71	21,89	58,90	26,45
1993	52,56	41,23	38,76	39,12	20,74	9,32	5,27	3,07	9,33	16,30	35,46	45,41	26,38
1994	42,48	69,68	68,58	27,16	6,61	4,75	0,72	11,20	0,10	7,39	7,47	32,13	23,19
1995	50,38	60,76	46,14	17,80	22,60	18,70	6,28	0,43	0,33	12,62	49,87	27,57	26,12
1996	47,06	70,54	52,47	18,22	6,17	2,58	0,45	3,71	3,29	14,17	26,84	41,82	23,94
1997	50,32	59,23	46,07	19,87	11,15	1,51	0,08	0,53	0,24	8,06	4,25	17,74	18,25
1998	27,81	45,25	47,33	71,68	15,73	22,73	13,18	11,20	8,87	25,38	31,68	38,19	29,92
Rata2	50,58	54,12	47,95	31,79	20,21	8,06	6,28	3,63	3,78	8,13	20,09	37,53	24,35

5.1.3. Cirata

Data yang tersedia pada sungai Citarum di stasiun hidrometri waduk Cirata yang terkumpul dalam kumpulan data *PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Cirata*, meliputi :

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1. Rata-rata aliran tahun 2001 | : | 328,0 m ³ /dt |
| 2. Luas daerah pengaliran sungai | : | 2.283 km ² |
| 3. Panjang sungai | : | 110 km |
| 4. Kemiringan sungai rata-rata | : | 1/10.000 |
| 5. Aliran spesifik | : | 0,144 m ³ /dt/km ² |

Data debit bulanan sungai Citarum di stasiun hidrometri hulu waduk Cirata yang tercatat mulai tahun 1929 sampai dengan tahun 2001 selama 73 tahun ditampilkan pada Tabel 5.3.

5.2. Pembahasan

5.2.1. Data Aliran Historis

5.2.1.1. Bojonegoro

Data debit bulanan historis sungai Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro selama 40 tahun dari tahun 1952 sampai dengan tahun 1991, dikelompokkan (17 kelompok) menjadi seri-seri terpisah 5 tahunan, 10 tahunan, 20 tahunan, 30 tahunan dan 40 tahunan, yaitu mulai seri 5-1 sampai dengan seri 5-8, seri 10-1 sampai dengan 10-4, seri 20-1 dan seri 20-2, seri 30-1 dan seri 30-2, serta seri 40-1. Masing-masing seri dibangkitkan menjadi data sintetik 80 tahun. Data sintetik yang diperoleh kemudian diambil 50 tahun terakhir dan dipakai untuk bahan analisis selanjutnya yaitu analisis pengaruh panjang data historis yang representatif. Sedangkan yang 30 tahun data awal sebagai data bias (*white noise*).

TABEL 5.3.

DATA DEBIT RATA-RATA BULANAN S. CITARUM DI STA. WD. CIRATA (m³/dt)

THN	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	RATA2 THN
1929	82,80	117,00	124,00	79,70	35,80	22,70	10,60	6,50	5,20	19,30	29,00	69,00	50,13
1930	59,40	85,80	177,00	165,60	211,90	38,90	26,10	10,60	10,40	42,90	64,40	88,50	81,79
1931	78,40	119,90	272,00	130,90	119,30	49,90	20,20	18,00	8,30	44,50	48,10	123,10	66,05
1932	109,20	81,30	171,40	203,90	164,00	78,80	22,90	9,90	27,40	21,50	49,60	70,00	84,16
1933	151,50	131,80	98,00	139,80	86,60	75,00	32,20	23,20	45,70	45,20	85,70	157,60	89,36
1934	155,10	73,20	45,50	135,60	17,60	24,30	12,40	10,00	26,50	37,50	88,60	137,90	63,68
1935	108,40	145,00	134,00	137,30	33,10	13,90	27,00	18,20	20,30	46,90	151,00	18,40	71,13
1936	67,40	122,10	177,40	126,70	81,50	31,40	13,90	11,50	4,90	28,70	114,70	20,90	66,76
1937	77,70	135,20	159,50	148,10	133,70	97,50	17,20	4,70	12,10	48,00	37,30	139,60	84,22
1938	130,90	77,70	179,90	105,80	133,90	85,90	70,20	39,90	10,00	10,60	115,60	115,60	89,67
1939	61,50	86,50	72,20	78,00	45,50	68,90	80,30	46,40	17,50	38,40	59,40	123,70	64,86
1940	82,50	82,00	222,00	169,90	105,30	81,90	48,30	23,50	4,40	6,90	40,70	120,60	82,33
1941	67,10	143,20	134,20	175,00	136,90	64,80	23,50	6,30	6,20	30,80	36,20	124,20	79,03
1942	144,50	74,70	75,60	62,40	80,80	48,40	13,00	12,10	26,80	70,80	46,30	55,40	59,23
1943	63,60	95,20	136,00	148,40	87,30	66,70	29,20	35,30	9,50	77,10	109,10	39,90	74,78
1944	77,20	58,20	75,90	94,10	34,20	15,70	1,80	0,40	2,20	13,20	25,50	60,20	38,22
1945	70,00	152,00	75,20	103,30	45,40	24,80	12,40	10,70	14,00	19,80	86,70	46,30	55,05
1946	81,80	100,80	96,60	64,40	32,20	24,80	16,40	14,00	12,40	10,70	19,80	147,00	51,74
1947	179,20	115,60	95,30	96,60	35,50	20,70	11,60	11,60	11,60	57,80	87,60	143,70	72,23
1948	82,60	47,90	27,30	27,30	20,70	12,40	9,90	9,10	9,60	7,40	66,90	153,60	39,56
1949	128,00	59,50	113,20	113,20	76,00	60,30	23,10	9,10	9,30	9,10	109,00	64,40	64,52
1950	107,00	87,80	121,50	121,50	82,50	54,00	49,40	12,40	9,90	31,70	75,40	54,90	67,33
1951	94,80	108,70	63,20	44,70	44,30	17,00	13,50	15,80	8,20	10,50	6,60	40,60	38,99
1952	84,20	109,40	145,90	121,00	41,80	41,00	10,10	10,60	14,60	16,40	39,30	68,10	58,53
1953	78,40	80,70	108,20	118,50	111,00	24,50	6,60	4,30	4,40	0,70	18,40	26,50	48,52
1954	70,10	93,80	96,80	60,70	56,50	47,10	21,20	18,90	18,70	22,00	80,80	145,70	61,03
1955	102,10	129,40	126,20	130,00	81,90	41,40	57,20	47,00	20,90	35,70	78,40	96,80	78,92
1956	100,50	67,80	55,60	77,20	54,50	60,90	41,80	29,40	49,70	50,30	73,60	70,20	60,96
1957	70,60	75,50	107,70	110,50	54,20	30,80	58,30	30,60	5,50	4,90	17,90	80,20	53,89
1958	75,20	150,60	134,80	137,50	94,30	37,40	48,50	57,10	36,30	44,10	61,70	125,70	83,60
1959	85,30	195,20	161,70	89,80	76,70	53,20	26,30	18,90	8,20	7,20	11,90	30,20	63,72
1960	78,80	79,50	106,90	125,60	87,30	49,00	16,90	5,50	5,80	8,50	35,90	73,20	56,08
1961	109,90	138,10	91,20	82,30	75,70	27,10	2,90	0,80	0,50	1,40	17,80	28,80	48,04
1962	39,70	52,50	75,40	115,70	65,20	25,40	26,60	16,40	7,60	14,90	47,00	88,70	47,93
1963	84,20	67,50	80,00	50,80	27,40	6,00	0,40	13,30	0,10	4,70	16,40	19,60	30,87
1964	41,70	33,50	51,70	70,80	38,10	26,10	13,80	8,10	12,30	34,20	46,00	55,20	35,96
1965	83,70	97,20	54,00	52,40	18,80	25,40	11,60	2,40	0,70	1,20	13,80	77,00	36,52
1966	117,40	118,10	160,50	71,30	63,20	40,10	15,70	4,10	5,50	20,40	45,10	76,40	61,48
1967	95,30	60,60	47,40	93,40	51,70	5,80	0,70	0,00	0,90	3,60	17,50	54,90	35,98
1968	153,10	74,50	162,20	155,80	162,10	150,90	126,90	145,50	71,10	41,30	92,50	137,20	122,76
1969	211,80	194,50	130,80	174,50	57,50	53,80	10,80	2,90	40,90	29,70	60,80	58,30	87,19
1970	115,50	87,60	250,80	146,10	158,50	77,50	20,20	7,00	14,20	34,10	139,50	112,50	96,96
1971	139,80	122,40	75,80	139,70	80,60	39,70	18,00	9,90	6,00	77,50	153,80	182,80	87,17
1972	155,60	142,60	156,00	115,10	80,40	9,00	3,50	4,90	0,20	0,30	35,40	80,10	65,25
1973	127,50	138,70	147,50	182,20	187,60	66,80	14,90	27,30	57,20	41,70	85,40	116,90	99,48
1974	49,20	87,00	41,50	117,60	120,30	22,50	40,10	51,60	38,10	138,40	134,50	146,60	82,28
1975	183,50	175,80	169,00	151,80	91,20	54,90	30,70	23,20	43,20	125,50	174,40	96,70	109,99
1976	97,80	69,10	81,30	115,60	51,00	16,20	5,70	11,50	8,90	24,10	96,30	104,30	56,82
1977	99,10	148,20	139,20	129,00	89,20	110,20	23,20	14,90	18,50	4,90	37,90	81,70	74,67
1978	88,90	48,50	151,70	65,10	86,90	113,20	113,20	65,60	38,40	34,90	84,80	165,30	88,04
1979	83,40	143,60	76,50	181,00	134,20	56,50	23,20	25,50	43,40	48,50	70,60	114,40	83,40
1980	75,50	29,40	70,80	104,10	54,80	19,60	23,00	31,00	19,80	39,70	88,20	148,90	58,73
1981	51,50	48,50	131,70	96,00	81,30	45,60	48,00	27,00	28,80	30,30	64,10	57,90	59,23
1982	107,20	110,30	84,70	169,90	43,50	26,20	15,60	10,00	8,30	6,80	10,80	101,20	57,88
1983	125,80	173,20	196,00	132,00	116,30	33,00	14,80	1,60	0,30	38,50	134,90	89,10	87,96
1984	102,80	154,50	98,30	127,40	126,70	35,60	21,80	23,70	102,80	78,90	76,90	113,50	88,58
1985	109,10	96,00	40,50	41,60	42,60	65,30	49,80	29,10	63,70	103,80	73,60	144,30	71,62
1986	149,30	121,00	262,90	192,60	97,80	99,40	85,80	66,30	66,30	93,20	181,30	119,40	129,61
1987	124,80	112,30	180,80	151,80	85,80	58,60	27,10	13,50	13,60	32,00	61,90	159,20	85,12
1988	75,40	56,90	89,30	74,40	52,10	11,60	3,80	5,40	4,00	44,60	35,50	17,00	39,17
1989	66,00	77,80	41,10	77,90	72,90	43,40	38,60	41,20	48,70	34,50	120,60	80,70	61,95
1990	125,00	120,50	71,30	99,10	74,00	55,60	27,30	27,00	44,40	44,50	30,60	62,60	65,16
1991	100,30	114,60	192,50	144,20	82,60	43,10	31,10	38,50	49,40	116,10	130,30	138,30	98,42
1992	194,90	112,60	170,00	187,30	82,50	55,70	23,00	42,40	35,90	38,40	68,80	138,60	95,84
1993	255,90	199,40	127,30	237,40	73,40	21,20	15,30	11,50	14,50	15,40	31,20	46,60	87,43
1994	112,30	108,80	129,80	102,80	103,10	74,20	70,10	17,20	21,30	61,10	141,30	85,80	85,65
1995	104,00	104,70	119,60	119,20	80,50	45,90	28,40	20,90	21,10	35,00	69,30	97,40	70,50
1996	72,70	112,60	116,60	127,20	63,70	30,70	29,60	33,60	56,00	70,50	154,70	134,40	83,53
1997	116,60	62,00	54,40	105,20	95,40	96,40	8,60	2,20	2,50	7,60	34,60	70,30	54,65
1998	91,00	153,70	178,40	151,40	103,20	102,50	62,70	38,40	40,10	101,10	82,70	111,60	101,40
1999	135,40	126,10	123,10	73,00	100,00	50,90	40,40	19,00	14,90	72,20	111,60	100,70	80,61
2000	112,23	110,63	52,81	92,32	86,96	37,40	40,70	32,93	20,49	56,78	125,85	57,89	68,92
2001	138,17	157,57	110,98	150,01	79,91	85,08	45,81	43,24	40,27	109,06	216,61	55,63	102,70
Rata2	104,50	106,11	118,85	117,95	81,38	48,33	29,12	21,81	22,21	38,77	74,05	92,60	71,31

Pengaruh panjangnya data aliran historis yang dikelompokkan dengan seri-seri data 5, 10, 20, 30 dan 40 tahunan terhadap kesalahan relatif yang ditunjukkan dengan grafik hubungan panjang data sebagai absis dan besarnya kesalahan sebagai ordinat dalam sistem koordinat xy. Kesalahan relatif terdiri dari kesalahan nilai tengah dan deviasi standar. Kesalahan relatif dihitung dengan membandingkan nilai statistik data sintetik dari pembangkitan seri data aliran historis dengan nilai statistik data aliran historis terpanjang sebagai data populasi.

5.2.1.2. Kedungombo

Data debit bulanan historis sungai Serang di stasiun hidrometri waduk Kedungombo selama 47 tahun dari tahun 1952 sampai dengan tahun 1998, dikelompokkan (20 kelompok) menjadi seri-seri terpisah 5 tahunan, 10 tahunan, 20 tahunan, 30 tahunan dan 40 tahunan, yaitu mulai seri 5-1 sampai dengan seri 5-9, seri 10-1 sampai dengan 10-4, seri 20-1 dan seri 20-2, seri 30-1 dan seri 30-2, 40-1 dan 40-2 serta seri 47-1, dibangkitkan menjadi data sintetik 80 tahun. Data sintetik yang diperoleh kemudian diambil 50 tahun terakhir dan dipakai untuk bahan analisis selanjutnya yaitu analisis pengaruh panjang data historis yang representatif. Sedangkan yang 30 tahun data awal sebagai data bias (*white noise*).

Pengaruh panjang data aliran historis yang dikelompokkan dengan seri-seri data 5, 10, 20, 30 dan 40 tahunan terhadap kesalahan relatif yang ditunjukkan dengan grafik hubungan panjang data sebagai absis dan besarnya kesalahan sebagai ordinat dalam sistem koordinat xy. Kesalahan relatif terdiri dari kesalahan nilai tengah dan deviasi standar yang ditentukan dengan membandingkan nilai statistik data sintetik dari pembangkitan seri data aliran historis dengan nilai statistik data aliran historis terpanjang sebagai data populasi.

5.2.1.3. Cirata

Data debit bulanan historis sungai Citarum di stasiun hidrometri Cirata (73 tahun) dari tahun 1929 - 2001, dikelompokkan (34 kelompok) menjadi seri-seri terpisah 5 tahunan, 10 tahunan, 20 tahunan, 30 tahunan, 40 tahunan, 50 tahunan, 60 tahunan dan 70 tahunan, yaitu seri 5-1 sampai 5-14, seri 10-1 sampai 10-7, seri 20-1 sampai seri 20-3, seri 30-1 dan seri 30-2, seri 40-1 dan seri 40-2, seri 50-1 dan seri 50-2, seri 60-1 dan seri 60-2, seri 70-1 serta seri 73-1; dibangkitkan menjadi data sintetik 80 tahun. Data sintetik yang diperoleh kemudian diambil 50 tahun terakhir dan dipakai untuk bahan analisis selanjutnya yaitu analisis pengaruh panjang data historis yang representatif. Sedangkan yang 30 tahun data awal sebagai data bias (*white noise*).

Pengaruh panjangnya data aliran historis yang dikelompokkan dengan seri-seri data 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 dan 73 tahunan terhadap kesalahan relatif ditunjukkan dengan grafik hubungan panjang data sebagai absis dan besarnya kesalahan sebagai ordinat dalam sistem koordinat xy. Kesalahan relatif terdiri dari kesalahan nilai tengah dan deviasi standar, yaitu membandingkan nilai statistik data sintetik dari pembangkitan seri data aliran historis dengan nilai statistik data aliran historis terpanjang sebagai data populasi.

5.2.2. Pembangkitan Data Sintetik

5.2.2.1. Uji Homogenitas

Uji homogenitas diperlukan guna memperoleh gambaran secara statistik bahwa data-data aliran historis - sebagai sampel data, berasal dari populasi yang sama. Uji homogenitas ini dilakukan terhadap kelompok rangkaian data aliran historis yang dipakai sebagai data pembangkitan, yaitu:

1. Kelompok data 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 30 tahun, 40 tahun untuk DPS Bengawab Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro, selanjutnya disebut dengan '**Bojonegoro**'.
2. Kelompok data 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 30 tahun, 40 tahun dan 47 tahun untuk DPS Serang di stasiun hidrometri waduk Kedungombo, selanjutnya disebut dengan '**Kedungombo**'.
3. Kelompok data 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 30 tahun, 40 tahun, 50 tahun 60 tahun, 70 tahun dan 73 tahun untuk DPS Citarum di stasiun hidrometri Cirata, selanjutnya disebut dengan '**Cirata**'.

Contoh perhitungan uji homogenitas yang ditampilkan adalah lokasi 'Bojonegoro', dengan data 40 tahun yang dipecah menjadi 2 kelompok data (lihat Tabel 5.4).

Kelompok data pertama sebanyak 24 tahun dan kelompok kedua 16 tahun. Masing-masing data dikurangi dengan rata-ratanya (kolom 4) dan dikuadratkan (kolom 5). Komulatif kolom 4 dan kolom 5 dipergunakan untuk menghitung nilai t_c . Jika t_c lebih kecil dari $t_{(0.05,40)} = 1,645$ (lihat Lampiran VII Tabel VII-1), maka data disebut homogen.

Uji homogenitas terhadap kelompok rangkaian data aliran historis tersebut didapatkan bahwa hasil ujinya adalah homogen, yaitu $t_c = 0,451$ untuk nilai tengahnya dan $t_c = 1,538$ untuk nilai deviasi standarnya. Perhitungan uji homogenitas lokasi Bojonegoro, Kedungombo dan Cirata secara rinci masing-masing ditampilkan pada Lampiran IV.A, Lampiran IV.B, dan Lampiran IV.C.

5.2.2.2. Tipe Distribusi

Tipe distribusi data atau sebaran data berguna untuk menentukan analisis frekuensi statistik yang dipakai. Berdasarkan nilai tengah, deviasi standar, koefisien

TABEL 5.4. UJI HOMOGENITAS DPS BENGAWAN SOLO STASIUN HIDROMETRI BOJONEGORO TAHUN 1952 - 1991

NO	TAHUN	DATA	$x_1 - \bar{x}_1$	$(x_1 - \bar{x}_1)^2$	NO	TAHUN	DATA	$x_1 - \bar{x}_1$	$(x_1 - \bar{x}_1)^2$
1	1952	253,017	-67,380	4540,092	1	1976	221,317	-111,691	12474,854
2	1953	248,842	-71,555	5120,148	2	1977	249,842	-83,166	6916,564
3	1954	311,671	-8,726	76,144	3	1978	348,229	15,222	231,698
4	1955	279,000	-41,397	1713,701	4	1979	378,992	45,984	2114,539
5	1956	240,108	-80,289	6446,250	5	1980	256,717	-76,291	5820,299
6	1957	310,108	-10,289	105,854	6	1981	332,375	-0,633	0,400
7	1958	397,875	77,478	6002,860	7	1982	317,442	-15,566	242,297
8	1959	311,417	-8,980	80,644	8	1983	316,617	-16,391	268,661
9	1960	328,125	7,728	59,724	9	1984	395,442	62,434	3898,019
10	1961	199,925	-120,472	14513,473	10	1985	427,867	94,859	8998,252
11	1962	307,067	-13,330	177,694	11	1986	389,583	56,576	3200,819
12	1963	254,858	-65,539	4295,300	12	1987	363,733	30,726	944,074
13	1964	191,063	-129,334	16727,381	13	1988	316,717	-16,291	265,393
14	1965	225,829	-94,568	8943,051	14	1989	401,075	68,067	4633,177
15	1966	425,033	104,636	10948,788	15	1990	287,775	-45,233	2045,984
16	1967	229,867	-90,530	8195,719	16	1991	324,400	-8,608	74,090
17	1968	379,021	58,624	3436,768					
18	1969	290,783	-29,614	876,962					
19	1970	283,475	-36,922	1363,225					
20	1971	430,933	110,536	12218,309					
21	1972	263,508	-56,889	3236,306					
22	1973	439,983	119,586	14300,921					
23	1974	455,542	135,145	18264,115					
24	1975	632,475	312,078	97392,756					
		ΣX_1	7689,525		ΣX_2	5328,121	0,000	36,817	
		X_1	320,397		X_2	333,008			
		σ_1	101,945		σ_2	58,951			
					σ	86,631			

UJI STATISTIK :

1 Harga rata-rata

$$t_c = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S \sqrt{\frac{(N_1 + N_2)}{N_1 N_2}}}$$

tc = 0,451 < 1,65 (DATA HOMOGEN)

2 Harga rata-rata standar deviasi

$$t_c = \frac{|S_1 - S_2|}{S \sqrt{\frac{(N_1 + N_2)}{N_1 N_2}}}$$

tc = 1,538 < 1,65 (DATA HOMOGEN)

variasi, koefisien *skewness* dan koefisien *kurtosis* - tipe distribusi dapat ditentukan seperti diuraikan sebagai berikut:

1. Tipe distribusi Normal, apabila C_s (koefisien kemencengan) sama dengan nol ($\approx \pm 0,3$) dan C_k (koefisien kurtosis) sama dengan 3.
2. Tipe distribusi Log Normal, apabila $\ln C_s$ (koefisien kemencengan) sama dengan nol dan $\ln C_k$ (koefisien kurtosis) sama dengan 3.
3. Tipe distribusi Pearson III atau distribusi Gamma, apabila $3 \times C_v$ (koefisien variasi) tidak sama dengan nilai C_s (koefisien kemencengan).
4. Tipe distribusi Log Pearson III, apabila $\ln C_s$ (koefisien kemencengan) lebih besar dari nol dan $\ln C_k$ (koefisien kurtosis) $= 1 \frac{1}{2} \times (\ln C_s^2) + 3$.
5. Tipe distribusi Gumbel, apabila C_s (koefisien kemencengan atau *skweness*) sama dengan 1,14 dan C_k (koefisien kurtosis) sama dengan 5,4.

Pemilihan tipe distribusi pada data-data aliran historis berdasarkan asumsi-asumsi tersebut di atas ditampilkan pada Tabel 5.5. Tipe distribusi data aliran historis penelitian ini adalah distribusi Pearson III (Gamma), dengan nilai C_s lebih dari nol ($C_s = 1,129$) dan nilai C_k -nya mendekati $1,5 C_s^2 + 3$, yaitu 4,91 ($C_k = 2,539$).
 Distribusi Gauss: $C_s = 0 \neq 1,129$ dan $C_k = 3 \approx 2,539$. Distribusi Log Normal: $C_s(\ln x) = 0 \approx 0,122$ dan $C_k(\ln x) = 3 \neq 0,932$. Distribusi Log Pearson: $C_s(\ln x) = 0 \approx 0,122$ dan $C_k(\ln x) = 3,02 \neq 0,932$. Distribusi Gumbel: $C_s = 1,14 \approx 1,129$ dan $C_k = 5,4 \neq 2,539$. Sehingga distribusi DPS Bengawan Solo di Bojonegoro dipilih distribusi Gamma.

5.2.3. Aplikasi Pembangkitan Data

Aplikasi pembangkitan data untuk menunjukkan pentingnya ketersediaan data historis dilakukan dengan menghitung dan membandingkan data statistik hasil pembangkitan dan data statistik data historis yang terpanjang sebagai populasi.

TABEL 5.5. TIPE DISTRIBUSI DPS BENGAWAN SOLO STASIUN HIDROMETRI BOJONEGORO TAHUNAN (1952 - 1991)

No	Tahun	Debit	$X - X_{\text{bar}}$	$(X - X_{\text{bar}})^2$	$(X - X_{\text{bar}})^3$	$(X - X_{\text{bar}})^4$
1	1952	253,017	-72,424	5245,305	-379888,496	27513226,458
2	1953	248,842	-76,599	5867,480	-449445,928	34427323,998
3	1954	311,671	-13,770	189,622	-2611,147	35956,316
4	1955	279,000	-46,441	2156,780	-100163,336	4651700,082
5	1956	240,108	-85,333	7281,689	-621366,993	53022993,079
6	1957	310,108	-15,333	235,095	-3604,670	55269,724
7	1958	397,875	72,434	5246,663	380036,039	27527475,043
8	1959	311,417	-14,024	196,686	-2758,419	38685,389
9	1960	328,125	2,684	7,203	19,332	51,884
10	1961	199,925	-125,516	15754,303	-1977419,376	248198058,758
11	1962	307,067	-18,374	337,621	-6203,619	113988,267
12	1963	254,858	-70,583	4981,933	-351638,873	24819660,605
13	1964	191,063	-134,379	18057,620	-2426558,584	326077656,533
14	1965	225,829	-99,612	9922,546	-988404,485	98456926,931
15	1966	425,033	99,592	9918,604	987815,450	98378701,560
16	1967	229,867	-95,574	9134,481	-873023,271	83438744,381
17	1968	379,021	53,580	2870,783	153815,651	8241394,531
18	1969	290,783	-34,658	1201,164	-41629,716	1442794,876
19	1970	283,475	-41,966	1761,157	-73908,988	3101675,374
20	1971	430,933	105,492	11128,602	1173980,529	123845774,095
21	1972	263,508	-61,933	3835,673	-237554,033	14712389,389
22	1973	439,983	114,542	13119,913	1502783,502	172132109,709
23	1974	455,542	130,101	16926,146	2202100,348	286494402,202
24	1975	632,475	307,034	94269,788	28944016,220	8886792854,986
25	1976	221,317	-104,124	10841,907	-1128907,936	117546950,904
26	1977	249,842	-75,599	5715,281	-432072,286	32664439,770
27	1978	348,229	22,788	519,294	11833,680	269666,148
28	1979	378,992	53,551	2867,658	153564,595	8223464,020
29	1980	256,717	-68,724	4723,054	-324589,429	22307239,434
30	1981	332,375	6,934	48,078	333,368	2311,526
31	1982	317,442	-7,999	63,992	-511,900	4094,933
32	1983	316,617	-8,824	77,871	-687,175	6063,960
33	1984	395,442	70,001	4900,073	343007,656	24010714,591
34	1985	427,867	102,426	10490,987	1074544,840	110060814,906
35	1986	389,583	64,142	4114,220	263895,085	16926807,996
36	1987	363,733	38,292	1466,292	56147,514	2150011,125
37	1988	316,717	-8,724	76,117	-664,077	5793,727
38	1989	401,075	75,634	5720,480	432661,942	32723890,242
39	1990	287,775	-37,666	1418,739	-53438,413	2012819,050
40	1991	324,400	-1,041	1,084	-1,129	1,175
	S	13017,646		292691,985	27203503,476	10892434897,679

Parameter Statistik

Rata-rata	X	325,441
Standart Deviasi	Sd	86,631
Coef Variety	Cv	0,266
Coef Skewness	Cs	1,129
Coef Kurtosis	Ck	2,539
Jumlah data	N	40
Rentang	R	441,413

No	Jenis Distribusi	Syarat	Analisis	Ya/Tdk
1	Normal (Gauss)	Cs = 0 Ck = 3	Cs = 1,129 Ck = 2,539	T Y
2	Log Normal	Cs (ln x) = 0 Ck (ln x) = 3	Cs = 0,122 Ck = 0,932	Y T
3	Pearson type III (Gamma)	Cs > 0 Ck = 1,5 Cs ² + 3 = 4,91	Cs = 1,129 Ck = 2,539	Y Y
4	Log Pearson type III	Cs (ln x) = 0 Ck (ln x) = 1,5 (Cs (ln x) ²) + 3 = 3,02	Cs = 0,122 Ck = 0,932	Y T
5	Gumbell	Cs = 1,14 Ck = 5,4	Cs = 1,129 Ck = 2,539	Y T

Analisis frekuensi data aliran dan pembangkitan bilangan acak disesuaikan dengan tipe distribusi yang terjadi.

5.2.3.1. Model Markov

Aplikasi pembangkitan untuk model Markov dimulai dengan tahap menentukan yang digunakan untuk membentuk persamaan modelnya, yaitu:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} x_i x_{i+k} - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i \right) \left(\sum_{i=k+1}^n x_i \right)}{\left[\sum_{i=1}^{n-k} x_i^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i \right)^2 \right]^{0,5} \left[\sum_{i=k+1}^n x_i^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=k+1}^n x_i \right)^2 \right]^{0,5}} \dots\dots\dots (5-1)$$

(lihat Tabel 5.6.1. Dengan menggunakan persamaan (5-1) dan melihat Tabel 5.6.1 tersebut diperoleh nilai autokorelasi orde 1 yang cukup kecil yaitu $r_1 = 0,138$ dan autokorelasi orde 2 yang cukup kecil pula, $r_2 = 0,094$. Nilai tersebut menunjukkan keterkaitan antara tahun yang ditinjau dengan satu tahun sebelumnya dan dua tahun sebelumnya. Karena nilai r_2 yang lebih kecil dari r_1 , maka sebaiknya dipakai nilai autokorelasi orde 1 sebagai parameter pembangkitan model Markov untuk Bojonegoro ini. Tabel 5.6.2 kolom 10 menunjukkan hasil pembangkitan dengan orde 1 dan kolom 12 untuk orde 2.

Parameter statistik hasil pembangkitan model Markov untuk Bojonegoro ditunjukkan pada Tabel 5.6.3. Nilai tengah hasil pembangkitan untuk orde 1 (*mean* = 309,24) mempunyai nilai lebih rendah daripada nilai tengah historis (*mean* = 325,44), sedangkan deviasi standar mempunyai nilai lebih tinggi pada hasil pembangkitan (*standard deviation* = 90,87) daripada deviasi standar historis (*standard deviation* = 86,63). Kesalahan standar hasil pembangkitan (*standard error* = 10,10) mempunyai nilai lebih kecil daripada data historis (*standard error* = 13,70).

TABEL 5.6.1. PERHITUNGAN AUTOKORELASI MODEL MARKOV SERI 40-1 BOJONEGORO

i	x_i	x_i^2	x_i^3	$x_i \cdot x_{i+1}$	$x_i \cdot x_{i+2}$	$x_i \cdot x$	$\sum x_i \cdot x$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	253,02	64017	16197478	62961	78858	-72	-72
2	248,84	61922	15408817	77557	69427	-77	-149
3	311,67	97139	30275302	86956	74835	-14	-163
4	279,00	77841	21717639	66990	86520	-46	-209
5	240,11	57652	13842728	74460	95533	-85	-295
6	310,11	96167	29822243	123384	96573	-15	-310
7	397,88	158305	62985409	123905	130553	72	-237
8	311,42	96980	30201294	102184	62260	-14	-251
9	328,13	107666	35327911	65600	100756	3	-249
10	199,93	39970	7991003	61390	50953	-126	-374
11	307,07	94290	28953297	78258	58669	-18	-393
12	254,86	64953	16553755	48694	57554	-71	-463
13	191,06	36505	6974713	43147	81208	-134	-598
14	225,83	50999	11517019	95985	51911	-100	-697
15	425,03	180653	76783689	97701	161096	100	-598
16	229,87	52839	12145852	87124	66841	-96	-693
17	379,02	143657	54448917	110213	107443	54	-640
18	290,78	84555	24587169	82430	125308	-35	-674
19	283,48	80358	22779505	122159	74698	-42	-716
20	430,93	185704	80025845	113555	189603	105	-611
21	263,51	69437	18297134	115939	120039	-62	-673
22	439,98	193585	85174320	200431	278278	115	-558
23	455,54	207518	94533191	288119	100819	130	-428
24	632,48	400025	253005575	139977	158019	307	-121
25	221,32	48981	10840326	55294	77069	-104	-225
26	249,84	62421	15595331	87002	94688	-76	-301
27	348,23	121264	42227506	131976	89396	23	-278
28	378,99	143635	54436348	97293	125967	54	-224
29	256,72	65903	16918513	85326	81493	-69	-293
30	332,38	110473	36718510	105510	105235	7	-286
31	317,44	100769	31988347	100507	125530	-8	-294
32	316,62	100246	31739590	125203	135470	-9	-303
33	395,44	156374	61836839	169196	154057	70	-233
34	427,87	183070	78329501	166690	155629	102	-131
35	389,58	151775	59129078	141704	123388	64	-66
36	363,73	132302	48122625	115200	145884	38	-28
37	316,72	100309	31769674	127027	91143	-9	-37
38	401,08	160861	64517388	115419	130109	76	39
39	287,78	82814	23831929	93354		-38	1
40	324,40	105235	34138351			-1	0
JUMLAH	13017,65	4529170	1691689665	4185823	4112813	0	

Mean	325,44	ORDE 1:		ORDE 2:	
Standard Error	13,70	f1	4185823	k1	4112813
Standard Deviation	86,63	f2	12693	k2	12405
Sample Variance	7504,92	f3	12765	k3	12516
Kurtosis	2,54	f4	292691	k4	291233
Skewness	1,13	f5	177369	k5	280995
Range	441,41	Vf4	541	Vk4	540
Sum	13017,65	Vf5	421	Vk5	530
Count	40,00	r1	0,138	r2	0,094
Conf. Level (95%)	26,85				

TABEL 5.6.2. HASIL PEMBANGKITAN MODEL MARKOV SERI 40-1 BOJONEGORO

i	qi*	qi**	qi-x	r1.(qi-x)	x+r1.(qi-x)	r2.(qi-x)	ti	ti.sv(1-r12)	qi+1*	ti.sv(1-r22)	qi+1**
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
0	325,44	325,44	0,00	0,00	325,44	0,00	-0,523	-44,88	280,56	-45,11	280,33
1	280,56	280,33	-44,88	-6,17	319,27	-4,22	0,611	52,43	371,70	52,70	367,74
2	371,70	367,74	46,25	6,36	331,80	4,35	-0,359	-30,80	301,00	-30,96	305,19
3	301,00	305,19	-24,44	-3,36	322,08	-2,30	-0,393	-33,72	288,36	-33,89	285,88
4	288,36	285,88	-37,08	-5,10	320,34	-3,49	0,084	7,21	327,55	7,24	324,09
5	327,55	324,09	2,11	0,29	325,73	0,20	-0,931	-79,89	245,84	-80,30	245,63
6	245,84	245,63	-79,60	-10,95	314,49	-7,49	-0,027	-2,32	312,17	-2,33	304,67
7	312,17	304,67	-13,27	-1,83	323,62	-1,25	0,798	68,47	392,09	68,82	391,19
8	392,09	391,19	66,65	9,17	334,61	6,27	1,672	143,47	478,08	144,20	485,09
9	478,08	485,09	152,64	21,00	346,44	14,36	-1,077	-92,41	254,03	-92,89	267,91
10	254,03	267,91	-71,41	-9,83	315,62	-6,72	-1,536	-131,80	183,82	-132,48	176,42
11	183,82	176,42	-141,62	-19,48	305,96	-13,32	-0,454	-38,96	267,00	-39,16	253,48
12	267,00	253,48	-58,44	-8,04	317,40	-5,50	0,071	6,09	323,49	6,12	318,03
13	323,49	318,03	-1,95	-0,27	325,17	-0,18	-2,129	-182,68	142,49	-183,62	141,37
14	142,49	141,37	-182,95	-25,17	300,27	-17,21	1,525	130,86	431,13	131,53	414,59
15	431,13	414,59	105,69	14,54	339,98	9,94	0,261	22,40	362,38	22,51	372,43
16	362,38	372,43	36,94	5,08	330,52	3,47	2,319	198,99	529,51	200,01	534,00
17	529,51	534,00	204,07	28,08	353,52	19,20	0,972	83,40	436,92	83,83	456,55
18	436,92	456,55	111,48	15,34	340,78	10,49	0,767	65,81	406,59	66,15	417,42
19	406,59	417,42	81,15	11,16	336,61	7,63	-2,849	-244,46	92,14	-245,72	98,52
20	92,14	98,52	-233,30	-32,10	293,34	-21,95	-0,121	-10,38	282,96	-10,44	260,96
21	282,96	260,96	-42,48	-5,84	319,60	-4,00	0,968	83,06	402,66	83,49	399,09
22	402,66	399,09	77,22	10,62	336,06	7,26	-1,943	-166,72	169,34	-167,58	175,75
23	169,34	175,75	-156,10	-21,48	303,97	-14,69	0,581	49,85	353,82	50,11	339,39
24	353,82	339,39	39,39	3,90	329,35	2,67	-0,711	-61,01	268,34	-61,32	270,69
25	268,34	270,69	-57,10	-7,86	317,58	-5,37	-0,060	-5,15	312,44	-5,17	307,04
26	312,44	307,04	-13,00	-1,79	323,65	-1,22	-0,482	-41,36	282,29	-41,57	280,86
27	282,29	280,86	-43,15	-5,94	319,50	-4,06	-0,746	-64,01	255,49	-64,34	251,11
28	255,49	251,11	-69,95	-9,62	315,82	-6,58	-0,747	-64,10	251,72	-64,43	244,81
29	251,72	244,81	-73,72	-10,14	315,30	-6,94	1,254	107,60	422,90	108,15	416,52
30	422,90	416,52	97,46	13,41	338,85	9,17	-0,542	-46,51	292,34	-46,75	301,27
31	292,34	301,27	-33,10	-4,55	320,89	-3,11	-0,807	-69,25	251,64	-69,60	248,17
32	251,64	248,17	-73,80	-10,15	315,29	-6,94	0,168	14,42	329,70	14,49	322,83
33	329,70	322,83	4,26	0,59	326,03	0,40	0,839	71,99	398,02	72,36	398,79
34	398,02	398,79	72,58	9,99	335,43	6,83	-0,756	-64,87	270,56	-65,20	277,05
35	270,56	277,05	-54,88	-7,55	317,89	-5,16	-0,453	-38,87	279,02	-39,07	273,66
36	279,02	273,66	-46,42	-6,39	319,05	-4,37	-1,912	-164,06	154,99	-164,90	149,78
37	154,99	149,78	-170,45	-23,45	301,99	-16,04	0,766	65,73	367,72	66,07	352,02
38	367,72	352,02	42,28	5,82	331,26	3,98	-0,890	-76,37	254,89	-76,76	258,48
39	254,89	258,48	-70,55	-9,71	315,73	-6,64	0,205	17,59	333,33	17,68	326,78
40	333,33	326,78	7,88	1,08	326,53	0,74	-0,523	-44,88	281,65	-45,11	282,16
41	281,65	282,16	-43,79	-6,02	319,42	-4,12	0,611	52,43	371,84	52,70	367,99
42	371,84	367,99	46,40	6,38	331,83	4,37	-0,359	-30,80	301,02	-30,96	305,23
43	301,02	305,23	-24,42	-3,36	322,08	-2,30	-0,393	-33,72	288,36	-33,89	285,89
44	288,36	285,89	-37,08	-5,10	320,34	-3,49	0,084	7,21	327,55	7,24	324,10
45	327,55	324,10	2,11	0,29	325,73	0,20	-0,931	-79,89	245,84	-80,30	245,63
46	245,84	245,63	-79,60	-10,95	314,49	-7,49	-0,027	-2,32	312,17	-2,33	304,67
47	312,17	304,67	-13,27	-1,83	323,62	-1,25	0,798	68,47	392,09	68,82	391,19
48	392,09	391,19	66,65	9,17	334,61	6,27	1,672	143,47	478,08	144,20	485,09
49	478,08	485,09	152,64	21,00	346,44	14,36	-1,077	-92,41	254,03	-92,89	267,91
50	254,03	267,91	-71,41	-9,83	315,62	-6,72	-1,536	-131,80	183,82	-132,48	176,42
51	183,82	176,42	-141,62	-19,48	305,96	-13,32	-0,454	-38,96	267,00	-39,16	253,48
52	267,00	253,48	-58,44	-8,04	317,40	-5,50	0,071	6,09	323,49	6,12	318,03
53	323,49	318,03	-1,95	-0,27	325,17	-0,18	-2,129	-182,68	142,49	-183,62	141,37
54	142,49	141,37	-182,95	-25,17	300,27	-17,21	1,525	130,86	431,13	131,53	414,59
55	431,13	414,59	105,69	14,54	339,98	9,94	0,261	22,40	362,38	22,51	372,43
56	362,38	372,43	36,94	5,08	330,52	3,47	2,319	198,99	529,51	200,01	534,00
57	529,51	534,00	204,07	28,08	353,52	19,20	0,972	83,40	436,92	83,83	456,55
58	436,92	456,55	111,48	15,34	340,78	10,49	0,767	65,81	406,59	66,15	417,42
59	406,59	417,42	81,15	11,16	336,61	7,63	-2,849	-244,46	92,14	-245,72	98,52
60	92,14	98,52	-233,30	-32,10	293,34	-21,95	-0,121	-10,38	282,96	-10,44	260,96
61	282,96	260,96	-42,48	-5,84	319,60	-4,00	0,968	83,06	402,66	83,49	399,09
62	402,66	399,09	77,22	10,62	336,06	7,26	-1,943	-166,72	169,34	-167,58	175,75
63	169,34	175,75	-156,10	-21,48	303,97	-14,69	0,581	49,85	353,82	50,11	339,39
64	353,82	339,39	39,39	3,90	329,35	2,67	-0,711	-61,01	268,34	-61,32	270,69
65	268,34	270,69	-57,10	-7,86	317,58	-5,37	-0,060	-5,15	312,44	-5,17	307,04
66	312,44	307,04	-13,00	-1,79	323,65	-1,22	-0,482	-41,36	282,29	-41,57	280,86
67	282,29	280,86	-43,15	-5,94	319,50	-4,06	-0,746	-64,01	255,49	-64,34	251,11
68	255,49	251,11	-69,95	-9,62	315,82	-6,58	-0,747	-64,10	251,72	-64,43	244,81
69	251,72	244,81	-73,72	-10,14	315,30	-6,94	1,254	107,60	422,90	108,15	416,52
70	422,90	416,52	97,46	13,41	338,85	9,17	-0,542	-46,51	292,34	-46,75	301,27
71	292,34	301,27	-33,10	-4,55	320,89	-3,11	-0,807	-69,25	251,64	-69,60	248,17
72	251,64	248,17	-73,80	-10,15	315,29	-6,94	0,168	14,42	329,70	14,49	322,83
73	329,70	322,83	4,26	0,59	326,03	0,40	0,839	71,99	398,02	72,36	398,79
74	398,02	398,79	72,58	9,99	335,43	6,83	-0,756	-64,87	270,56	-65,20	277,05
75	270,56	277,05	-54,88	-7,55	317,89	-5,16	-0,453	-38,87	279,02	-39,07	273,66
76	279,02	273,66	-46,42	-6,39	319,05	-4,37	-1,912	-164,06	154,99	-164,90	149,78
77	154,99	149,78	-170,45	-23,45	301,99	-16,04	0,766	65,73	367,72	66,07	352,02
78	367,72	352,02	42,28	5,82	331,26	3,98	-0,890	-76,37	254,89	-76,76	258,48
79	254,89	258,48	-70,55	-9,71	315,73	-6,64	0,205	17,59	333,33	17,68	326,78
80	333,33	326,78	7,88	1,08	326,53	0,74	1,205	103,40	429,92	103,93	431,19
Rata2									310,53		308,94

TABEL 5.6.3. NILAI STATISTIK HISTORIS DAN SINTETIK MODEL MARKOV SERI 40-1 BOJONEGORO

NILAI STATISTIK	SINTETIK		HISTORIS
	ORDE 1	ORDE 2	
Mean	309,24	307,64	325,44
Standard Error	10,10	10,18	13,70
Standard Deviation	90,87	91,62	86,63
Sample Variance	8257,90	8394,28	7504,92
Kurtosis	0,20	0,22	2,54
Skewness	0,00	0,11	1,13
Range	437,37	435,48	441,41
Sum	25049	24919	13017,65
Count	81,00	81,00	40,00
Conf. Level (95%)	19,79	19,95	26,85

TABEL 5.6.4. ANALISIS VALIDITAS MODEL MARKOV DENGAN UJI -T

No	Parameter	Data		Keterangan
		Historis ¹	Sintetik ²	
1	Jumlah Data (n)	40	60	Ho : $m_1 = m_2$
2	Nilai Tengah (x)	325,44	330,92	diterima jika:
3	Deviasi Standar (S)	86,63	89,97	$-t_{\alpha} < t < t_{\alpha}$
4	Deviasi Standar ⁽¹⁾ dan ⁽²⁾ (σ)		89,55	
5	t		-0,30	
6	Derajat Kebebasan		98	
7	α		5%	
8	$t_{\alpha}(dk, a/2)$		1,96	
9	Uji -t	DITERIMA		

TABEL 5.6.5. ANALISIS VALIDITAS MODEL MARKOV DENGAN UJI -F

No	Parameter	Data		Keterangan
		Historis ¹	Sintetik ²	
1	Jumlah Data (n)	40	60	Ho : $m_1 = m_2$
2	Nilai Tengah (x)	325,44	330,92	diterima jika:
3	Deviasi Standar (S)	86,63	89,97	$F < F_{\alpha}$
4	Deviasi Standar ⁽¹⁾ dan ⁽²⁾ (s)		89,55	
5	F		0,94	
6	Derajat Kebebasan	39	59	
7	a		5%	
8	$F_{\alpha}(dk1, dk2, a)$		2,08	
9	Uji -F	DITERIMA		

Analisis validitas data hasil pembangkitan dengan menggunakan student-t menunjukkan $t = -0,30 < t_{cr} = 1,96$ sehingga hipotesis diterima (lihat Tabel 5.6.4), sedangkan uji -F didapatkan $F = 0,94 < F_{cr} = 2,08$ dan hipotesis diterima (lihat Tabel 5.6.5). Kesimpulan ini menggambarkan bahwa pemakaian model Markov pada data tahunan DPS Bengawan Solo di Bojonegoro mempunyai validitas yang cukup baik.

Persamaan (3-14) dan (3-15) digunakan untuk menghitung t dan deviasi standar hasil pembangkitan dan data historis. Persamaan (3-16) dipakai untuk menghitung F. Perhitungan model stokastik Markov untuk Bojonegoro, Kedungombo dan Cirata secara rinci ditunjukkan pada Lampiran I.A, I.B dan I.C

5.2.3.2. Model Thomas-Fiering

Pada pembuatan model Thomas-Fiering, yang dilakukan tahap pertama adalah menghitung nilai tengahnya dengan persamaan (3-6), deviasi standar (3-7), koefisien korelasi (3-8), koefisien regresi bulanan (3-9), koefisien variasi bulanan (3-10), koefisien asimetri/kemencengan (3-11). Hasilnya (masing-masing bulan) ditunjukkan pada Tabel 5.7.1 kolom 2 sampai kolom 13 bagian bawah tabel tersebut, pada baris pertama sampai dengan baris ketujuh.

Membangkitkan data sintetik melalui model Thomas-Fiering dilakukan dengan persamaan (3-12), sedangkan bilangan acak dipakai distribusi Pearson III (Gamma) karena menurut sub bab 5.2.2.2 distribusi data yang terjadi adalah Gamma. Bilangan acak distribusi Normal ditunjukkan Tabel 5.7.2 dan bilangan acak distribusi Gamma ditunjukkan Tabel 5.7.3. Hasil pembangkitan 80 tahun dari data sintetik 40 tahun S. Bengawan Solo di Bojonegoro seri 40-1 ditunjukkan pada Tabel 5.7.4. Parameter statistik hasil pembangkitan model Thomas-Fiering dan parameter statistik data historis untuk Bojonegoro ditunjukkan pada Tabel 5.7.5. Nilai tengah hasil pembangkitan untuk bulan Januari ($q = 613,51$) mempunyai nilai lebih rendah

TABEL 5.7.1. PERHITUNGAN AUTOKORELASI HISTORIS MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO

TAHUN KE	JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	563,80	580,10	871,90	201,60	55,70	35,20	17,70	21,70	20,60	40,50	305,90	311,50
2	248,80	531,50	523,70	482,20	734,90	45,30	38,30	18,10	15,00	12,80	56,90	278,60
3	533,50	764,80	456,90	379,70	391,70	116,80	139,80	56,70	36,75	32,50	403,70	427,20
4	497,00	473,80	391,30	529,40	229,70	148,30	241,30	95,30	58,50	52,20	372,20	259,00
5	646,80	571,70	298,10	130,20	138,30	289,40	140,30	87,00	42,40	60,20	80,00	396,90
6	373,90	465,40	1159,90	474,30	164,10	48,90	188,70	95,50	26,50	23,60	58,20	642,30
7	340,30	919,80	717,00	719,00	402,70	94,50	248,10	159,90	111,60	177,30	193,10	691,20
8	907,30	798,20	615,40	328,30	293,80	136,90	52,70	14,00	15,50	9,80	74,20	490,90
9	449,30	849,30	628,80	485,70	457,30	60,80	38,80	8,20	5,80	460,10	243,60	249,80
10	421,30	507,90	582,80	281,70	252,30	89,60	50,90	18,50	15,90	5,10	44,00	129,10
11	722,20	619,40	558,30	834,20	244,50	83,40	86,10	27,30	15,30	21,20	99,00	373,90
12	675,10	775,10	884,90	350,40	89,50	50,40	29,60	21,80	19,30	18,80	23,40	120,00
13	159,30	209,00	461,50	485,20	67,85	156,40	31,20	19,80	18,80	224,60	274,10	185,00
14	481,70	733,90	551,20	341,90	46,20	44,80	19,80	19,90	16,50	120,75	48,50	284,80
15	424,00	672,60	1001,70	1268,00	548,30	355,10	282,70	18,70	16,90	16,90	140,70	354,80
16	995,40	571,70	383,00	400,80	83,60	27,20	14,00	5,80	4,80	4,80	23,80	243,50
17	443,30	518,40	863,70	559,75	475,30	343,60	328,90	10,00	76,10	36,80	287,00	605,40
18	544,80	802,40	744,10	718,70	174,70	62,80	21,40	14,20	13,90	21,20	30,30	340,90
19	375,00	731,00	795,60	343,20	302,40	109,90	10,50	7,50	8,10	9,20	174,60	534,70
20	723,40	995,40	750,10	511,20	415,10	244,40	65,10	23,60	14,10	135,40	558,60	734,80
21	646,30	508,60	765,60	432,30	310,80	31,90	4,00	1,70	0,30	0,10	6,70	453,80
22	325,60	946,50	1004,30	730,80	815,20	53,00	143,50	62,70	58,30	87,10	389,80	663,00
23	386,70	874,10	973,00	840,00	430,70	103,30	36,90	203,10	250,20	302,50	555,10	510,90
24	705,10	1082,20	1270,10	1379,20	760,40	168,30	126,70	96,60	172,90	491,50	631,60	705,10
25	839,00	375,90	604,20	269,90	50,40	18,40	11,60	16,70	7,80	48,30	217,10	196,50
26	450,60	539,50	784,20	478,30	230,30	283,40	25,50	8,20	3,80	1,40	14,90	178,00
27	892,80	596,00	710,80	220,60	300,70	358,90	36,75	135,90	130,60	64,80	165,40	565,50
28	762,50	632,10	662,00	895,10	689,40	241,00	48,00	36,40	15,40	54,10	190,00	321,90
29	483,90	630,90	491,70	587,90	143,40	41,00	26,00	32,00	8,00	30,20	240,50	365,10
30	599,30	707,20	773,70	421,20	365,00	171,10	155,50	16,20	26,50	65,90	198,20	488,70
31	1002,90	1043,80	782,30	560,80	76,20	41,70	18,30	13,10	8,00	5,40	14,00	242,80
32	593,80	624,00	502,20	485,70	626,90	107,20	48,40	33,60	21,80	74,50	314,20	367,10
33	825,50	1296,80	761,00	568,00	183,80	67,50	54,90	31,30	152,70	121,40	85,00	597,40
34	867,70	1088,60	1184,80	692,80	199,80	256,40	61,30	43,90	51,80	82,90	192,00	412,40
35	863,70	1118,60	1204,60	100,40	134,80	259,20	106,30	41,20	95,20	92,50	409,80	248,70
36	1070,90	1307,00	852,60	176,40	85,80	102,50	40,50	19,70	16,30	12,70	80,20	600,20
37	746,30	871,30	646,70	316,40	304,10	88,60	39,30	33,50	19,90	68,20	291,80	374,50
38	829,30	1046,30	580,40	512,20	308,50	615,60	243,40	78,20	37,40	58,70	187,60	315,30
39	906,80	750,70	520,40	387,80	169,80	82,30	55,10	27,90	22,00	28,20	186,50	315,80
40	809,40	1022,70	510,10	684,20	140,70	34,10	19,90	12,50	9,20	9,40	144,60	496,00
Rata-rata (q)	628,36	754,11	720,62	514,14	297,37	141,73	83,69	42,20	41,51	79,59	200,17	401,83
Std Dev (s)	227,25	249,42	236,08	269,52	209,77	125,57	84,70	44,85	53,60	111,66	160,44	167,53
Cor (r)	0,01	0,48	0,41	0,34	0,56	0,19	0,54	0,34	0,78	0,54	0,59	0,37
Reg	0,01	0,53	0,39	0,39	0,44	0,11	0,36	0,18	0,93	1,13	0,85	0,39
Var	0,36	0,33	0,33	0,52	0,71	0,89	1,01	1,06	1,29	1,40	0,80	0,42
Asimt (g)	1,13	1,03	1,02	1,72	2,47	3,35	4,07	4,39	6,03	6,97	2,92	1,32
g tj	1,13	1,36	1,25	1,99	3,58	3,52	5,73	5,06	12,86	9,87	4,41	1,57

TABEL 5.7.2. BILANGAN ACAK DISTRIBUSI NORMAL BAKU SERI 40-1 BOJONEGORO MODEL THOMAS-FIERING

TAHUN KE	JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
1	-0,15	-0,89	-0,33	-0,92	-0,56	0,03	0,15	-0,29	0,60	0,49	-0,38	0,85
2	0,79	0,74	-0,29	0,44	0,46	-0,07	0,89	0,44	0,36	0,30	0,50	0,17
3	-0,20	0,02	-0,24	0,33	-0,22	0,50	0,87	-0,86	-0,47	0,09	0,68	0,62
4	-0,11	-0,29	-0,34	0,29	0,80	0,68	-0,59	-0,90	0,61	0,75	-0,18	0,29
5	-0,84	0,89	0,94	0,61	0,20	0,69	-0,09	-0,59	0,59	0,31	-0,18	0,50
6	-0,12	-0,76	-0,99	0,97	-0,61	0,49	-0,71	-0,83	0,17	0,61	-0,41	-0,60
7	0,67	0,56	-0,37	0,01	0,57	-0,61	-0,28	-0,18	-0,34	0,57	-0,07	-0,59
8	-0,06	-0,29	-0,78	0,30	-0,54	-0,51	0,29	0,12	0,54	0,53	-0,87	0,43
9	0,85	-0,20	-0,13	0,83	-0,78	0,07	0,67	0,08	0,70	0,88	0,82	-0,13
10	-0,89	-0,76	-0,54	-0,37	-0,57	-0,76	-0,20	-0,78	0,23	-0,12	0,44	-0,50
11	0,03	0,84	-0,23	0,60	-0,48	-1,00	0,96	-0,75	0,24	-0,97	-0,77	-0,45
12	1,00	-0,99	-0,18	0,55	-0,79	-0,94	0,20	0,29	-0,83	-0,47	-0,12	0,93
13	0,23	0,36	0,55	-0,54	0,01	-0,37	0,96	0,41	0,95	0,64	0,39	0,94
14	0,14	0,19	0,97	0,71	0,30	-0,38	0,90	-0,41	0,48	0,42	-0,27	0,75
15	0,50	0,37	0,05	-0,76	0,87	-0,30	-0,40	-0,07	0,36	0,53	0,50	0,60
16	-0,51	-0,91	-0,78	0,31	-0,04	-0,06	-0,30	0,64	0,05	0,94	-0,61	-0,48
17	-0,20	0,34	0,48	-0,49	0,84	0,42	0,37	-0,14	0,79	-0,60	-0,88	0,86
18	0,62	-0,12	0,71	-0,34	-0,76	0,24	0,19	-0,89	0,00	0,38	0,50	-0,17
19	-0,59	-0,58	0,45	0,89	0,22	0,61	-0,30	0,91	-0,95	0,05	-0,44	0,49
20	0,85	-0,77	0,51	0,96	0,28	0,73	-0,52	0,90	-0,11	-0,72	-0,89	-0,14
21	-0,42	-0,38	0,27	-0,67	-0,65	0,59	-0,91	0,47	-0,89	-0,32	-0,40	0,22
22	0,51	-0,09	-0,36	-0,82	0,16	0,00	0,02	-0,31	-0,20	0,83	0,37	-0,98
23	-0,87	-0,09	-0,01	-0,10	-0,47	-0,52	0,38	0,16	-0,42	0,37	0,53	0,69
24	-0,95	0,57	-0,96	-0,79	-0,10	-0,11	-0,75	0,35	0,49	-0,03	0,69	-0,75
25	0,85	0,60	-0,97	0,91	0,62	0,95	0,86	-0,61	-0,38	0,62	0,61	0,98
26	0,30	-0,84	0,77	-0,84	-0,65	-0,31	0,56	0,67	-0,55	0,90	-0,31	0,65
27	0,50	-0,28	-0,45	0,01	0,09	-0,46	-0,80	0,27	0,58	0,26	-0,02	0,47
28	-0,83	0,78	0,71	-0,94	-0,92	0,89	0,40	0,08	0,90	0,67	0,88	-0,33
29	-0,66	-0,67	0,84	-0,70	-0,26	-0,81	-0,88	-0,03	-0,09	0,04	0,37	0,48
30	0,84	0,31	0,22	0,60	0,63	0,11	-0,10	-0,30	-0,27	0,31	-0,07	0,14
31	0,80	-0,98	0,37	-0,14	-0,70	-0,21	0,58	0,28	0,64	-0,50	-1,00	-0,19
32	0,09	-0,09	0,24	-0,15	0,39	0,05	-0,95	-0,16	-0,27	-0,30	-0,79	0,56
33	-0,14	0,38	-0,94	0,30	0,86	0,79	-0,27	0,60	-0,91	0,30	0,26	0,95
34	0,84	-0,14	-0,32	0,23	-0,80	0,10	-0,80	0,08	-0,96	-0,86	-0,84	0,99
35	0,36	0,34	-0,22	-0,77	0,29	0,11	-0,96	-0,16	0,65	-0,45	-0,14	-0,95
36	0,91	0,62	-0,24	-0,40	0,66	0,15	0,28	-0,17	-0,42	0,86	0,09	0,72
37	0,66	-0,74	0,43	-0,48	0,78	-0,35	0,98	-0,47	0,68	0,72	0,19	-0,62
38	-0,39	0,63	-0,86	-0,48	0,34	-0,19	-0,07	-0,90	0,28	0,97	0,18	0,72
39	-0,15	-0,01	0,28	-0,79	-0,97	-0,94	-0,58	-0,77	-0,34	0,59	-0,51	-0,19
40	0,22	0,68	0,88	-0,97	-0,87	-0,87	-0,87	-0,30	0,93	0,95	-0,70	-0,23
41	1,00	0,36	0,17	-0,77	-0,10	0,79	0,33	-0,58	0,03	-0,45	-0,20	-0,23
42	0,63	0,53	-0,44	0,97	0,12	-0,63	0,76	0,85	-0,49	-0,58	0,96	-0,57
43	-0,26	-0,17	0,56	-0,77	0,21	-0,12	0,69	-0,82	-0,48	-0,67	0,40	-0,56
44	-0,34	-0,73	-0,57	-0,77	0,99	-0,69	-0,23	0,71	-0,72	0,14	-0,11	0,05
45	-0,32	0,20	0,73	-1,00	-0,33	-0,01	-0,57	-0,77	-0,18	0,27	-0,72	0,52
46	-1,00	0,15	0,29	0,52	-0,59	0,32	-0,02	0,51	-0,01	-0,07	-0,74	0,88
47	-0,57	0,29	-0,20	-0,81	-0,35	0,97	0,17	-0,07	0,64	0,18	0,59	-0,77
48	-0,94	-0,09	-0,46	-0,98	-0,61	-0,04	-0,81	-0,29	-0,31	-0,45	0,12	0,81
49	-0,55	0,11	-0,24	0,13	-0,16	0,11	0,98	0,65	-0,69	-0,57	0,62	-0,53
50	0,43	-0,20	0,41	-0,17	0,79	0,62	0,12	0,39	-0,78	-0,55	-0,32	-0,91
51	-0,95	-0,25	0,26	-0,89	0,42	0,26	-0,15	-0,96	-0,02	-0,13	-0,49	0,01
52	-0,96	-0,17	-0,96	-0,68	0,40	-0,59	0,71	-0,69	-0,67	0,59	-0,26	-0,18
53	-0,35	0,11	0,23	0,75	0,32	-0,76	-0,62	-0,47	-0,86	0,17	0,97	-0,81
54	0,30	0,98	-0,53	0,04	0,48	-0,97	-0,90	0,53	0,79	0,57	0,14	0,79
55	-0,10	-0,05	-0,09	-0,36	-0,55	0,72	-0,71	-0,42	-0,38	-0,40	-0,45	-0,02
56	0,06	0,45	0,23	-0,98	0,06	-0,96	0,87	-0,15	0,81	0,48	0,18	-0,35
57	-0,62	0,43	0,95	-0,39	-0,81	-0,05	-0,36	-0,98	0,92	-0,62	0,72	0,12
58	0,22	-0,41	-0,68	-0,32	-0,96	0,24	0,84	-0,53	-0,82	0,62	0,31	0,68
59	-0,88	-0,52	0,49	0,78	0,54	-0,49	0,06	-0,49	0,37	-0,60	0,67	-0,25
60	0,79	-0,60	0,35	0,55	-0,16	-0,91	0,94	0,91	0,01	0,45	0,15	-0,44
61	-0,67	0,99	0,68	-0,08	-0,84	-0,71	-0,40	-0,10	-0,19	0,66	0,20	0,23
62	0,18	0,18	-0,32	0,46	-0,04	-0,44	0,56	-0,17	-0,55	0,64	0,26	0,12
63	0,04	0,88	-0,38	-0,22	0,99	-0,72	0,42	0,72	0,22	0,69	-0,72	0,93
64	-0,89	0,53	0,05	0,90	0,33	-0,12	0,50	0,36	-0,36	-0,53	-0,57	0,21
65	-0,95	0,78	-0,32	-0,58	0,30	0,89	0,58	0,50	0,90	0,00	-0,13	0,84
66	0,07	-0,39	0,29	-0,19	-0,90	0,77	0,17	0,97	0,47	-0,93	0,65	0,03
67	0,95	0,30	-0,54	0,32	0,64	0,08	-0,60	-0,78	0,63	-0,28	-0,13	0,49
68	-0,76	0,35	-0,64	0,75	-0,25	-0,92	-0,07	-0,38	0,60	-0,33	0,52	0,16
69	-0,08	0,66	-0,24	-0,27	-0,89	-0,35	-0,06	-0,01	0,96	-0,17	0,90	-0,36
70	-0,58	0,33	1,00	-0,35	-0,10	0,01	-0,45	-0,18	0,31	-0,53	-0,86	0,89
71	-0,80	-0,51	-0,33	0,63	-0,03	0,86	0,47	-0,28	-0,37	-0,34	-0,45	0,16
72	-0,01	-0,44	0,85	0,83	0,67	0,54	0,61	-0,65	-0,51	0,37	0,66	-0,23
73	0,36	0,58	-0,20	-0,82	0,10	-0,71	0,87	0,87	0,29	0,55	-0,52	0,86
74	0,41	0,53	-0,36	-0,83	-0,62	-0,89	-0,31	-0,88	0,59	-0,79	0,28	-0,48
75	-0,07	0,30	0,48	0,97	0,10	-0,83	-0,14	-0,61	0,53	0,20	-0,90	0,58
76	0,90	-0,09	-0,73	-0,41	0,17	0,74	0,89	0,83	0,94	-0,21	0,43	0,59
77	0,96	-0,32	-0,93	-0,64	0,15	-0,92	-0,44	-0,17	-0,08	0,45	-0,14	-0,13
78	-0,56	0,45	-0,17	0,09	-0,35	0,26	0,99	0,13	-0,13	-0,68	-0,30	0,65
79	-0,54	0,24	0,67	-0,76	0,82	0,43	0,25	-0,04	-0,17	-0,99	0,07	-0,36
80	-0,88	-0,07	-0,15	-0,28	-0,85	-0,70	0,42	-0,37	0,57	0,09	-0,41	-0,74

TABEL 5.7.3. BILANGAN ACAK DISTRIBUSI GAMMA SERI 40-1 BOJONEGORO MODEL THOMAS-FIERING

TAHUN KE	JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
1	-0,11	-0,35	-0,17	-0,36	-0,24	-0,05	-0,01	-0,15	0,14	0,11	-0,18	0,23
2	0,21	0,19	-0,15	0,09	0,10	-0,08	0,24	0,09	0,06	0,04	0,11	0,00
3	-0,12	-0,05	-0,14	0,05	-0,13	0,11	0,23	-0,34	-0,21	-0,03	0,17	0,15
4	-0,09	-0,15	-0,17	0,04	0,21	0,17	-0,25	-0,36	0,15	0,19	-0,12	0,04
5	-0,34	0,24	0,26	0,15	0,01	0,17	-0,09	-0,25	0,14	0,05	-0,12	0,11
6	-0,10	-0,31	-0,39	0,27	-0,26	0,11	-0,29	-0,33	0,00	0,15	-0,19	-0,26
7	0,17	0,13	-0,18	-0,05	0,13	-0,26	-0,15	-0,12	-0,17	0,13	-0,08	-0,25
8	-0,08	-0,15	-0,32	0,04	-0,24	-0,23	0,04	-0,02	0,12	0,12	-0,35	0,09
9	0,23	-0,12	-0,10	0,22	-0,32	-0,03	0,17	-0,03	0,18	0,24	0,22	-0,10
10	-0,35	-0,31	-0,24	-0,18	-0,25	-0,31	-0,12	-0,32	0,02	-0,10	0,09	-0,22
11	-0,05	0,22	-0,13	0,14	-0,22	-0,39	0,26	-0,31	0,02	-0,38	-0,31	-0,21
12	0,28	-0,39	-0,12	0,13	-0,32	-0,37	0,01	0,04	-0,33	-0,21	-0,10	0,25
13	0,02	0,06	0,13	-0,24	-0,05	-0,18	0,26	0,08	0,26	0,16	0,07	0,26
14	-0,01	0,01	0,27	0,18	0,04	-0,18	0,24	-0,19	0,10	0,08	-0,15	0,19
15	0,11	0,07	-0,04	-0,31	0,23	-0,16	-0,19	-0,08	0,06	0,12	0,11	0,14
16	-0,23	-0,36	-0,32	0,05	-0,07	-0,08	-0,16	0,16	-0,04	0,26	-0,26	-0,22
17	-0,12	0,06	0,10	-0,22	0,22	0,08	0,07	-0,10	0,21	-0,26	-0,35	0,23
18	0,15	-0,10	0,18	-0,17	-0,31	0,02	0,01	-0,35	-0,06	0,07	0,11	-0,11
19	-0,25	-0,25	0,09	0,24	0,02	0,15	-0,16	0,25	-0,37	-0,04	-0,20	0,11
20	0,23	-0,31	0,11	0,26	0,04	0,19	-0,23	0,24	-0,09	-0,30	-0,35	-0,10
21	-0,20	-0,18	0,03	-0,28	-0,27	0,14	-0,36	0,10	-0,35	-0,16	-0,19	0,02
22	0,11	-0,09	-0,18	-0,33	0,00	-0,06	-0,05	-0,16	-0,12	0,22	0,07	-0,38
23	-0,35	-0,09	-0,06	-0,09	-0,21	-0,23	0,07	0,00	-0,20	0,07	0,12	0,17
24	-0,37	0,13	-0,38	-0,32	-0,09	-0,09	-0,31	0,06	0,11	-0,07	0,17	-0,31
25	0,16	0,14	-0,38	0,25	0,15	0,26	0,23	-0,26	-0,18	0,15	0,15	0,27
26	0,04	-0,34	0,20	-0,34	-0,27	-0,16	0,13	0,17	-0,24	0,24	-0,16	0,16
27	0,11	-0,15	-0,21	-0,05	-0,03	-0,21	-0,32	0,03	0,14	0,03	-0,06	0,10
28	-0,33	0,20	0,18	-0,37	-0,36	0,24	0,08	-0,04	0,24	0,17	0,24	-0,17
29	-0,28	-0,28	0,22	-0,29	-0,14	-0,33	-0,34	-0,07	-0,09	-0,04	0,07	0,10
30	0,22	0,05	0,02	0,14	0,15	-0,02	-0,09	-0,16	-0,15	0,05	-0,08	-0,01
31	0,21	-0,38	0,07	-0,10	-0,29	-0,13	0,14	0,04	0,16	-0,22	-0,39	-0,12
32	-0,03	-0,09	0,02	-0,11	0,07	-0,04	-0,37	-0,11	-0,15	-0,16	-0,32	0,13
33	-0,10	0,07	-0,37	0,04	0,23	0,21	-0,15	0,14	-0,36	0,04	0,03	0,26
34	0,22	-0,10	-0,16	0,02	-0,32	-0,02	-0,32	-0,03	-0,38	-0,34	-0,34	0,27
35	0,06	0,06	-0,13	-0,31	0,04	-0,02	-0,38	-0,11	0,16	-0,21	-0,10	-0,37
36	0,25	0,15	-0,14	-0,19	0,16	-0,01	0,04	-0,11	-0,20	0,23	-0,03	0,18
37	0,16	-0,30	0,09	-0,22	0,20	-0,17	0,27	-0,21	0,17	0,18	0,01	-0,26
38	-0,19	0,15	-0,34	-0,22	0,08	-0,12	-0,08	-0,36	0,04	0,27	0,00	0,18
39	-0,11	-0,06	0,04	-0,32	-0,38	-0,37	-0,25	-0,31	-0,17	0,14	-0,23	-0,12
40	0,02	0,17	0,24	-0,38	-0,35	-0,35	-0,35	-0,16	0,25	0,26	-0,29	-0,13
41	0,28	0,06	0,00	-0,31	-0,09	0,21	0,05	-0,25	-0,05	-0,21	-0,12	-0,13
42	0,15	0,12	-0,20	0,27	-0,02	-0,27	0,20	0,23	-0,22	-0,25	0,26	-0,25
43	-0,14	-0,11	0,13	-0,31	0,01	-0,10	0,17	-0,33	-0,22	-0,28	0,08	-0,24
44	-0,17	-0,30	-0,25	-0,31	0,27	-0,29	-0,13	0,18	-0,30	-0,01	-0,09	-0,04
45	-0,16	0,01	0,19	-0,39	-0,17	-0,06	-0,25	-0,31	-0,12	0,03	-0,30	0,12
46	-0,39	-0,01	0,04	0,12	-0,25	0,05	-0,06	0,11	-0,06	-0,08	-0,30	0,24
47	-0,25	0,04	-0,12	-0,33	-0,17	0,27	0,00	-0,08	0,16	0,00	0,14	-0,31
48	-0,37	-0,09	-0,21	-0,38	-0,26	-0,07	-0,33	-0,15	-0,16	-0,21	-0,02	0,21
49	-0,24	-0,02	-0,14	-0,01	-0,11	-0,02	0,27	0,16	-0,29	-0,25	0,15	-0,23
50	0,09	-0,12	0,08	-0,11	0,21	0,15	-0,02	0,07	-0,32	-0,24	-0,16	-0,36
51	-0,37	-0,14	0,03	-0,35	0,08	0,03	-0,11	-0,38	-0,06	-0,10	-0,22	-0,05
52	-0,38	-0,11	-0,38	-0,28	0,08	-0,25	0,18	-0,29	-0,28	0,14	-0,14	-0,12
53	-0,17	-0,02	0,02	0,19	0,05	-0,31	-0,26	-0,21	-0,34	0,00	0,27	-0,33
54	0,04	0,27	-0,23	-0,04	0,10	-0,38	-0,36	0,12	0,21	0,13	-0,01	0,21
55	-0,09	-0,07	-0,09	-0,18	-0,24	0,18	-0,29	-0,20	-0,18	-0,19	-0,21	-0,06
56	-0,04	0,09	0,02	-0,38	-0,04	-0,38	0,23	-0,11	0,21	0,10	0,00	-0,17
57	-0,26	0,09	0,26	-0,19	-0,33	-0,07	-0,18	-0,38	0,25	-0,26	0,18	-0,02
58	0,02	-0,19	-0,28	-0,16	-0,38	0,02	0,22	-0,23	-0,33	0,15	0,05	0,17
59	-0,35	-0,23	0,11	0,20	0,12	-0,22	-0,04	-0,22	0,07	-0,26	0,17	-0,14
60	0,21	-0,26	0,08	0,13	-0,11	-0,36	0,26	0,25	-0,05	0,09	-0,01	-0,20
61	-0,28	0,27	0,16	-0,08	-0,34	-0,29	-0,19	-0,09	-0,12	0,16	0,01	0,02
62	0,00	0,00	-0,16	0,10	-0,07	-0,20	0,13	-0,11	-0,24	0,16	0,03	-0,02
63	-0,04	0,24	-0,18	-0,13	0,27	-0,30	0,08	0,18	0,02	0,17	-0,30	0,25
64	-0,35	0,12	-0,04	0,24	0,05	-0,10	0,11	0,06	-0,18	-0,23	-0,25	0,01
65	-0,37	0,20	-0,16	-0,25	0,04	0,24	0,14	0,11	0,24	-0,06	-0,10	0,22
66	-0,03	-0,19	0,04	-0,12	-0,36	0,20	0,00	0,27	0,10	-0,37	0,16	-0,05
67	0,26	0,04	-0,24	0,05	0,16	-0,03	-0,26	-0,32	0,15	-0,15	-0,10	0,11
68	-0,31	0,06	-0,27	0,19	-0,14	-0,36	-0,08	-0,18	0,14	-0,17	0,12	0,00
69	-0,08	0,16	-0,14	-0,15	-0,35	-0,17	-0,08	-0,06	0,26	-0,11	0,24	-0,18
70	-0,25	0,05	0,28	-0,17	-0,09	-0,05	-0,21	-0,12	0,05	-0,23	-0,34	0,17
71	-0,32	-0,23	-0,17	0,15	-0,07	0,23	0,10	-0,15	-0,18	-0,17	-0,21	0,00
72	-0,06	-0,20	0,23	0,22	0,17	0,12	0,15	-0,27	-0,23	0,07	0,16	-0,13
73	0,06	0,14	-0,12	-0,33	-0,02	-0,29	0,23	0,23	0,04	0,13	-0,23	0,23
74	0,08	0,12	-0,18	-0,33	-0,26	-0,35	-0,16	-0,35	0,14	-0,32	0,04	-0,22
75	-0,08	0,04	0,10	0,27	-0,02	-0,33	-0,10	-0,26	0,12	0,01	-0,36	0,14
76	0,24	-0,09	-0,30	-0,19	0,00	0,19	0,24	0,22	0,26	-0,13	0,09	0,14
77	0,26	-0,16	-0,37	-0,27	-0,01	-0,36	-0,20	-0,11	-0,08	0,09	-0,10	-0,10
78	-0,24	0,09	-0,11	-0,03	-0,17	0,03	0,27	-0,01	-0,10	-0,28	-0,16	0,16
79	-0,24	0,02	0,17	-0,31	0,22	0,09	0,03	-0,07	-0,11	-0,39	-0,03	-0,18
80	-0,35	-0,08	-0,11	-0,15	-0,34	-0,29	0,08	-0,18	0,13	-0,03	-0,19	-0,30

TABEL 5.7.4. HASIL PEMBANGKITAN MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO

TAHUN KE	JANUARI	PEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOPEMBER	DESEMBER
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	603,51	642,95	621,03	491,41	118,86	108,36	44,77	23,97	27,31	66,10	143,39	478,24
2	674,40	594,52	601,04	460,39	300,40	182,25	66,06	37,93	21,27	53,83	157,81	346,47
3	600,83	693,12	695,63	425,04	216,29	166,25	91,44	37,79	47,85	71,82	182,31	504,22
4	606,04	651,19	574,95	396,07	340,69	155,04	68,04	55,38	95,87	117,02	161,95	474,90
5	552,06	816,54	704,91	386,72	131,68	144,96	130,98	41,67	87,93	85,08	168,75	372,53
6	608,94	551,69	525,07	753,35	235,01	139,71	29,23	46,95	91,12	76,51	127,74	307,04
7	689,25	629,95	746,77	499,50	410,15	121,92	55,97	66,72	145,29	171,32	272,97	359,85
8	612,04	868,82	669,94	484,34	175,33	113,52	84,89	38,00	19,48	61,59	96,17	366,65
9	678,67	632,44	736,48	534,32	230,15	156,12	66,42	32,95	15,88	61,59	551,58	403,28
10	545,71	576,83	573,91	415,06	153,25	98,49	56,10	23,01	20,18	41,71	148,68	306,73
11	617,74	852,89	639,63	487,40	399,66	87,73	81,50	29,73	28,48	14,44	110,17	330,64
12	688,79	694,70	703,95	610,60	170,50	72,40	51,46	34,26	11,36	34,60	136,17	372,89
13	631,09	519,39	535,47	353,38	275,65	93,32	107,91	36,23	29,47	68,76	332,99	470,58
14	625,22	678,02	770,33	493,91	229,89	90,43	66,11	22,66	24,29	59,28	216,30	373,29
15	653,16	660,51	680,45	545,56	667,20	151,38	147,36	74,46	21,83	63,17	161,29	401,24
16	575,59	870,42	581,59	394,52	235,92	107,87	31,15	36,39	6,35	62,34	103,14	299,93
17	602,53	668,57	651,14	514,52	356,26	172,57	161,55	61,74	18,56	94,65	118,68	471,43
18	662,12	688,92	778,41	480,52	333,03	130,65	55,70	16,19	13,80	55,09	164,95	318,53
19	572,31	565,37	731,92	604,46	225,83	160,62	61,06	39,57	-3,28	38,22	114,21	408,68
20	683,30	736,34	839,35	592,62	303,22	178,39	104,46	49,19	21,11	20,91	202,01	524,85
21	584,41	723,83	632,26	461,05	214,36	160,66	18,32	32,21	-8,01	17,84	108,21	329,60
22	656,86	574,84	757,90	541,51	391,57	194,35	48,11	46,19	56,46	119,29	215,32	415,87
23	550,87	607,25	754,75	590,09	402,77	128,83	74,88	33,73	184,56	321,52	405,20	566,53
24	546,67	824,17	767,81	647,75	659,59	183,54	71,46	52,47	95,73	221,75	572,65	521,51
25	663,01	897,37	491,59	531,48	216,98	145,54	55,61	18,38	11,67	55,72	192,71	450,56
26	636,32	586,55	680,16	453,95	234,44	114,45	144,30	38,87	1,85	59,96	113,19	355,08
27	655,17	861,85	614,73	497,08	164,78	116,37	139,20	35,26	133,29	183,07	179,56	404,08
28	552,10	869,90	711,98	397,83	400,78	216,46	125,16	34,31	44,35	65,86	209,28	372,13
29	565,39	616,58	720,83	351,65	304,87	83,93	22,80	29,11	29,15	37,80	166,99	433,70
30	680,19	749,13	706,14	571,43	283,62	147,17	87,96	48,47	12,44	67,13	178,33	399,68
31	674,81	869,30	848,19	512,31	287,57	100,86	57,37	32,10	19,76	20,90	86,83	311,17
32	622,22	717,09	675,12	402,19	297,88	174,78	44,60	31,29	28,62	42,74	154,59	466,42
33	606,99	874,20	852,95	541,15	361,02	154,29	46,44	43,15	19,30	209,27	239,71	397,80
34	679,46	858,73	816,20	700,59	319,41	127,78	102,13	36,97	30,45	59,08	159,56	441,35
35	641,54	891,55	835,07	623,88	123,88	120,73	99,33	41,64	46,01	120,90	197,91	425,17
36	685,56	1021,83	907,12	517,79	178,48	116,75	72,21	29,74	14,01	72,82	140,04	384,02
37	665,47	750,67	785,21	430,70	246,55	121,28	83,86	25,30	39,18	72,50	191,50	396,55
38	585,37	894,41	760,98	404,83	306,56	128,36	249,44	55,75	76,26	100,08	183,00	425,64
39	603,55	888,93	727,41	355,25	176,41	81,62	44,41	23,90	22,53	70,81	127,33	378,03
40	633,30	887,50	876,53	336,04	311,60	81,15	20,06	24,22	22,46	67,62	103,17	359,72
41	690,62	733,94	658,88	494,08	145,49	139,58	49,06	19,89	20,92	36,69	151,15	422,24
42	662,28	579,23	590,29	505,13	280,72	159,25	62,96	43,69	11,73	26,30	177,65	308,10
43	596,28	679,29	752,99	332,17	241,18	140,79	87,15	38,35	47,74	48,04	170,23	443,03
44	588,62	619,17	558,46	306,57	351,69	98,77	76,62	78,03	80,95	97,93	164,97	462,45
45	591,45	766,31	689,86	250,79	101,00	116,20	119,55	39,14	79,29	83,82	145,46	373,57
46	542,28	617,93	616,84	715,36	236,17	132,72	45,67	65,81	89,10	55,24	113,50	383,79
47	575,32	610,30	758,96	430,27	356,89	186,82	66,69	68,27	156,28	159,12	301,43	350,52
48	545,38	883,37	692,88	376,27	171,28	132,83	58,67	30,23	9,94	30,93	138,87	386,36
49	572,62	655,01	728,59	475,22	266,04	157,77	73,81	40,97	0,28	16,23	542,96	382,53
50	645,70	617,59	642,03	431,94	231,98	155,17	63,73	39,47	8,85	28,26	115,90	285,47
51	543,51	773,55	674,76	361,60	451,76	139,49	55,05	26,77	25,56	40,72	122,25	354,49
52	540,33	754,39	648,02	506,75	239,39	86,77	63,61	20,47	13,16	67,76	130,13	315,33
53	587,15	501,19	512,53	462,29	293,61	77,30	70,25	23,85	9,16	54,06	358,00	379,84
54	637,34	735,52	662,78	437,34	240,31	66,19	23,22	35,88	27,77	63,97	233,99	375,36
55	607,71	629,94	670,42	579,34	584,99	193,27	139,97	69,53	13,53	34,08	120,32	369,10
56	618,77	969,41	654,01	285,60	241,71	70,90	59,03	25,28	14,88	47,95	137,21	306,67
57	570,71	675,12	684,84	522,96	260,74	153,26	144,15	69,92	20,02	94,02	187,89	433,06
58	631,82	867,81	678,75	482,21	321,45	130,65	71,19	21,25	4,40	62,60	156,75	362,60
59	550,34	569,74	734,79	595,18	244,35	115,33	69,64	19,87	11,53	17,89	162,09	370,31
60	678,75	748,71	827,88	558,00	277,17	111,02	139,26	49,33	22,46	57,51	246,86	509,29
61	565,48	823,55	660,22	510,86	203,36	107,26	30,47	24,19	-0,15	48,50	134,08	330,12
62	631,86	594,49	760,77	649,58	379,99	176,27	60,96	48,16	52,54	113,35	210,58	472,90
63	619,80	677,85	728,23	579,96	487,29	120,62	75,83	41,61	191,74	331,53	351,29	578,98
64	551,21	821,26	840,23	790,43	684,48	183,13	101,25	52,61	86,19	206,11	518,31	571,29
65	541,81	910,47	538,20	405,68	198,46	143,08	48,94	33,99	26,03	36,32	160,80	443,30
66	618,90	619,30	645,75	508,83	219,97	158,81	135,01	43,09	13,30	2,71	154,60	322,93
67	889,26	904,07	608,28	523,25	196,62	138,55	143,97	20,48	133,85	166,18	174,81	405,11
68	557,40	838,60	615,19	540,52	439,56	142,11	113,96	28,12	40,98	34,58	193,76	397,54
69	609,32	713,39	643,40	387,96	268,40	102,82	41,86	29,39	40,93	31,23	189,84	390,15
70	572,63	750,58	762,07	491,23	241,36	143,06	79,62	50,16	18,94	40,85	144,26	428,20
71	553,62	903,51	798,00	577,32	306,35	144,81	54,75	24,22	8,43	25,91	110,55	329,32
72	614,64	691,62	718,86	484,93	314,09	194,91	81,77	24,39	25,92	63,70	217,12	425,45
73	644,87	888,76	906,01	446,59	317,02	92,67	73,61	46,94	32,76	217,09	206,07	393,14
74	646,89	907,50	813,33	611,09	329,83	87,12	113,81	23,46	47,84	61,27	207,87	385,13
75	608,97	888,64	885,26	770,79	112,88	82,12	118,87	35,31	44,66	141,24	165,13	504,51
76	685,80	970,15	871,99	516,94	150,11	140,98	86,74	43,81	29,27	39,35	154,71	377,28
77	688,19	781,24	687,70	417,19	210,08	97,86	50,02	29,52	30,66	64,06	177,27	421,96
78	572,49	881,31	810,45	452,96	266,61	146,84	274,70	70,24	71,66	48,46	162,30	422,02
79	574,01	907,13	755,38	357,78	280,03	137,89	64,19	34,18	24,44	21,38	152,35	369,22
80	549,97	832,90	802,68	394,29	312,76	88,14	50,81	23,24	18,42	40,72	115,67	333,27
Rata-rata	612,84	745,66	707,17	491,37	285,37	131,55	81,38	38,61	40,37	77,03	192,19	399,78

TABEL 5.7.5. NILAI STATISTIK DATA PEMBANGKITAN DAN DATA HISTORIS
MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO

HASIL PEMBANGKITAN :

BULAN	Rata-rata	Std Dev	Cor	Reg	Var	Asismt	g tj
	(q)	(s)	(r)			(g)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
JANUARI	613,51	212,68	-0,01	-0,01	0,35	1,08	1,08
PEBRUARI	714,39	240,00	-0,09	-0,10	0,34	1,05	1,06
MARET	719,90	253,08	0,24	0,25	0,35	1,10	1,18
APRIL	471,64	251,23	0,23	0,23	0,53	1,75	1,88
MEI	292,04	251,89	0,22	0,22	0,86	3,23	3,44
JUNI	140,44	122,49	0,23	0,11	0,87	3,28	3,52
JULI	82,27	89,45	0,23	0,17	1,09	4,55	4,88
AGUSTUS	53,81	42,08	0,27	0,13	0,78	2,82	3,10
SEPTEMBER	40,54	55,46	0,26	0,35	1,37	6,67	7,28
OKTOBER	74,24	126,82	0,26	0,60	1,71	10,11	11,04
NOPEMBER	202,39	141,89	0,24	0,27	0,70	2,45	2,64
DESEMBER	384,88	157,68	0,25	0,27	0,41	1,30	1,40

DATA HISTORIS :

BULAN	Rata-rata	Std Dev	Cor	Reg	Var	Asismt	g tj
	(q)	(s)	(r)			(g)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
JANUARI	628,36	227,25	0,01	0,01	0,36	1,13	1,13
PEBRUARI	754,11	249,42	0,48	0,53	0,33	1,03	1,36
MARET	720,62	236,08	0,41	0,39	0,33	1,02	1,25
APRIL	514,14	269,52	0,34	0,39	0,52	1,72	1,99
MEI	297,37	209,77	0,56	0,44	0,71	2,47	3,58
JUNI	141,73	125,57	0,19	0,11	0,89	3,35	3,52
JULI	83,69	84,70	0,54	0,36	1,01	4,07	5,73
AGUSTUS	42,20	44,85	0,34	0,18	1,06	4,39	5,06
SEPTEMBER	41,51	53,60	0,78	0,93	1,29	6,03	12,86
OKTOBER	79,59	111,66	0,54	1,13	1,40	6,97	9,87
NOPEMBER	200,17	160,44	0,59	0,85	0,80	2,92	4,41
DESEMBER	401,83	167,53	0,37	0,39	0,42	1,32	1,57

daripada nilai tengah historis ($q = 628,36$), sedangkan deviasi standar hasil pembangkitan ($s = 212,68$) mempunyai nilai lebih rendah daripada deviasi standar historis ($s = 227,25$). Nilai tengah rata-rata tahunan hasil pembangkitan ($q = 315,84$) mempunyai nilai lebih rendah daripada nilai tengah historis ($q = 325,44$), sedangkan deviasi standar rata-rata tahunan mempunyai nilai lebih tinggi pada hasil pembangkitan ($s = 162,06$) daripada deviasi standar historis ($s = 161,70$). Tes kepercayaan 90% menunjukkan bahwa hasil bangkitan mempunyai parameter statistik sama dengan data historis. Pengecekan dengan Chi-square menunjukkan bahwa hasil bangkitan mempunyai parameter statistik yang tidak berbeda dengan data historis.

Analisis validitas data hasil pembangkitan dengan menggunakan student-t menunjukkan (bulan Januari) $t = 0,33 < t_{cr} = 1,96$ sehingga hipotesis diterima (lihat Lampiran Tabel V.A-1), sedangkan uji F (bulan Januari) didapatkan $F = 1,15 < F_{cr} = 2,08$ dan hipotesis diterima (lihat Tabel V.A.2). Persamaan (3-13) dan (3-14) digunakan untuk menghitung t dan deviasi standar hasil pembangkitan dan data historis. Persamaan (3-15) dipakai untuk menghitung F . Ini menggambarkan bahwa pemakaian model Thomas-Fiering pada data bulanan DPS Bengawan Solo di Bojonegoro mempunyai validitas yang cukup baik. Perhitungan model stokastik Thomas-Fiering untuk Bojonegoro, Kedungombo dan Cirata secara rinci ditunjukkan secara lengkap pada Lampiran II.A., II.B. dan II.C.

5.2.3.3. Model Box-Jenkins

Model Box-Jenkins dilakukan melalui tahap-tahap identifikasi model, estimasi parameter, uji validitas dan peramalan (*forecasting*) seperti pada Gambar 3.2. Untuk mencari autokorelasi lag 1 sampai dengan lag 20 dipakai persamaan (3-20).

TABEL 5.7.6.

ANALISIS VALIDITAS MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO DENGAN UJI -t BULAN JANUARI

No	Parameter	Data		Keterangan
		Historis ¹	Sintetik ²	
1	Jumlah Data (n)	40	60	Ho : $\mu_1 = \mu_2$
2	Nilai Tengah (x)	628,36	613,51	diterima jika:
3	Deviasi Standar (S)	227,25	212,68	$-t_{cr} < t < t_{cr}$
4	Deviasi Standar ⁽¹⁾ dan ⁽²⁾ (σ)	220,85		
5	t	0,33		
6	Derajat Kebebasan	98		
7	α	5%		
8	$t_{cr}(dk, \alpha/2)$	1,96		
9	Uji -t	DITERIMA		

TABEL 5.7.7.

ANALISIS VALIDITAS MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO DENGAN UJI -F BULAN JANUARI

No	Parameter	Data		Keterangan
		Historis ¹	Sintetik ²	
1	Jumlah Data (n)	40	60	Ho : $\mu_1 = \mu_2$
2	Nilai Tengah (x)	628,36	613,51	diterima jika:
3	Deviasi Standar (S)	227,25	212,68	$F < F_{cr}$
4	Deviasi Standar ⁽¹⁾ dan ⁽²⁾ (σ)	220,85		
5	F	1,15		
6	Derajat Kebebasan	39	59	
7	α	5%		
8	$F_{cr}(dk1, dk2, \alpha)$	2,08		
9	Uji -F	DITERIMA		

TABEL 5.7.8. PERHITUNGAN CHI SQUARE DEBIT RATA-RATA BULANAN MODEL THOMAS-FIERING SERI 40-1 BOJONEGORO

NO	BULAN	HISTORIS (Qh)	SINTETIK (Qs)	(Qs-Qh)	(Qs-Qh) ² /Qh
1	JANUARI	613,51	628,36	14,85	0,359
2	PEBRUARI	714,39	754,11	39,72	2,208
3	MARET	719,90	720,62	0,72	0,001
4	APRIL	471,64	514,14	42,50	3,829
5	MEI	292,04	297,37	5,32	0,097
6	JUNI	140,44	141,73	1,29	0,012
7	JULI	82,27	83,69	1,42	0,024
8	AGUSTUS	53,81	42,20	-11,61	2,505
9	SEPTEMBER	40,54	41,51	0,97	0,023
10	OKTOBER	74,24	79,59	5,35	0,386
11	NOPEMBER	202,39	200,17	-2,22	0,024
12	DESEMBER	384,88	401,83	16,94	0,746
JUMLAH					10,215

$$X^2 = \sum (Qs-Qh)^2 / Qh$$

$$X^2 \text{ hitung} = 10,215$$

$$dk = 11$$

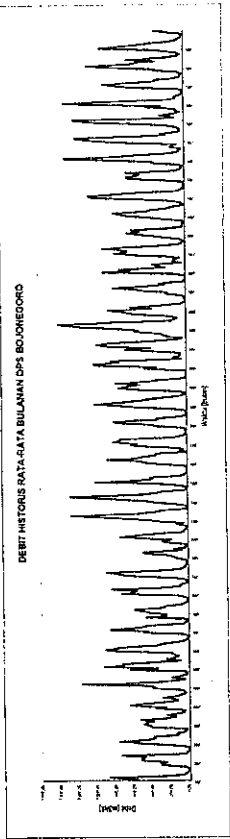
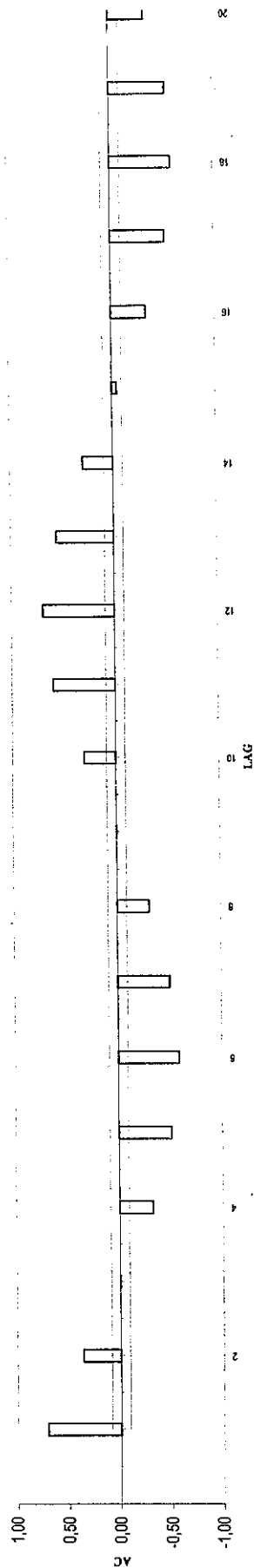
$$X^2 \text{ tabel} = 19,675 (\alpha = 0,05)$$

Jadi : Hipotesis Nol; data Sintetik = Historis

TABEL 5.8.1. PERHITUNGAN AUTOKORELASI MODEL BOX-JENKINS SERI 40-1 BOJONEGORO

	Lag-1	Lag-2	Lag-3	Lag-4	Lag-5	Lag-6	Lag-7	Lag-8	Lag-9	Lag-10	Lag-11	Lag-12	Lag-13	Lag-14	Lag-15	Lag-16	Lag-17	Lag-18	Lag-19	Lag-20
Total	33.476.070	17.185.985	-149.717	-15.293.917	-24.123.182	-27.807.689	-23.840.238	-14.628.972	-225.954	14.447.444	28.374.472	33.052.063	26.435.557	13.998.913	-2.161.954	-15.816.218	-24.916.639	-27.976.714	-25.585.124	-16.200.030
Covarian	89.741,81	35.804,14	-311,91	-31.862,33	-50.256,63	-57.932,68	-49.687,16	-30.477,02	-470,74	30.088,84	59.113,48	68.859,46	55.074,08	28.164,40	-4.504,07	-32.950,45	-51.909,66	-58.284,82	-63.302,34	-33.750,06
Corr (AC)	0,71	0,36	0,00	-0,32	-0,51	-0,59	-0,50	-0,31	0,00	0,30	0,60	0,70	0,55	0,30	-0,05	-0,33	-0,53	-0,59	-0,54	-0,34

AC Correlogram DPS BOJONEGORO
Seri 40-1



Data Statistik	Xt
Mean	337,96
Standard Error	14,35
Standard Deviation	314,39
Sample Variance	98.842
Kurtosis	0,1751
Skewness	0,9580
Range	1.379
Sum	157.418
Count	480
Conf. Level (95%)	28,13

lihat Tabel 5.8.1. Untuk mencari autokorelasi parsial lag 1 sampai dengan lag 20 dipakai matriks. Caranya adalah nilai autokorelasi yang dihasilkan pada Tabel 5.8.2. dipakai sebagai elemen matriks (20x20). Kemudian dari matriks tersebut dibentuk Invers Matriksnya. Misalnya untuk autokorelasi parsial orde 1 adalah invers matriksnya;

$$A_{11} = 1,991 ; A_{12} = -1,405$$

$$A_{21} = -1,405 ; A_{22} = 1,991$$

tersebut dengan nilai autokorelasinya. Hasil perkalian matrik (2x2) dan (2,1) adalah:

$$\left. \begin{array}{l} A_{12} = 0,896 \\ A_{22} = -0,270 \end{array} \right\} \text{ Koefisien autokorelasi parsial orde 2, } A_2 = -0,270$$

Selanjutnya perhitungan autokorelasi parsial orde 3 sampai dengan 20 ditunjukkan seperti pada Tabel 5.8.3.

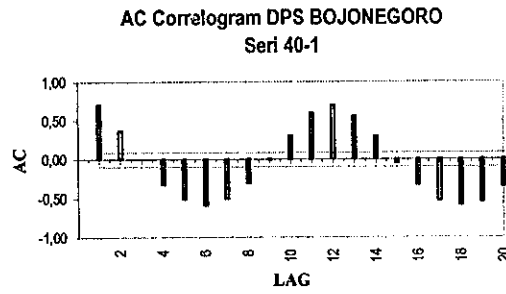
Hasil perhitungan autokorelasi dan autokorelasi parsial tersebut di atas kemudian diplotkan ke dalam grafik Correlogram, yang mana absis sebagai jumlah lag dan ordinat sebagai nilai autokorelasi dan autokorelasi parsial. Correlogram autokorelasi menunjukkan adanya faktor musiman, sedangkan Correlogram autokorelasi parsial menunjukkan adanya nilai besar (*spike*) pada lag 1 dan lag 11-12, sehingga diperlukan pembedaan (*differencing*) pada musiman atau $d = 1$ musiman (yaitu 12 lag). Jadi bulan Januari berkaitan dengan bulan Januari tahun sebelumnya, bulan Pebruari, berkaitan dengan bulan Pebruari tahun sebelumnya dan seterusnya.

Autokorelasi dan autokorelasi parsial dihitung kembali untuk memperoleh parameter model sesudah dilakukan pembedaan musiman. Hasil pembangkitan model Box-Jenkins diperoleh nilai-nilai sebagai berikut: nilai tengah = $329,88 \text{ m}^3/\text{dt}$, kesalahan standar $14,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan indeks determinasi 0,62 (lihat Tabel 5.8.5.A).

TABEL 5.8.4. CORRELOGRAM AUTOKORELASI DAN PARSIAL MODEL BOX-JENKINS SERI 40-1 BOJONEGORO

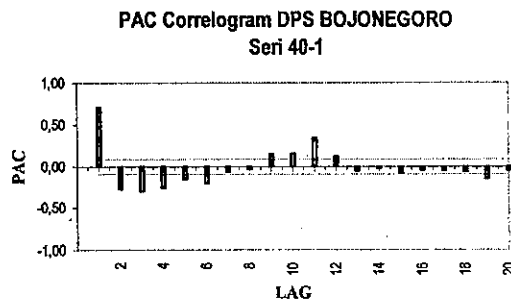
Tabel Autokorelasi DPS BOJONEGORO Seri 40-1

Lag	Batas atas 95%	AC	Batas bawah 95%
1	0,0874	0,7056	-0,0915
2	0,0875	0,3622	-0,0916
3	0,0876	-0,0032	-0,0917
4	0,0876	-0,3224	-0,0918
5	0,0877	-0,5085	-0,0919
6	0,0878	-0,5861	-0,0920
7	0,0879	-0,5025	-0,0921
8	0,0880	-0,3083	-0,0922
9	0,0881	-0,0048	-0,0923
10	0,0882	0,3045	-0,0924
11	0,0883	0,5981	-0,0925
12	0,0884	0,6966	-0,0926
13	0,0885	0,5572	-0,0927
14	0,0886	0,2951	-0,0928
15	0,0886	-0,0456	-0,0929
16	0,0887	-0,3334	-0,0930
17	0,0888	-0,5252	-0,0932
18	0,0889	-0,5897	-0,0933
19	0,0890	-0,5393	-0,0934
20	0,0891	-0,3415	-0,0935



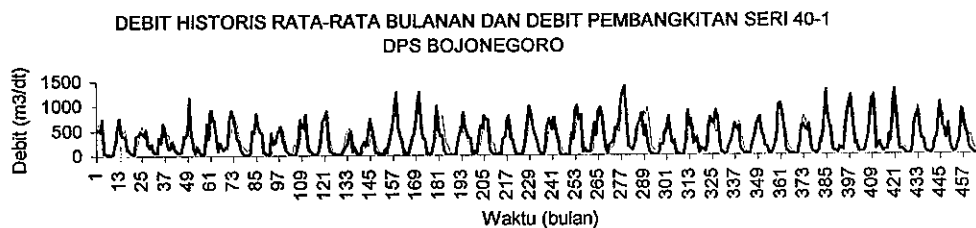
Tabel Parsial Autokorelasi DPS BOJONEGORO Seri 40-1

Lag	Batas atas 95%	PAC	Batas bawah 95%
1	0,0896	0,7056	-0,0896
2	0,0896	-0,2701	-0,0896
3	0,0897	-0,2947	-0,0897
4	0,0898	-0,2580	-0,0898
5	0,0899	-0,1444	-0,0899
6	0,0900	-0,2022	-0,0900
7	0,0901	-0,0616	-0,0901
8	0,0902	-0,0341	-0,0902
9	0,0903	0,1477	-0,0903
10	0,0904	0,1522	-0,0904
11	0,0905	0,3410	-0,0905
12	0,0906	0,1216	-0,0906
13	0,0907	-0,0556	-0,0907
14	0,0908	-0,0214	-0,0908
15	0,0909	-0,0801	-0,0909
16	0,0910	-0,0491	-0,0910
17	0,0911	-0,0470	-0,0911
18	0,0912	-0,0664	-0,0912
19	0,0913	-0,1443	-0,0913
20	0,0914	-0,0441	-0,0914



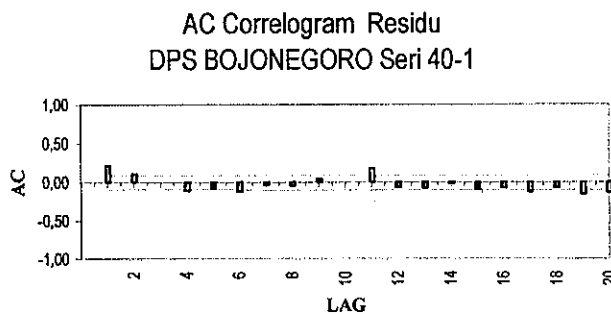
**TABEL 5.8.5.A. NILAI STATISTIK HISTORIS DAN SINTETIK MODEL BOX-JENKINS SERI 40-1 BOJONEGORO
HASIL ANALISIS MODEL BOX-JENKINS SERI 40-1 DPS BOJONEGORO**

Data Statistik			
Mean	329,88	Residual Mean	390,02
Standard Error	14,57	Residual Sum of Squares	17687845
Standard Deviation	315,14	Residual Mean Square	37875,47
Sample Variance	99.314	Residual Standard Error	1,99
Kurtosis	0,172	Sum of Ratio	-1718
Skewness	0,955	Avarage Abs % Error	3,94
Range	1.379	Mean % Error	-368
Sum	154.383	Count of Residual Data	467
Count	468	Index of Determination	0,62
Conf. Level (95%)	28,55	D-W	1,59



TABEL 5.8.5.B. CORRELOGRAM AUTOKORELASI RESIDU MODEL BOX-JENKINS SERI 40-1 BOJONEGORO

Lag	Batas atas 95%	AC	Batas bawah 95%
1	0,0885	0,2057	-0,0927
2	0,0886	0,1030	-0,0928
3	0,0886	0,0027	-0,0929
4	0,0887	-0,1083	-0,0930
5	0,0888	-0,0803	-0,0932
6	0,0889	-0,1225	-0,0933
7	0,0890	-0,0299	-0,0934
8	0,0891	-0,0411	-0,0935
9	0,0892	0,0450	-0,0936
10	0,0893	-0,0007	-0,0937
11	0,0894	0,1809	-0,0938
12	0,0895	-0,0686	-0,0939
13	0,0896	-0,0740	-0,0940
14	0,0897	-0,0124	-0,0941
15	0,0898	-0,0869	-0,0942
16	0,0899	-0,0713	-0,0943
17	0,0900	-0,1242	-0,0944
18	0,0901	-0,0741	-0,0945
19	0,0902	-0,1595	-0,0946
20	0,0903	-0,1337	-0,0947



Indeks determinasi hasil pembangkitan menunjukkan angka yang kecil (*index of determination* = 0,62), sehingga model dianggap mempunyai validitas cukup baik. Uji Durbin-Watson (D-W) menunjukkan angka 1,59 yang mempunyai arti ($n > 100$, $k = 3$, $d_L = 1,61$, $d_U = 1,74$) model Box-Jenkins pada Bojonegoro mempunyai autokorelasi yang signifikan (lihat Lampiran VII Tabel VII-3 dan Tabel VII-4).

Dengan nilai parameter model $A_{11} = 0,7056$ dan $A_{12} = 0,1216$ data sintetik dibangkitkan dengan model Box-Jenkins $(1,0,0)(1,1,0)^{12}$ seperti ditampilkan pada Lampiran Tabel III.A-2. Pada tabel simulasi model Box-Jenkins tersebut dimulai pada $t=14$ dikarenakan adanya bias (*white noise*). Perhitungan model stokastik Box-Jenkins untuk Bojonegoro, Kedungombo dan Cirata secara rinci dan lengkap ditunjukkan Lampiran III.A, III.B dan III.C.

5.3. Kajian Panjang Data Historis yang Representatif

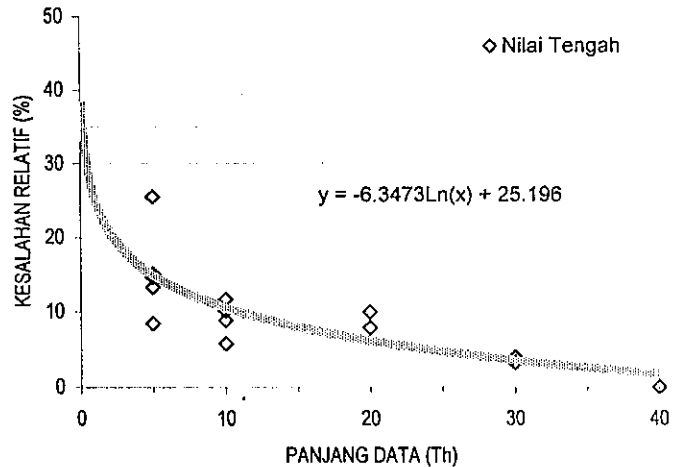
Kesalahan relatif dengan tingkat resiko 5 % digunakan untuk menarik garis plot hubungan antara ke duanya untuk mendapatkan panjang data historis yang representatif. Untuk mendapatkan panjang data aliran historis minimum yang representatif pada model stokastik dilakukan proyeksi dari kesalahan relatif dengan nilai 5 % ke absis data historis. Penggambaran hubungan antara panjang data historis dan kesalahan relatif langsung (untuk nilai tengah dan deviasi standar) ditunjukkan pada Gambar di Tabel 5.8.6 dan Tabel 5.8.7 untuk Bojonegoro; Gambar di Tabel 5.8.8 dan Tabel 5.8.9 untuk Kedungombo; serta Gambar di Tabel 5.8.10 dan Tabel 5.8.11 untuk Cirata.

Untuk memperoleh persamaan regresi hubungan antara panjang data sebagai absis dan kesalahan relatif sebagai ordinat, digunakan analisis korelasi-regresi Logaritmik dengan persamaan umum: $y = k (x-a)^b$. Menurut program paket Excel 2000 untuk mendapatkan persamaan regresi tersebut dipakai perintah *Trendline* -

TABEL 5.8.6. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF NILAI TENGAH MODEL MARKOV BOJONEGORO

SERI	PANJANG DATA	NILAI TENGAH	Δ
5-1	5	262,46	15,127
5-2	5	299,84	3,040
5-3	5	268,08	13,310
5-4	5	316,32	2,288
5-5	5	387,97	25,457
5-6	5	307,56	0,544
5-7	5	354,63	14,678
5-8	5	335,31	8,431
10-1	10	277,99	10,106
10-2	10	291,32	5,797
10-3	10	336,62	8,852
10-4	10	345,29	11,657
20-1	20	284,84	7,891
20-2	20	340,03	9,955
30-1	30	299,03	3,303
30-2	30	321,69	4,025
40-1	40	309,24	0,000

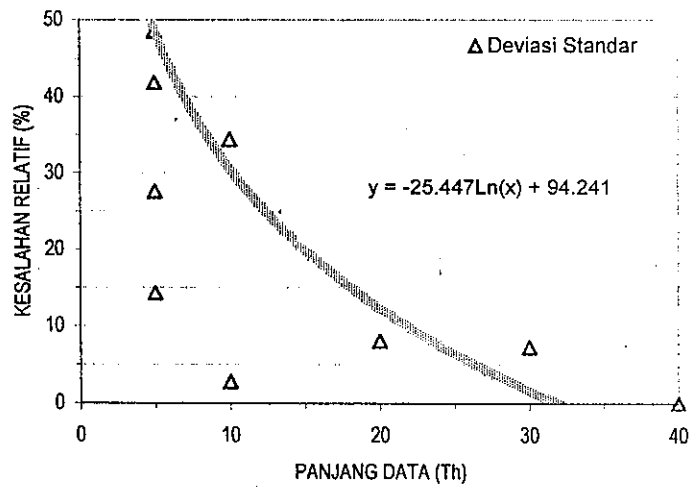
HUBUNGAN KESALAHAN RELATIF NILAI TENGAH DAN PANJANG DATA



TABEL 5.8.7. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF DEVIASI STANDAR MODEL MARKOV BOJONEGORO

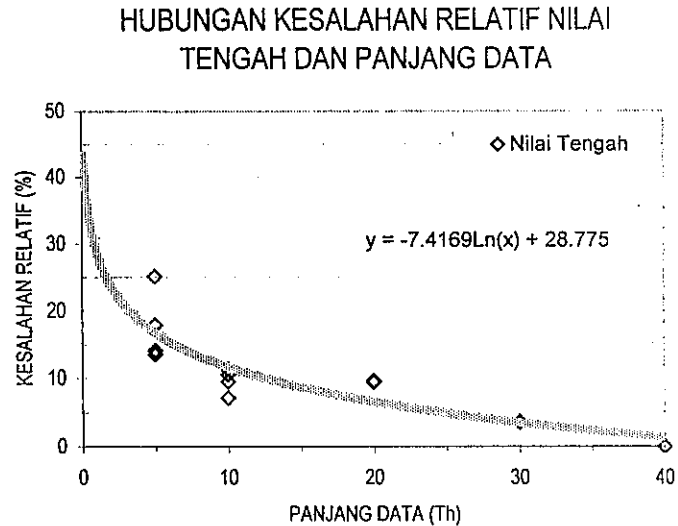
SERI	PANJANG DATA	DEVIASI STANDAR	Δ
5-1	5	31,81	64,995
5-2	5	77,91	14,266
5-3	5	99,70	9,717
5-4	5	95,96	5,602
5-5	5	193,38	112,801
5-6	5	65,79	27,604
5-7	5	46,69	48,624
5-8	5	52,83	41,862
10-1	10	59,62	34,391
10-2	10	93,42	2,801
10-3	10	133,92	47,370
10-4	10	49,68	45,330
20-1	20	76,95	15,320
20-2	20	98,22	8,090
30-1	30	100,43	10,516
30-2	30	97,47	7,255
40-1	40	90,87	0,000

HUBUNGAN KESALAHAN RELATIF DEVIASI STANDAR DAN PANJANG DATA



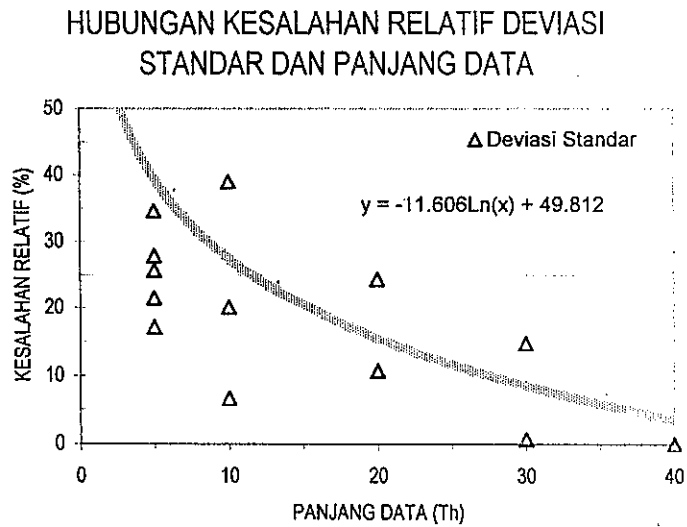
TABEL 5.8.8. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF NILAI TENGAH MODEL THOMAS-FIERING BOJONEGORO

SERI	PANJANG DATA	NILAI TENGAH	Δ
5-1	5	259,99	17,970
5-2	5	303,14	4,354
5-3	5	273,99	13,552
5-4	5	316,78	0,051
5-5	5	396,48	25,094
5-6	5	307,12	3,100
5-7	5	361,88	14,178
5-8	5	334,01	5,386
10-1	10	280,81	11,399
10-2	10	294,40	7,112
10-3	10	350,43	10,567
10-4	10	347,11	9,518
20-1	20	286,96	9,461
20-2	20	347,44	9,623
30-1	30	305,31	3,671
30-2	30	328,40	3,616
40-1	40	316,94	0,000



TABEL 5.8.9. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF DEVIASI STANDAR MODEL THOMAS-FIERING BOJONEGORO

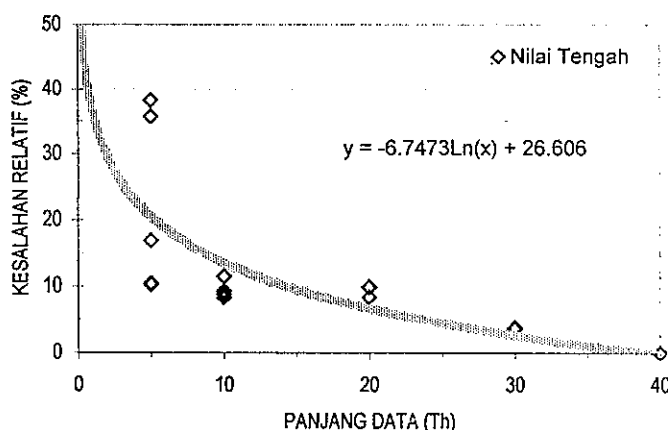
SERI	PANJANG DATA	DEVIASI STANDAR	Δ
5-1	5	47,01	34,578
5-2	5	51,83	27,872
5-3	5	87,29	21,473
5-4	5	71,95	0,135
5-5	5	147,25	104,915
5-6	5	53,42	25,664
5-7	5	59,50	17,190
5-8	5	71,91	0,079
10-1	10	43,86	38,962
10-2	10	76,63	6,645
10-3	10	108,49	50,982
10-4	10	57,43	20,082
20-1	20	54,35	24,365
20-2	20	79,53	10,674
30-1	30	72,38	0,728
30-2	30	82,51	14,829
40-1	40	71,86	0,000



TABEL 5.8.10. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF NILAI TENGAH MODEL BOX-JENKINS BOJONEGORO

SERI	PANJANG DATA	NILAI TENGAH	Δ
5-1	5	203,54	38,300
5-2	5	309,34	6,227
5-3	5	274,20	16,880
5-4	5	295,79	10,335
5-5	5	447,88	35,770
5-6	5	308,44	6,497
5-7	5	364,34	10,447
5-8	5	342,33	3,773
10-1	10	291,90	11,514
10-2	10	300,55	8,890
10-3	10	360,73	9,354
10-4	10	357,36	8,331
20-1	20	297,11	9,935
20-2	20	357,64	8,417
30-1	30	318,07	3,580
30-2	30	342,45	3,812
40-1	40	329,88	0,000

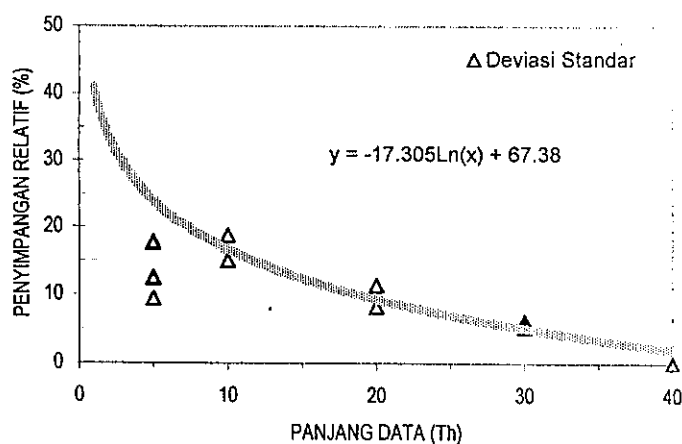
HUBUNGAN KESALAHAN RELATIF NILAI TENGAH DAN PANJANG DATA



TABEL 5.8.11. HASIL ANALISIS KESALAHAN RELATIF DEVIASI STANDAR MODEL BOX-JENKINS BOJONEGORO

SERI	PANJANG DATA	DEVIASI STANDAR	Δ
5-1	5	83,46	73,517
5-2	5	275,56	12,559
5-3	5	301,78	4,239
5-4	5	289,38	8,173
5-5	5	371,16	17,774
5-6	5	276,25	12,341
5-7	5	370,56	17,585
5-8	5	344,75	9,394
10-1	10	256,21	18,701
10-2	10	308,23	2,194
10-3	10	328,93	4,376
10-4	10	362,34	14,978
20-1	20	279,30	11,373
20-2	20	341,12	8,242
30-1	30	295,81	6,134
30-2	30	331,50	5,191
40-1	40	315,14	0,000

HUBUNGAN KESALAHAN RELATIF DEVIASI STANDAR DAN PANJANG DATA



Type – Logaritmik dengan persamaan $y = a \ln(x) + b$. Untuk mengetahui nilai koefisien regresi dan persamaan regresi dipakai perintah *Display R square* dan *Display Equation* pada *Option*. Pada model Markov (Tabel 5.8.6) untuk panjang data – kesalahan relatif langsung (untuk nilai tengah) diperoleh persamaan $y = - 6,3473 \ln(x) + 25,196$ dengan $R^2 = 0,60$ dan untuk panjang data – kesalahan relatif langsung (untuk deviasi standar) diperoleh persamaan $y = - 25,447 \ln(x) + 94,241$ dengan $R^2 = 0,46$. Angka 0,60 dan 0,46 ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan ke dua variabel panjang data dan kesalahan relatif langsung tersebut tidak terlalu kuat (yang baik sekitar 0,70), hal itu disebabkan pada seri-seri 5 tahunan mempunyai variasi yang besar.

Rekapitulasi hasil analisis model Markov, Thomas-Fiering dan Box-Jenkins berkaitan dengan parameter statistik, kesalahan relatif dan panjang data yang representatif ditampilkan pada Tabel 5.8.12. di bawah ini.

TABEL. 5.8.12. REKAPITULASI HASIL ANALISIS MODEL MARKOV, THOMAS-FIERING DAN BOX-JENKINS

NO.	DAERAH PENGALIRAN SUNGAI (DPS)	LOKASI/ STASIUN HIDRO-METRI	DATA HISTORIS TAHUNAN			PEMBANGKITAN TAHUNAN		KESALAHAN RELATIF 5%			PANJANG DATA YANG REPRESENTATIF (Tahun)
			PANJANG DATA (Tahun)	NILAI TENGAH	DEVIASI STAN -DAR	NILAI TENGAH	DEVIASI STANDAR	PNJ. DATA MARKOV (Tahun)	PNJ. DATA THOMAS -FIERING (Tahun)	PNJ. DATA BOX-JENKINS (Tahun)	
1	Bengawan Solo	Bojonegoro	40	325,44	86,63	330,92	89,97	24 - 26	25 - 36	24 - 30	27,3
2	Serang	Kedungombo	47	24,35	6,24	24,91	6,96	27 - 29	27 - 40	24 - 31	29,3
3	Citarum	Cirata	73	74,10	20,83	74,90	23,18	34 - 41	35 - 41	25 - 39	35,3
Panjang Data yang Representatif											30

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil penelitian yang dilakukan pada daerah pengaliran sungai Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro, DPS Citarum di stasiun hidrometri Cirata, dan DPS Serang di stasiun hidrometri Kedungombo dengan pembatasan dan asumsi seperti yang diuraikan pada bab terdahulu, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Panjang data aliran historis dengan seri 5, seri 10, seri 20, seri 30, seri 40, seri 50, seri 57, seri 60, seri 70 dan seri 73 sesudah dibangkitkan dengan model Markov (untuk data tahunan), Thomas-Fiering dan Box-Jenkins (untuk data bulanan) menghasilkan data sintetik yang mempunyai nilai statistik (nilai tengah, deviasi standar, variasi, *skewness*, kurtosis, dan lainnya) yang berlainan.
2. Pada data aliran historis seri dan DPS yang sama sesudah dibangkitkan dengan 3 model stokastik tersebut, menghasilkan nilai statistik yang mirip atau mendekati satu dengan lainnya.
3. Ditemukan kesalahan relatif langsung yang tidak mendekati satu dengan lainnya pada seri tahun yang sama (misalnya seri 5-1, 5-2, ..., 5-8) terutama kesalahan relatif deviasi standar. Diduga hal ini disebabkan adanya variasi data yang lebar pada seri tahun yang kecil.
4. Hasil pemplotan pada grafik hubungan antara panjang data aliran historis dan nilai kesalahan relatif parameter-parameter statistik menunjukkan

- bahwa semakin panjang data aliran historis, maka semakin kecil tingkat kesalahan terhadap nilai historis populasinya.
5. Besaran atau nilai panjang data aliran historis yang representatif pada DPS Bengawan Solo di Bojonegoro mempunyai rentang sekitar 24 - 26 tahun (model Markov), 24 - 36 tahun (model Thomas-Fiering), 24 - 30 tahun (model Box-Jenkins). Pada DPS Serang di Kedungombo mempunyai rentang sekitar 27 - 29 tahun (model Markov), 27 - 40 tahun (model Thomas-Fiering), 24 - 31 tahun (model Box-Jenkins). Sedangkan pada DPS Citarum di Cirata mempunyai rentang sekitar 34 - 41 tahun (model Markov), 35 - 41 tahun (model Thomas-Fiering), 25 - 30 tahun (model Box-Jenkins). Dari nomer (4), panjang data historis minimum yang representatif bisa diambil masing-masing nilai tengahnya, yaitu Bojonegoro sekitar 24 tahun, Kedungombo sekitar 27 tahun dan Cirata sekitar 35 tahun.
 6. Pengaruh kesalahan relatif pada nilai panjang data historis minimum yang representatif kemungkinan disebabkan oleh jumlah panjang data aliran historis yang dipakai untuk pembangkitan. Hal ini ditunjukkan dengan DPS Bengawan Solo di stasiun hidrometri Bojonegoro yang mempunyai data 40 tahun menghasilkan data historis minimum rata-rata 27 tahun, DPS Serang di stasiun hidrometri Kedungombo (47 tahun) menghasilkan data historis minimum rata-rata 29 tahun, dan DPS Citarum di stasiun hidrometri Cirata (73 tahun) menghasilkan data historis minimum rata-rata 35 tahun.
 7. Hasil analisis dari penelitian ini ditemukan panjang data historis minimum yang representatif yang terjadi adalah 24 tahun dengan kriteria luas DPS lebih besar dari 250 km² dengan panjang data aliran historis sebesar 40

tahun sebagai data untuk pembangkitan, sedangkan panjang data historis rata-rata representatif yang terjadi adalah 30 tahun.

8. Direkomendasikan data historis yang representatif untuk pembangkitan model stokastik harus sama atau lebih dari 30 tahun.

8.2. Saran

Berkaitan dengan kesimpulan yang menunjukkan beberapa ketidak-signifikanan hasil analisis, maka disarankan hal-hal sebagai berikut untuk dipertimbangkan:

1. Menelaah lebih lanjut kondisi dan karakteristik daerah pengaliran sungai yang diteliti guna menentukan parameter-parameter kestabilan daerah pengaliran sungai tersebut.
2. Memperbanyak lokasi studi penelitian secara acak proposional pada daerah pengaliran sungai yang mempunyai luas antara 100 km^2 sampai 250 km^2 dan DPS dengan luas lebih dari 250 km^2 guna mendapatkan hasil yang lebih signifikan.
3. Meneliti lebih lanjut hubungan antara panjang data aliran historis minimum yang representatif dengan luas daerah pengaliran sungai dan ketersediaan datanya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 1994, *Supporting Report on Hydrology*, Lower Solo River Improvement Project, Nippon Koei Co, Ltd, Solo.
2. Anonim, 2000, *Laporan Hasil Pemantauan Data Klimatologi dan Debit Sungai di Sub SWS Serang Lusi Juwana*, PPSKSA Jratunseluna, Semarang.
3. Anonim, 2000, *Penelitian Water Management dengan Program Stokastik Markov*, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
4. Arianto, B., 1988, *Pengaruh Panjang Data terhadap Besar Penyimpangan Relatif Hujan Rancangan*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
5. Box, E.G.P dan G.M.Jenkins, 1982, *Time Series Analisis Forecasting and Control*, Holdel – Day, San Fransisco.
6. Chow, V.T., 1971, *Stochastic Hydrologic Systems, System Approach to Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins.
7. Chow, V.T., 1988, *Applied Hydrology*, Mc. Graw Hill International, USA.
8. Clarke, R.T., 1973, *Mathematical Models in Hydrology*, FAO, Roma.
9. Cryer, J.D., 1990, *Time-Series Analysis*, Duxbury Press, Boston, USA.
10. Dixon, W.J. dan Massey F.J., 1983, *Introduction to Statistical Analysis*, Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc, USA.
11. Eko Wahyuni, S., 1990, *Analisa Stokastik Hujan dan Model Simulasi Hidrologi untuk Pembangkit Data Debit Bulanan*, Tesis Magister Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
12. Eko Wahyuni, S., 1998, *Pembangkitan Data dengan Model Stokastik AR*, Makalah Seminar Kelompok Sipil Hidro Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
13. Eko Wahyuni, S., 2001, *Model Stokastik*, Diktat Kuliah Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
14. Fransiska, M. dkk., 1998, *Penyaringan Data Hujan Harian Maksimum Tahunan terhadap Panjang Data dan Deviasi Standar di Jawa Barat*, PIT XV HATHI, Bandung, 314-323.
15. Haan, C.T., 1982, *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University

16. Hoff, J.C., 1987, *A practical Guide to Box-Jenkins Forecasting*, Lifetime Learning Publication Belmont, California.
17. Iskahar, 2002, *Analisis Pengaruh Panjang Data Terhadap Keandalan Waduk*, Tesis Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
18. Ken Stroud, 1987, *Engineering Mathematics*, 3 rd Edition, The Macmillan Press Ltd., Lanchester.
19. Kite, G.W., 1977, *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins.
20. Kottegoda, N.T., 1980, *Stochastic Water Resources Technology*, The Macmillan Press Ltd., London.
21. Koutsoyiannis, D., 1994, *A Stochastic Disaggregation Method for Design Storm and Flood Synthesis*, Journal of Hydrology, 156: 193-225.
22. Linsley, Kohler dan Paulhus, 1982, *Hydrology for Engineer*, McGraw-Hill, USA.
23. MacNeill, I.B., 1982, *Detection of Interventions at Unknown Times, Time Series Methods in Hydrosiences*, Elsevier, Amsterdam, h.16-26. Madras, Jalandhar.
24. Makridakis, S., Wheelwright, S.C. dan McGee, V.E., 1998, *Forecasting: Methods and Application*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA.
25. Mediana, 1988, *Hidrologi Stokastik untuk Memperpanjang Data Aliran Kali Serang*, Tesis Program Studi Teknik Sipil Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Fakultas Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
26. Meyn, S.P., dan R.L. Tweedie, 1993, *Markov Chain and Stochastic Stability*, Springer-Verlag, Great Britain.
27. Morel, H.J., 1978, *Engineering Hydrology*, Colorado State University Colorado.
28. Nemec, J., 1973, *Engineering Hydrology*, Tata, McGraw Hill, New Delhi.
29. Papoulis, A., 1991, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, Third Edition, McGraw-Hill, Inc, USA. Press, Ames, Iowa.
30. Radianto, N., 1987, *Pengaruh Jumlah Penambahan Data pada Analisis Partial Series*, Makalah Seminar Tinjauan Hidrologi dan Hidrolika Banjir, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
31. Raudkivi, A.J., 1979, *Hydrology, an Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling*, Pergamon Press, Sidney.
32. Reddy, P.J., 1987, *Stochastic Hydrology*, Laxmi Publication, New Delhi,

33. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. dan Lane, W.L., 1980, *Applied Modelling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publication, Littleton.
34. Schulz, E.F., 1980, *Problems in Applied Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.
35. Seyhan, E., 1993, *Dasar-dasar Hidrologi*, terjemahan Sentot S, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
36. Shahin, M., 1986, *Statistical Analysis in Hydrology*, IHE, Delf.
37. Singh, V.P., 1989, *Hydrological System-Watershed Modeling*, Vol.II, Prentice Hall, Inc, New Jersey.
38. Soemarto, C.D., 1987, *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya.
39. Soewarno, 1994, *Model Regresi Debit Puncak Banjir Periode Ulang di Pulau Jawa*, Jurnal Informasi Teknik No.14.
40. Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Jilid I dan Jilid II, Penerbit Nova, Bandung.
41. Solomon, S.I., 1972, *Casebook on Hydrological Network Design Practice*, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva.
42. Sosrodarsono, S., dan Takeda, 1985, *Hidrologi untuk Pengairan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
43. Sri Harto, B.R., 1981, *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*, Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
44. Sri Harto, B.R., 1986, *Analisis Hidrologi*, PAU Ilmu Teknik, Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
45. Sri Harto, B.R., 1988, *Identifikasi Sumber Kesalahan dalam Analisis Data Hujan*, Makalah Pertemuan Ilmiah Tahunan V, Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI).
46. Sri Harto, B.R., 1991, *Pengaruh Jumlah Kasus Banjir dan Penyimpangan Hitungan pada Analisis Frekuensi di DAS Progo dan DAS Cimanuk*, Jurnal Teknik Hidraulik No.6/VI, HATHI, Bandung, 52-59.
47. Sri Harto, B.R., 1992, *Pendekatan Besaran Debit Rancangan Sungai terhadap Luas DPS di Pulau Jawa*, Jurnal Teknik Hidraulik No.8/VII, HATHI, Bandung, 27-38.
48. Sri Harto, B.R., dan Sudjarwadi, 1989, *Model Hidrologi*, PAU Ilmu Teknik, Universitas Gajahmada, Yogyakarta.

49. Subarkah, I., 1980, *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharma, Bandung.
50. Sugiyanto, 2000, *Hydrology Modeling*, Diktat Kuliah Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
51. Sujono, J., 1999, *Pengaruh Pola Distribusi Hujan terhadap Hidrograf Satuan di DPS Cimanuk*, Media Teknik No. 3 Tahun XXI, 19-23.
52. Supranto, J., 1996, *Teori dan Aplikasi Statistik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
53. Tao, P.C., and Delleur, J.W., 1976, *Seasonal and Non Seasonal ARMA Models in Hydrology*, Journal of the Hydraulic Division, October, h.1541-1559.
54. Triatmodjo, B., 1991, *Model Deret Berkala untuk Turunan Data Sungai Serang*, Jurnal Teknik Hidraulik No.6/VI, HATHI, Bandung, 12-19.
55. Varshney, R.S., 1974, *Engineering Hydrology*, New Chand and Bros, New Delhi.
56. Wanny, A. dan Lanny, M., 1998, *Pengaruh Perubahan Lahan Terhadap Karakteristik Variabel Hidrologi di DPS Citanduy*, PIT XV HATHI, Bandung, 190-199.
57. Wanny, A., 1991, *Sebaran Peluang yang Tepat untuk Banjir*, JLP. No.18, Th.5.
58. Warsini, S.D., 1987, *Pembakuan Ramalan Banjir*, Makalah Seminar Tinjauan Hidrologi dan Hidrolika Banjir, PAU Ilmu Teknik, Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
59. Whey, P., 1997, *Probability, Random Variables & Random Processes*, McGraw-Hill, Companies, Inc.
60. Wood, E.F. and O'Connell P.E., 1985, *Real-time Forecasting, Hydrological Forecasting*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
61. Xu, Z.X., Schumann dan Brass, 2001, *Markov Autocorrelation for two Sites Daily Streamflow*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.6, No.3, h.189-196.
62. Yevjevic, V., 1982, *Probability and Statistic in Hydrology*, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA.
63. Yevjevic, V., 1982, *Stochastic Procceses in Hydrology*, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA.