

**Nomor : 664/S2-TL/TML/2013**

**PENGEMBANGAN POLA PENGUSAHAAN WADUK  
KETIDAKPASTIAN MASA DEPAN  
IHWAL WADUK EKAGUNA KARIAN  
ZONA TIPE HUJAN MUNSOON**

**TESIS**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister dari  
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh**

**IRA MULYAWATI**

**NIM : 25311037**

**(Program Studi Teknik Lingkungan)**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**

**2013**

## ABSTRAK

# PENGEMBANGAN POLA PENGUSAHAAN WADUK KETIDAKPASTIAN MASA DEPAN IHWAL WADUK EKAGUNA KARIAN ZONA TIPE HUJAN MUNSOON

Oleh

**Ira Mulyawati**

**NIM : 25311037**

**(Program Studi Teknik Lingkungan)**

Kebijakan strategis sumber air baku untuk memenuhi laju kebutuhan air Regional Provinsi Banten (Jakarta, Banten dan Bogor) salah satunya akan dipasok dari Waduk Ekaguna Karian di sungai Ciberang sub-DAS Ciujung. Untuk itu perlu dilakukan pengelolaan agar Waduk Karian dapat memenuhi laju permintaan air minum sebesar  $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sebelum dilakukan pengelolaan harus diketahui terlebih dahulu keandalan sungai Ciberang dan desain volume Waduk Karian agar pengelolaan optimal dapat tercapai. Keandalan debit bulanan sungai Ciberang periode ulang 20 tahun sebesar  $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , debit ini dapat memenuhi kebutuhan air di *downstream*. Desain waduk efektif diperoleh dari perhitungan metode Ripple dan Weibull dengan debit input merupakan debit bulanan normal diperoleh sebesar 220 juta  $\text{m}^3$ , sedangkan volume total Waduk diperoleh menggunakan metode Ripple dengan debit input basah 5 tahun diperoleh 315 juta  $\text{m}^3$ . Pengelolaan Waduk Karian dibagi menjadi 2 : (1) Pengelolaan deterministik, dari hasil simulasi pengelolaan deterministik masih banyak air yang terbuang ke *spillway* sehingga perlu dilakukan pengelolaan optimal, (2) Pengelolaan optimal, pengelolaan dengan debit prakiraan masa depan menggunakan tiga model yaitu Arima, Kontinu, Markov. Model Kontinu memiliki koefisien korelasi dengan debit historis  $R=0,909$  sehingga dipilih untuk pengelolaan optimal. Pengelolaan optimal model Hybrid Kontinu dengan debit prakiraan kontinu, pedoman lintasan 5 tahun kontinu dan penentuan tahun kering, basah dan normal menggunakan Diskrit Markov memiliki koefisien korelasi dengan lintasan aktual sebesar  $R=0,936$ . Semakin besar nilai korelasinya maka model semakin mendekati kondisi nyata sehingga pengelolaan yang dilakukan dapat memenuhi kebutuhan air dan meminimalisir air yang terbuang melalui *spillway* dengan kata lain pengelolaan optimal dapat tercapai.

**Kata kunci:** Model Hybrid Kontinu, Hybrid Diskrit Markov, Waduk Karian.

## **ABSTRACT**

**DEVELOPMENT PATTERN OF RESERVOIR OPERATION  
MANAGEMENT OF FUTURE UNCERTAINTY  
CASE : KARIAN SINGLE PURPOSE RESERVOIR MUNSOON  
ZONE - RAIN**

By

**Ira Mulyawati**

**SN : 25311037**

**(Department of Environmental Engineering)**

*Strategic policy of the raw water source to supply water needs Regional of Banten Province (Jakarta, Banten and Bogor) one of which will be supplied from Single Purpose Karian reservoir in Ciberang river Ciujung sub-basin. It is necessary for optimal management of Karian reservoir in Ciberang order to meet the drinking water demand of 14.6 m<sup>3</sup>/s. Prior to the optimal management should be known reliability of Ciberang river, and design of Karian reservoir volume. Reliability Ciberang river with applied Karian reservoir scenario has an average monthly discharge with a return period of 20 years at 14.6 m<sup>3</sup>/s, so as to meet the water needs downstream. Karian reservoir design effective volume obtained from the monthly discharge return period of 2 years using Ripple and Weibull method of 220 million m<sup>3</sup>, while the total reservoir volume of 315 million m<sup>3</sup>, obtained from the calculation of the monthly discharge return period of 20 years using Ripple method. Karian reservoir management is divided into two: (1) Management of deterministic, deterministic management of simulation results is still a lot of water is wasted to the spillway so it is necessary to optimal management, (2) optimal management, optimal management of the conduct discharge future forecasts using three models of Arima, Continuous, Markov. Of the three models, the model was selected in managing Continuous Karian reservoir because it has a correlation coefficient of 0.909 with historical discharge. Optimal management Hybrid Continuous uses forecasts of Continuous discharge input with 5-year trajectory guidance elected to the most optimal reservoir management model because it has a correlation coefficient of 0.936 with the actual trajectory.*

**Keywords :** *Hybrid Continuous Models, hybrid Discrete-Markov Models, Karian reservoir.*

**PENGEMBANGAN POLA PENGUSAHAAN WADUK  
KETIDAKPASTIAN MASA DEPAN  
IH WAL WADUK EKAGUNA KARIAN  
ZONA TIPE HUJAN MUNSOON**

Oleh

**Ira Mulyawati**

**NIM : 25311037**

**(Program Studi Teknik Lingkungan)**

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Tanggal .....

Pembimbing

---

(Prof.Dr.Ir. Arwin Sabar, M.Sc)

## **PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS**

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

## LEMBAR PERNYATAAN

Riset dengan judul “Pengembangan Pola Pengusahaan Waduk Ketidakpastian Masa Depan Ihwal Waduk Ekaguna Karian Zona Tipe Hujan Munsoon” dilakukan dalam rangka serangkaian penelitian sub *Water Resources-Management & Conservation* KK-TPL yang dikembangkan oleh Prof.Dr.Ir. Arwin Sabar, MS.

*Dipersembahkan kepada kedua orang tua,  
Adang Koswanda S.Pd dan Lela Herawaty Ningsih.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa karena atas karunia dan rahmat-Nya pengerjaan Tesis ini telah berjalan dengan baik. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan studi S2 bagi mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Bandung.

Laporan ini ditujukan kepada semua pihak di Program Studi Teknik Lingkungan ITB, pihak terkait selama pengerjaan Tesis dan bagi pembaca yang berniat untuk memperluas pengetahuannya. Selama pelaksanaan Tesis, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu selama penyusunan Tesis.

1. Kedua orang tua yang telah membesarkan dengan penuh kasih sayang dan doa yang tiada hentinya Adang Koswanda S.Pd dan Lela Herawati Ningsih serta dukungan penuh dari adik saya tercinta Nanda Kurniawan.
2. Prof.Dr.Ir.Arwin Sabar, MS, yang dengan Arwin selalu meluangkan waktunya untuk membimbing penulis menyelesaikan penelitian dan laporan ini.
3. Dr. Benno Rahardyan, S.T., M.T. selaku Koordinator Tesis.
4. Dr. Ir. Dwina Roosmini, M.S. selaku ketua jurusan beserta seluruh staf dosen pengajar di Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan di ITB.
5. Seluruh Staf Tata Usaha Teknik Lingkungan ITB. Ibu Mimin, Pak yayan, Pak Asep dan Ibu Sri yang luar biasa Arwin dan mampu mendukung seluruh kegiatan perkuliahan penulis selama 2 tahun ini.
6. Teman-teman mahasiswa S2 Teknik Lingkungan ITB atas bantuan dan dukungan yang luar biasa selama dua tahun ini.



7. Teman-teman Mar'atul Jannah, Ida, Ririn, Siti, Tini, Tia, Widi, Veli, Firda, Arin yang senantiasa membantu penulis selama 2 tahun ini.
8. Harji Wiga Asmoko yang menjadi teman diskusi dan memberi dukungan selama dua tahun ini
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis sehingga Tesis ini bisa terlaksana dengan baik dan lancar, serta laporan Tesis ini bisa terselesaikan dengan baik.

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandung, Agustus 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<i>ABSTRACT</i> .....	ii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b> xviii
Bab I    Pendahuluan .....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Perumusan Masalah .....	4
I.3    Hipotesa Penelitian .....	4
I.4    Maksud dan Tujuan .....	5
I.5    Ruang Lingkup Penelitian .....	5
I.6    Sistematika Penulisan .....	6
Bab II    Tinjauan Pustaka .....	8
II.1    Umum .....	8
II.2    Siklus Hidrologi .....	9
II.3    Daerah Aliran Sungai .....	10
II.4    Hujan (Presipitation) .....	13
II.4.1    Tipe Hujan .....	14
II.4.2    Variasi Hujan .....	17
II.4.3    Limpasan .....	18
II.4.4    Hujan (P) dan Debit (Q) .....	18

II.5	Hujan Rencana dan Intensitasnya.....	20
II.6	Pengolahan Data Hujan .....	21
II.6.1	Melengkapi Data Hujan.....	21
II.6.2	Koreksi Penanggalan .....	22
II.6.3	Analisis Frekuensi .....	22
II.6.4	Pengujian Seri Data .....	23
II.6.5	Probabilitas Distribusi .....	25
II.6.6	Uji Distribusi Probabilitas .....	29
II.6.7	Intensitas Hujan Maksimum.....	31
II.6.8	Hujan Wilayah.....	36
II.7	Penelusuran Debit Rencana Banjir .....	40
II.7.1	Metode Rasional .....	40
II.8	Konsep Keandalan Alokasi Air Baku Sistem Penyediaan Air Minum .	41
II.9	Pedoman Alokasi Sumber Air Untuk Sektor DMI & Irigasi.....	43
II.10	Debit Andalan, Debit Rencana dan Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah .....	44
II.10.1	Debit Andalan Metode Statistik Historik .....	44
II.10.2	Debit Rencana Metode Statistik Teoritik .....	44
II.10.3	Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah Metode Diskrit Markov	45
II.11	Analisis Aliran Rendah untuk <i>Maintenance</i> Sungai .....	45
II.12	Model Prakiraan Ketidakpastian Debit Masa Depan .....	46
II.12.1	Model Kontinu Ketertautan Spasial Curah Hujan - Debit.....	46
II.12.2	Model Diskrit Chain-Markov .....	50
II.12.3	Model Arima .....	52
II.13	Waduk.....	53
II.13.1	Definisi Waduk.....	53

II.13.2	Klasifikasi <i>Reservoir</i> .....	54
II.13.3	Perhitungan Kapasitas Waduk.....	55
II.13.4	Sistem Pengoperasian Waduk .....	56
Bab III	Lokasi Penelitian .....	60
III.1	Keadaan Umum Wilayah Penelitian.....	60
III.2	Lokasi Studi.....	60
III.2.1	Geografi .....	60
III.2.2	Meteorologi .....	61
III.2.3	Topografi dan Geologi.....	63
III.2.4	Tata Guna Lahan .....	64
III.2.5	Tata Ruang Kabupaten Lebak .....	64
III.3	Gambaran Umum Waduk Karian .....	67
III.3.1	Manfaat.....	70
III.3.2	Data Teknis Waduk Karian .....	71
III.4	Data Hidrologi yang Digunakan.....	78
III.5	Kondisi Eksisting Sistem Penyediaan Air Minum .....	80
III.5.1	Eksisting Penyediaan Air Minum DKI Jakarta .....	80
III.5.2	Eksisting Penyediaan Air Minum Banten .....	81
III.5.3	Kebutuhan Air Minum Regional Provinsi Banten .....	85
Bab IV	Metodologi .....	86
IV.1	Umum .....	86
IV.2	Desain Penelitian .....	87
IV.3	Diagram Alir Penelitian.....	87
IV.4	Pengolahan Data Hujan .....	88
IV.4.1	Perhitungan Hujan Wilayah.....	88
IV.4.2	Perhitungan Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi .....	89

IV.5	Penentuan Debit Andalan, Debit Rencana, Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah .....	89
IV.6	Perhitungan Ulang Kapasitas Tampungan, Kemungkinan Debit Banjir dan Aliran Rendah Untuk Pemeliharaan Sungai .....	90
IV.6.1	Perhitungan Ulang Kapasitas Tampungan Waduk .....	90
IV.6.2	Perhitungan Ulang Debit Banjir untuk Dimensi <i>Spillway</i> .....	91
IV.6.3	Perhitungan Ulang Debit Aliran Rendah Harian Menggunakan Analisa Statistik Teoritik .....	91
IV.7	Model Prakiraan Debit Masa Depan .....	92
IV.7.1	Model Prakiraan Debit Masa Depan Korelasi Spasial Hujan-Debit (Kontinu) .....	92
IV.7.2	Model Debit prakiraan Masa Depan Diskrit-Markov .....	92
IV.7.3	Model Debit prakiraan Masa Depan Arima .....	93
IV.8	Manajemen Waduk Karian .....	93
IV.8.1	Lingkungan Ekonomi <i>Storage</i> .....	94
IV.8.2	Pengelolaan Deterministik .....	94
IV.8.3	Pengelolaan Optimal .....	94
Bab V	Hasil dan Pembahasan .....	95
V.1	Pengumpulan Data .....	95
V.2	Pengolahan Data Hujan .....	96
V.2.1	Perhitungan Distribusi Hujan Wilayah .....	96
V.3	Debit Andalan .....	98
V.4	Debit Rencana Alokasi DMI Waduk Karian .....	102
V.5	Perbandingan Debit Rencana Teoritik, Debit Andalan Historik dan Debit Diskrit Markov .....	103
V.6	Perhitungan Aliran Rendah ( <i>Maintenance</i> Sungai) .....	105
V.7	Penelusuran Dimensi Waduk .....	107
V.7.1	Penelusuran Desain Kapasitas Waduk Menggunakan Metode Statistik Teoritik & Statistik Teoritik .....	107

V.7.2	Perhitungan Debit Banjir untuk Dimensi <i>Spillway</i> .....	109
V.8	Manajemen Waduk Karian.....	111
V.8.1	Debit prakiraan .....	111
V.8.2	Lingkungan Ekonomi Waduk.....	125
V.8.3	Pengelolaan Deterministik.....	126
V.8.4	Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Diskrit Markov .....	130
V.8.5	Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Hybrid Kontinu.....	136
V.8.6	Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Hybrid Markov .....	149
Bab VI	Kesimpulan dan Saran.....	154
VI.1	Kesimpulan.....	154
VI.2	Saran .....	155

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Debit Rata-Rata Bulanan Sungai Ciberang-Stasiun Karian (1970-2004).....	161
Lampiran 2 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Banjar Irigasi (1982-2004) .....	163
Lampiran 3 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Pasir Ona(1982-2004).	164
Lampiran 4 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Sajira (1998-2004) .....	165
Lampiran 5 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Cimarga (1982-2003) .....	166
Lampiran 6 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Pasir Ona (1982-2003) .....	167
Lampiran 7 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Sampang Peundeuy (1982-2003).....	168
Lampiran 8 Kurva hubungan antara luas daerah tangkapan dengan debit.....	170
Lampiran 9 Hasil Perhitungan Simulasi Model Markov dengan Lintasan Diskrit Markov (1998-2004) .....	171
Lampiran 10 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Markov dengan Lintasan Diskrit Markov (1998-2004).....	175
Lampiran 11 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Kontinu dengan Lintasan Pedoman Periode Ulang 10 Tahun (1998-2004).....	180
Lampiran 12 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Kontinu dengan Lintasan Pedoman Periode Ulang 5 Tahun (1998-2004).....	184

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perkiraan Jumlah Sumber Daya Air di Dunia (Fetter, 1997) .....	9
Tabel II.2 Kriteria Teknis Alokasi Air Baku (Arwin, 2009).....	41
Tabel II.3 Matrik Transisi Orde Satu (Arwin, 2002) .....	51
Tabel II.4 Skenario Simulasi Pola Pengusahaan Waduk Optimal (Arwin, 2002)	59
Tabel III.1 Tata guna Lahan di Kecamatan Wilayah Kab. Lebak (Pemda Kab. Lebak, 2008) .....	67
Tabel III.2 Alokasi Air Waduk Karian (KOICA, 2006) .....	70
Tabel III.3 Profil Bangunan Intake dan Saluran Pembawa (KOICA,2011) .....	76
Tabel III.4 Penjelasan setiap proses yang terjadi dalam WTP (KOICA, 2011) ....	78
Tabel III.5 Stasiun Penakar Hujan (BBWSC3,2012).....	79
Tabel III.6 Stasiun Pos Duga Air (BBWSC3,2012) .....	79
Tabel III.7 Kapasitas Produksi WTP di PAM Jaya (PAM Jaya, 2007) .....	80
Tabel III.8 Produksi Air PDAM Provinsi Banten (Perpamsi, 2011) .....	81
Tabel III.9 Kapasitas Produksi PDAM Tirta Kerta Raharja(Perpamsi, 2012).....	84



Tabel III.10 Kebutuhan Air Minum Regional Provinsi Banten (KOICA, 2008)...	86
Tabel V.1 Pos Pencatatan Hujan.....	95
Tabel V.2 Pos Pencatatan Debit.....	96
Tabel V.3 Curah Hujan wilayah Menggunakan Metode Polygon Thiessen.....	99
Tabel V.4 Debit Andalan Sungai Ciberang (1970-2004).....	100
Tabel V.5 Debit Andalan Waduk Karian Untuk Durasi 15 dan 30 hari (1970-2004).....	101
Tabel V.6 Debit Rencana Kering, Normal, Basah Statistik Teoritik, Debit Andalan Historik dan Debit Diskrit Markov Kering, Normal, Basah Waduk Karian (1970-2004).....	104
Tabel V.7 Hasil Perhitungan Debit Ekstrim Kering Harian Menggunakan Statistik Teoritik.....	106
Tabel V.8 Perhitungan Volume Total Waduk dengan Q 20 Tahun sebagai Qin.	107
Tabel V.9 Perhitungan Volume Waduk Efektif Menggunakan Statistik Historik (1970-2004).....	108
Tabel V.10 Kemungkinan Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi Menggunakan Statistik Teoritik, Hersfield dan PMP Isohyet (1982-2004) .....	110
Tabel V.11 Kemungkinan Debit Banjir dengan Menggunakan Persamaan Rasional .....	110
Tabel V.12 Korelasi Pearson Qkontinu dengan Qhistoris (1998-2004) .....	112
Tabel V.13 Persamaan Regresi Linier Ganda Untuk Debit Prakiraan Waduk Karian.....	112
Tabel V.14 Batas Kelas Debit Bulanan DAS Ciberang-Karian (1970-2004).....	114
Tabel V.15 Nilai Debit Rata-Rata Bulanan Setiap Kelas DAS Ciberang-Karian (1970-2004).....	115
Tabel V.16 Klasifikasi Debit Input Bulanan DAS Ciberang-Karian dengan Model Diskrit Markov (1970-2004).....	115
Tabel V.17 Matriks Transisi Markov Bulanan Orde 3 kelas .....	117
Tabel V.18 Data Debit Bulanan DAS Ciberang – Karian Hasil Prakiraan Model Diskrit Markov (1970 – 2004) .....	117
Tabel V.19 Korelasi Pearson Qmarkov dengan Qhistoris (1998-2004) .....	119

Tabel V.20 ARIMA Model Parameters .....	122
Tabel V.21 Korelasi Pearson QArima dengan Qhistoris(1998-2004) .....	124
Tabel V.22 Debit Rencana PU 10 Tahun ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ ) Pengelolaan Deterministik .....	126
Tabel V.23 Debit Rencana PU 5 Tahun ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ ) Pengelolaan Deterministik .....	128
Tabel V.24 Matriks Transisi Markov Tahunan Orde 3 kelas (kering, normal, basah) .....	130
Tabel V.25 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering Diskrit Markov .....	130
Tabel V.26 Perhitungan Pedoman Lintasan Normal Diskrit Markov .....	131
Tabel V.27 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah Diskrit Markov .....	132
Tabel V.28 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Diskrit Markov (1998-1999).....	134
Tabel V.29 Korelasi Pearson St Pedoman Diskrit Markov dengan St koreksi (aktual) (1998-2004) .....	136
Tabel V.30 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering PU 10 Tahun .....	137
Tabel V.31 Perhitungan Pedoman Lintasan Normal.....	137
Tabel V.32 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah PU 10 Tahun.....	138
Tabel V.33 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering PU 5 Tahun .....	139
Tabel V.34 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah PU 5 Tahun.....	140
Tabel V.35 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 10 Tahun (1998-1999).....	142
Tabel V.36 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 5 Tahun (1998-1999) .....	144
Tabel V.37 Korelasi Pearson St Pedoman Periode Ulang 10 Tahun dengan St+1 koreksi (aktual) (1998-2004).....	147
Tabel V.38 Korelasi Pearson St Pedoman Periode Ulang 5 Tahun dengan St+1 koreksi (aktual) (1998-2004).....	148
Tabel V.39 Hasil Perhitungan Pola Pengusahaan Model Hybrid Markov dengan Lintasan Pedoman Kering, Normal dan Basah Diskrit Markov (1998-1999).....	150

Tabel V.40 Korelasi Pearson $S_t$ Pedoman Diskrit Markov dengan $S_{t+1}$ koreksi (1998-2004).....	153
---	-----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Siklus Hidrologi.....	10
Gambar II.2 Bagian – bagian DAS .....	12
Gambar II.3 Bagian – bagian DAS .....	12
Gambar II.4 Persebaran pola curah hujan yang ada di Indonesia .....	16
Gambar II.5 Sketsa Analisa kurva masa ganda stasiun A dan B .....	24
Gambar II.6 Diagram Alir mencari curah hujan maksimum Periode ulang .....	33
Gambar II.7 Menentukan Harga Km .....	34
Gambar II.8 Faktor Penyesuaian rata-rata terhadap pengamatan maksimum .....	35
Gambar II.9 Faktor penyesuaian simpangan baku terhadap pengamatan maksimum.....	35
Gambar II.10 Faktor penyesuaian rata-rata dan simpangan baku terhadap panjang pengamatan data .....	36
Gambar II.11 Metode Polygon Thiessen .....	39

Gambar II.12 Metode Polygon Isohyet.....	40
Gambar II.13 Kriteria desain pengembangan SPAM .....	42
Gambar II.14 Diagram alir pedoman alokasi air sungai untuk irigasi dan DMI .....	43
Gambar II.15 Diagram alir Analisis Peluang Debit Air Musim Kering .....	45
Gambar II.16 Model kontinu prakiraan debit masa depan.....	46
Gambar II.17 Tipe korelasi biner .....	47
Gambar II.18 Tipe Korelasi Terner.....	47
Gambar II.19 Tipe Korelasi Kuaterner .....	49
Gambar II.20 Langkah-langkah Dalam Membuat Model Arima .....	53
Gambar II.21 Langkah-Langkah Dalam Perhitungan Kapasitas Waduk Menggunakan Metode Statistik Historik. ....	56
Gambar II.22 Lingkungan Ekonomi Waduk.....	57
Gambar II.23 Lingkungan Ekonomi Waduk.....	58
Gambar III.1 Peta Lokasi Wilayah Studi Waduk Karian.....	62
Gambar III.2 Rencana Tata Ruang Kabupaten Lebak .....	66
Gambar III.3 Luas Daerah Genangan Waduk Karian.....	68
Gambar III.4 Rencana Pengembangan Prasarana Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau.....	69
Gambar III.5 Daerah Pelayanan Waduk Karian Meliputi 3 BBSW dengan Modifikasi .....	71
Gambar III.6. Lingkungan Ekonomi Waduk Karian Fase 1 .....	72
Gambar III.7. Lingkungan Ekonomi Waduk Karian Fase 2 .....	72
Gambar III.8 Detail <i>Intake</i> Tipe Tower Untuk Pengambilan Air .....	77
Gambar III.9 Rute saluran pembawa .....	77
Gambar III.10 Rencana WTP Setiap Proses dan Setiap Tahap .....	78
Gambar III.11 Peta Lokasi Stasiun Hujan dan Debit Daerah Aliran Sungai Ciujung.....	83

Gambar III.12 Peta Lokasi Pengambilan Data Hujan dan Debit Daerah Aliran Sungai Ciberang .....	84
Gambar IV.1 Diagram Alir Penelitian .....	88
Gambar IV.2 Diagram alir pedoman alokasi air sungai untuk irigasi dan DMI....	91
Gambar V.1 Grafik Curah Hujan Wilayah DAS Ciberang Metode Polygon Thiessen.....	97
Gambar V.2 Grafik Keandalan Debit Sungai Ciberang Menggunakan Statistik Historik.....	101
Gambar V.3 Debit Andalan Waduk Karian durasi 15 dan 30 hari .....	102
Gambar V.4 Perbandingan Debit Kering Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov .....	103
Gambar V.5 Perbandingan Debit Normal Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov .....	105
Gambar V.6 Perbandingan Debit Basah Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov .....	105
Gambar V.7 Perbandingan Koefisien Korelasi Model Terner dan Model Kuarterner .....	112
Gambar V.8 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Kontinu dengan Debit Aktual Pos Karian Sungai Ciberang .....	114
Gambar V.9 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Diskrit Markov dengan Debit Historis Pos Karian Sungai Ciberang.....	119
Gambar V.10 Uji Stasioneritas Rata-rata Data Debit Model Arima.....	120
Gambar V.11 Variansi Data Debit Input Waduk Karian .....	121
Gambar V.12 Transformasi Data Dengan Menggunakan Metode BOK COX....	121
Gambar V.13 <i>Autocorrelation</i> Data Debit Metode Arima.....	122
Gambar V.14 <i>Error White Noise (pure random)</i> .....	123
Gambar V.15 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Arima dengan Debit Historis ...	124
Gambar V.16 Lingkungan Ekonomi Waduk Karian .....	125
Gambar V.17 Grafik Perbandingan Qinput aktual dengan Qrencana kering Waduk Karian .....	127

Gambar V.18 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana normal Waduk Karian .....	127
Gambar V.19 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana basah Waduk Karian .....	127
Gambar V.20 Grafik Perbandingan Qinput aktual dengan Qrencana kering Waduk Karian .....	128
Gambar V.21 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana normal Waduk Karian .....	129
Gambar V.22 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana basah Waduk Karian .....	129
Gambar V.23 Lintasan Pedoman Kering Diskrit Markov .....	131
Gambar V.24 Lintasan Pedoman Normal Diskrit Markov .....	132
Gambar V.25 Lintasan Pedoman Basah Waduk Karian .....	132
Gambar V.26 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Markov .....	133
Gambar V.27 Lintasan Pedoman Kering PU 10 Tahun.....	137
Gambar V.28 Lintasan Pedoman Normal .....	138
Gambar V.29 Lintasan Pedoman Basah PU 10 Tahun .....	139
Gambar V.30 Lintasan Pedoman Kering PU 5 Tahun.....	140
Gambar V.31 Lintasan Pedoman Basah PU 5 Tahun Waduk Karian.....	141
Gambar V.32 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 10 Tahun ...	146
Gambar V.33 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Metode Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 5 Tahun .....	146
Gambar V.34 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Hybrid Markov dengan Pedoman Lintasan Diskrit Markov .....	152

# **Bab I   Pendahuluan**

## **I.1   Latar Belakang**

Sumber daya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui melalui siklus hidrologi dan merupakan fungsi ruang dan waktu. Komponen terpenting dalam pengelolaan sumber daya air adalah curah hujan dan merupakan satu-satunya input dalam suatu DAS yang bersifat acak dan cenderung stokastik (suripin, 2004; Arwin, 2009).

Menurut UUD Pasal 33 ayat 3 : Air dan tanah digunakan sebesar-besarnya untuk kepentingan rakyat banyak. Kebutuhan tersebut antara lain : kebutuhan air pokok sektor irigasi dan *Domestic Municipality Industry* (DMI), seiring perkembangan perkotaan, laju kebutuhan air *Domestic Municipality Industry* (DMI) dan irigasi meningkat sehingga sangat logis dan adil bila berbagai sumber air (DMI dan Irigasi) sesuai dengan UUD pasal 33 ayat 3 perlu berbagai sumber air sehingga perlu dibuat pedoman alokasi sungai untuk sektor irigasi dan DMI.

Sejak tahun 1970 Regional Provinsi Banten (Jakarta, Banten dan Bogor) memasuki proses industrialisasi dan urbanisasi dengan cepat. Tercatat hingga tahun 1990 pertumbuhan penduduk di kawasan tersebut mencapai 4% per tahun dan pada kurun waktu 1990-2000 pertumbuhan penduduk turun menjadi 2,4% per tahun namun laju peningkatan jumlah penduduk tersebut tetaplah tinggi. Jumlah penduduk pada tahun 1970 adalah 8,3 juta dan meningkat hingga mencapai 20 juta jiwa pada tahun 2000. Berdasarkan kecenderungan pertumbuhan tersebut, pada tahun 2025 jumlah penduduk di kawasan tersebut diperkirakan akan mencapai lebih dari 50 juta (PU, 1994; KOICA, 2006).

Untuk mendukung aktivitas pengembangan perkotaan, Regional Provinsi Banten harus memiliki Rencana Induk Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum RIP-SPAM sesuai dengan skenario MDGs 2015 dalam rangka peningkatan pelayanan infrastruktur air minum Permen PU No. 18/PRT/M/2007. RIP-SPAM

sumber air permukaan berupa pengembangan infrastruktur air yang berfungsi untuk mendukung pengembangan SPAM Regional Provinsi Banten agar menghindari terjadinya eksploitasi air tanah yang akan mengakibatkan penurunan muka air tanah dan menjamin ketersediaan air. Jaminan keberlanjutan air sangat penting dilakukan karena adanya perubahan iklim (lokal, regional, global) dan semakin tingginya tingkat konversi lahan yang menyebabkan terjadinya perubahan rezim hidrologi yang mengarah pada terjadinya ekstrimitas hujan maupun debit (Arwin, 2008; Newsha et al., 2008; Marganingrum et al., 2009; D. G. Kingston et al., 2011).

Program pemerintah dalam rangka peningkatan pelayanan air minum berdasarkan target MDGs 2015 menjadi acuan utama bagi setiap Daerah Tingkat I maupun Daerah Tingkat II dalam merencanakan serta membuat kebijakan pelaksanaan kegiatan di bidang air minum. Berdasarkan target MDGs 2015 sub bidang air minum per provinsi Tahun 2015, Provinsi Jakarta diharapkan dapat mencapai target akses terhadap sumber air minum layak (total) sebesar 50%, Provinsi Banten 45% dan Provinsi Jawa Barat 70% dari total jumlah penduduk untuk masing – masing Provinsi pada akhir tahun pencapaian target 2015 (Cipta Karya, 2011).

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Perkotaan terbagi dalam 3 (tiga) komponen, yaitu berturut-turut komponen sumber air, komponen pengolahan air dan komponen pelayanan air. Pada tingkat komponen pelayanan air, kepuasan konsumen harus memenuhi standar kualitas air, kuantitas air, kontinuitas air dan harga jual air yang kompetitif. Keberhasilan pelayanan air bersih sangat tergantung pada keandalan sumber air baku baik kualitas air maupun kontinuitas sumber air. Salah satu kebijakan dalam menjamin kontinuitas sumber daya air adalah pengembangan infrastruktur air. Beberapa bendungan air telah menjamin pemenuhan kebutuhan DKI Jakarta hingga saat ini. Sumber air eksisting DKI Jakarta signifikan dipasok dari arah Timur dan arah barat Jakarta. Dari arah Timur, sumber air baku dipasok dari Waduk Jatiluhur (Sungai Citarum) melalui Kanal Tarum barat 14.600 L/detik (WTP Pejompongan, Pulo Gadung dan Buaran) sedangkan dari arah barat, sumber air baku Sungai cisadane 2800 Lps (WTP



Cisadane). Daerah pelayanan air minum Jakarta dibelah 2 (dua) daerah pelayanan oleh sungai Ciliwung. Sebelah barat Ciliwung kapasitas WTP terpasang (9.075 L/detik) sedangkan sebelah timur Ciliwung kapasitas WTP terpasang (9000 L/detik) (PU, 2008).

Rencana Induk Pengembangan SPAM (RIP-SPAM) Regional berkelanjutan sesuai dengan Permen PU No.18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan SPAM yang diterjemahkan dalam beberapa tahapan yaitu program jangka pendek dan jangka menengah-panjang.

Program Jangka Pendek (2010 -2015) Sumber air DKI Jakarta wilayah timur dari Waduk Jatiluhur (Jabar) dan wilayah barat dari Waduk Karian, Bekasi dipasok dari timur Waduk Jatiluhur (Jabar) sedangkan laju kebutuhan sumber air untuk Tangerang dipasok dari barat, membangun Waduk Ekaguna Karian di sungai Ciberang, anak sungai Ciujung (Provinsi Banten) sedang laju kebutuhan Bogor dipenuhi dari Sungai Cisadane Hulu dan Waduk Karian kemudian Depok dipenuhi dari Sungai Ciliwung.

Program Jangka Menengah dan Jangka Panjang (2015-2030): memanfaatkan potensi sumber air sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau dengan membangun 4 waduk yaitu Cilawang, Pasir Kopo, Tanjung dan Karian (PU, 1994 ; JICA, 1994; KOICA, 2011). Pemenuhan laju kebutuhan air ini ditangani oleh tiga balai besar wilayah sungai (BBWS) yaitu : BBWS Citarum, BBWS Ciliwung-Cisadane dan BBWS Ciujung-Cidurian-Cidanau).

Kebijakan strategis pengembangan infrastruktur air terdiri dari beberapa tahapan (SIDCOM) ; *Survey* yaitu melakukan indentifikasi air baku; *Investigation* yaitu melakukan analisis studi kelayakan; *Design* yaitu dengan melakukan analisis desain waduk; *Construction* yaitu dengan melakukan pembangunan bangunan air; *Operation* yaitu dengan melakukan pengelolaan waduk; *Maintenance* yaitu dengan melakukan pemeliharaan waduk dan daya dukung waduk.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis 4 tahapan pengembangan infrastruktur air yaitu *Survey*, *Investigation*, *Design* dan *Operation*. *Survey* dilakukan dengan

melihat langsung kondisi eksisting sumber daya air sebagai input Waduk Karian dan melakukan pengambilan data sekunder, kemudian melakukan investigasi dengan menghitung keandalan air baku sungai sumber daya air Waduk Karian selanjutnya tahapan desain dengan melakukan perhitungan rencana kapasitas Waduk Karian dan tahap operasi dengan melakukan pengembangan model optimasi perusahaan waduk ketidakpastian masa depan.

Dalam tahap operasi pemanfaatan Waduk Karian memerlukan perusahaan waduk yang sesuai dengan peruntukannya sehingga fungsi waduk dapat dimanfaatkan secara optimal. Pengelola waduk wajib membuat manajemen waduk berupa pola lintasan kering, normal dan basah sesuai dengan PP No 37 Tahun 2010 tentang Bendungan pasal 44 (Arwin, 2009). Hal ini sangat berkaitan erat untuk memastikan keandalan air baku dalam rangka pengembangan SPAM. Pola Perusahaan yang sesuai adalah pola perusahaan yang bertujuan untuk menghindari degradasi fungsi infrastruktur air minum yang mana perencanaan/*design* utilitas SPAM harus didasarkan pada konsep pengembangan SPAM berkelanjutan dan peraturan/perundangan yang berlaku untuk infrastruktur air minum (Arwin, 2010).

## **I.2 Perumusan Masalah**

Adanya ketidakpastian masa depan maka perlu meneliti pola perusahaan waduk Karian optimal untuk standar operasional Waduk.

## **I.3 Hipotesa Penelitian**

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model prakiraan debit masa depan korelasi spasial hujan dan debit (kontinu) merupakan model prakiraan debit relatif lebih baik dibandingkan dengan model Diskrit Markov dan Arima.
2. Model Markov tiga kelas analog dengan konsep debit rencana 5 tahunan dalam penentuan pola perusahaan waduk tahun kering, normal dan basah.
3. Pola Perusahaan Waduk Hybrid Kontinu dengan pedoman lintasan kontinu 5 tahunan lebih adaptif dengan ketidakpastian debit (*Avenir Uncertaine*)

dibandingkan dengan model pola pengusahaan waduk Markov dan Hybrid Markov.

4. Pola Pengusahaan Waduk Hybrid Markov dengan pedoman lintasan Markov 5 tahunan adaptif dengan ketidakpastian debit (*Avenir Uncertaine*) dan lebih praktis digunakan dibandingkan dengan dengan model pola pengusahaan waduk Hybrid Kontinu.

#### **I.4 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah mendapatkan standar acuan optimasi pola pengusahaan waduk yang adaptif terhadap ketidakpastian masa depan (*Avenir Uncertaine*)

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah :

Menentukan simulasi pola pengusahaan optimal Waduk aktual yang paling optimal dan adaptif terhadap ketidakpastian masa depan (*Avenir Uncertaine*).

#### **I.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Untuk mencapai maksud dan tujuan yang telah disebutkan, maka ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data
  - pengumpulan data curah hujan (1982–2004) dan data debit (1970-2004) sungai Ciberang
  - data profil sungai Ciberang
  - data hidrologi lainnya: suhu, kelembaban, kecepatan angin, intensitas matahari
  - data rencana desain Waduk Karian (Volume total, volume efektif, dimensi *spillway*, intake PDAM, saluran pembawa air)
  - peta DAS Ciujung-Cidurian-Cidanau, Peta Sub-DAS Ciberang
  - data eksisting SPAM, Kebutuhan air, RIP-SPAM Regional Provinsi Banten
2. Pengolahan Data: Pengolahan data curah hujan dan debit dengan menggunakan metode hidrologi statistik seperti :

- menghitung hujan wilayah (bulanan dan tahunan),
- menghitung keandalan debit dan debit rencana periode ulang
- menghitung rencana desain Waduk Karian (Volume total, volume efektif, dimensi *spillway*)
- menentukan model debit prakiraan dari hasil model yang mendekati kondisi debit aktual (model Kontinu, Arima dan model Diskrit Chain-Markov)
- menentukan simulasi pengoperasian waduk optimal dalam rangka manajemen waduk yang optimal dan berkelanjutan.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

Untuk kemudahan pemahaman maka sistematika penulisan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab, yaitu:

### **Bab I. Pendahuluan**

Meliputi penjelasan latar belakang, maksud dan tujuan, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

### **Bab II. Tinjauan Pustaka**

Pada Bab ini memaparkan dasar teori mengenai komponen hidrologi, teori dalam pengolahan data hujan dan debit, tentang desain waduk dan model optimasi pola pengusahaan waduk.

### **Bab III. Lokasi Penelitian**

Menjelaskan kondisi fisik dan kondisi umum di lokasi studi dalam hal ini sungai Ciberang, dan data-data lain yang diperlukan.

#### **Bab IV. Metodologi Penelitian**

Berisikan tahapan proses perhitungan, pengolahan, dan analisa data yang meliputi konsep dasar, pengolahan data hujan, pengolahan data debit andalan, desain waduk, manajemen Waduk Karian.

#### **Bab V. Hasil dan Pembahasan**

Memuat hasil-hasil pengolahan data dan analisa pembahasannya.

#### **Bab VI. Kesimpulan dan Saran**

Bab ini memaparkan kesimpulan mengenai hasil penelitian dan memberikan saran yang berhubungan dengan penelitian ini.

## **Bab II Tinjauan Pustaka**

### **II.1 Umum**

Air merupakan komponen yang sangat penting dalam kelangsungan hidup manusia. Air dalam kondisi sehari-hari dapat ditemui dalam tiga wujud sekaligus, yaitu cair (air), gas (uap air), dan padat (es). Air meliputi hampir tiga perempat permukaan bumi dan diperkirakan mencapai 1.350 juta kilometer kubik air. Di bawah tanah terdapat sekitar 8,3 juta kilometer kubik air lagi dalam bentuk air tanah. Di dalam atmosfer bumi juga terdapat 12.900 kilometer kubik air yang kebanyakan dalam bentuk uap. Air adalah material yang paling berlimpah di bumi ini, menutupi sekitar 71% dari muka bumi ini. Makhluk hidup hampir seluruhnya tersusun atas air, 50 sampai 97% dari seluruh berat tanaman dan hewan hidup dan sekitarnya 70% dari berat tubuh manusia (Kashef, 1987). Indonesia memiliki kekayaan sumber daya air yang melimpah, tercatat saat ini cadangan potensi sumber daya air sebesar  $\pm 3.906$  milyar  $m^3$ /tahun yang tersebar di seluruh tanah air dari 8.007 Daerah Aliran Sungai dan 521 danau dengan volume andalan yang dapat dimanfaatkan sebesar  $\pm 690$  milyar  $m^3$ /tahun (Cipta Karya, 2013).

Air akan selalu ada dan tetap jumlahnya karena air tidak pernah berhenti bersikulasi dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer mengikuti siklus hidrologi. Ketika jumlah penduduk masih terbatas dan alam masih belum banyak tereksplorasi, air terasa berlimpah sepanjang waktu dengan kualitas yang cukup baik, dan ketika itu pula air serasa belum memiliki nilai yang berarti. Ketika keberadaan air dirasakan semakin terbatas, baik dari segi kualitasnya maupun kuantitasnya, dan kebutuhan manusia akan air terasa semakin meningkat untuk memenuhi berbagai keperluan, serta kualitas lingkungan dan ekosistem mulai terganggu, pada waktu itu nilai air mulai diperhitungkan. Air tidak hanya berfungsi sosial dan lingkungan tetapi juga memiliki nilai ekonomis (Sosrodarso dan Takeda, 1993).

Tabel II.1 Perkiraan Jumlah Sumber Daya Air di Dunia (Fetter, 1997)

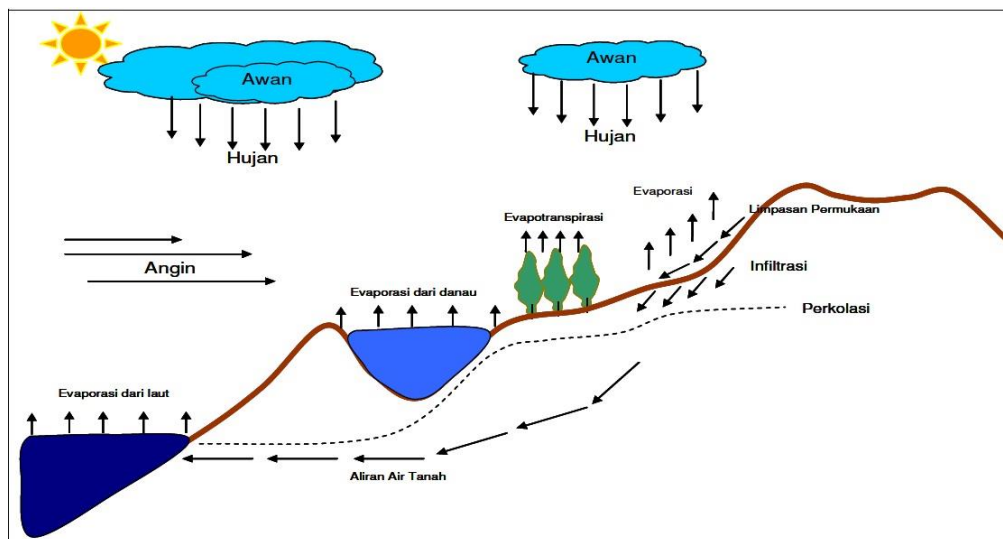
Lokasi	Volume Air (km <sup>3</sup> )	%
Air di daratan	37850,00	2,8000
Danau air tawar	125,000	0,0090
Danau air asin dan laut daratan	104,00	0,0080
Sungai	1,25	0,0001
Kelembaban tanah dan air <i>vedose</i>	67,00	0,0050
Air tanah sampai kedalaman 4000 m	8350,00	0,6100
Es dan <i>glaciers</i>	29200,00	2,1400
Air di atmosfer	13,00	0,0010
Air di lautan	1320000,00	97,2000
Total Air di Dunia	136000,00	100

## II.2 Siklus Hidrologi

Sumber daya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui melalui siklus hidrologi dan merupakan fungsi ruang dan waktu (Arwin, 2009). Siklus hidrologi merupakan salah satu aspek penting yang diperlukan pada proses analisis hidrologi. Siklus hidrologi adalah air yang menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan (Suyono, 1983). Sedangkan pengertian lain tentang siklus hidrologi adalah gerakan air laut

ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1987).

Perjalanan air dimulai dari penguapan air permukaan ke atmosfer melalui proses evaporasi, dari tumbuhan melalui proses transpirasi dan dari gabungan keduanya melalui proses evapotranspirasi. Uap air yang terbentuk dari proses evaporasi, transpirasi, dan evapotranspirasi tersebut membentuk awan setelah mencapai temperatur titik kondensasi dan jatuh ke permukaan bumi sebagai presipitasi. Sebagian air tersebut mengalir sebagai *run off* melalui berbagai bentuk badan air seperti sungai, danau, rawa, dan kemudian masuk ke laut. Sebagian air yang lain mengalami infiltrasi dan perkolasi membentuk aliran bawah permukaan menjadi aliran tanah. Dengan berbagai cara akhirnya air tanah mengalir menuju laut (Todd, 1980). Secara sederhana siklus hidrologi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Siklus Hidrologi (Soemarto, 1987)

### II.3 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (*catchment area, basin, watershed*) adalah semua daerah dimana semua airnya yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Aliran air tersebut tidak hanya berupa air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran di lereng - lereng bukit yang mengalir menuju alur sungai sehingga daerah tersebut



dinamakan daerah aliran sungai. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan airtanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian (Harto,1993).

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu wilayah yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menerima hujan, menampung, menyimpan dan mengalirkan ke sungai dan seterusnya ke danau atau ke laut. Selain itu DAS juga merupakan suatu ekosistem dimana di dalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, non-abiotik, dan manusia. Sebagai suatu ekosistem, maka setiap ada masukan ke dalamnya, proses yang terjadi dapat dievaluasi berdasarkan keluaran dari sistem tersebut (Suripin, 2001).

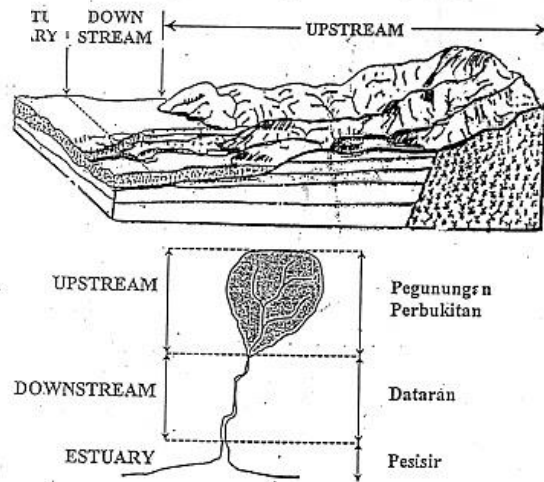
Daerah aliran sungai (DAS) atau daerah pengaliran sungai (DPS), padanan kata dalam bahasa asingnya adalah *river basin*, *drainage basin*, *cacthment area*, *watershed*. DAS adalah suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem yang dibatasi oleh pemisah topografis dan berfungsi sebagai pengumpul, penyimpanan dan penyalur air, sedimen, unsur hara melalui sistem sungai, mengeluarkannya melalui outlet tunggal (Sudjarwadi,1985). Memperhatikan keadaan lapangan, DAS dapat dipandang sebagai:

1. Bentanglahan (*landscape*) yang dibatasi oleh pemisah topograf; sebagai bentang lahan mempunyai fungsi keruangan, produksi dan habitat.
2. Kesatuan ekosistem, tempat berlangsungnya interaksi, interdependensi dan interrelasi komponen-komponen lingkungan.
3. Sistem hidrologis, sebagai suatu sistem ada masukan berupa hujan, proses dan keluaran berupa *runoff*, sedimen, uap air serta unsur hara.

Gambar II.2 menunjukkan blok diagram suatu bentang lahan, di dalamnya nampak ada lembah, sistem sungai, pegunungan dan igir pegunungan. Igir pegunungan membatasi sistem sungai, batas tersebut disebut *river divide*. Sistem sungai terbagi menjadi 3 bagian yaitu: daerah *upstream* (berupa daerah pegunungan dan perbukitan) yang merupakan daerah sumber *runoff* dan sedimen; 2) daerah *downstream* (berupa dataran) yang merupakan daerah transfer *runoff*

dan sedimen; 3) daerah *estuary* (daerah pertemuan aliran sungai dengan laut) pada umumnya berupa delta sungai.

1. *Sebagai bentanglahan dengan batas topografi*



Gambar II.2 Bagian – bagian DAS (Linsley, 1991)



Gambar II.3 Bagian – bagian DAS (Linsley, 1991)

Pengelolaan DAS adalah bagaimana pengaturan terhadap faktor berupa vegetasi, bentuk wilayah, tanah, air dan manusia yang merupakan bagian dari suatu ekosistem DAS, sebab apabila salah satu faktor berubah maka perubahan tersebut akan berpengaruh terhadap ekosistem DAS.

Pengelolaan DAS adalah suatu proses formulasi dan implementasi kegiatan atau program yang bersifat manipulasi sumberdaya alam dan manusia yang terdapat di Daerah Aliran Sungai untuk memperoleh manfaat produksi dan jasa tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan sumberdaya air dan tanah (Asdak, 1995).

Daerah aliran sungai bagian hulu yang menjadi wilayah daerah tangkapan hujan merupakan area penting untuk menunjang ketersediaan air di bagian hilir. Perlakuan DAS bagian hulu menjadi hal terpenting dari keseluruhan pengelolaan DAS, karena akan menentukan seberapa besar manfaat sungai yang bisa diperoleh. Kurang tepatnya perencanaan dapat menimbulkan adanya degradasi DAS Sehingga perlu dilakukan upaya menciptakan pendekatan pengelolaan, perencanaan DAS secara terpadu dan menyeluruh, berkelanjutan serta berwawasan lingkungan. Apabila ini terlaksana pengelolaan DAS akan dapat dipakai untuk penanggulangan bencana, banjir maupun kekeringan dengan cepat dan tepat dan baik.

#### **II.4 Hujan (Presipitation)**

Presipitasi adalah nama umum dari uap air yang mengembun dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Di Indonesia umumnya hanya mengenal satu jenis presipitasi yaitu hujan. Jumlah presipitasi dinyatakan dengan tebal presipitasi (mm).

Hujan umumnya mempunyai variasi yang besar di dalam ruang dan waktu (Bruce and Clark, 1966). Variasi curah hujan yang diterima di suatu tempat ditentukan oleh berbagai macam faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain kandungan uap air di atmosfer, keadaan topografi, sifat permukaan, perilaku daur alam seperti rotasi bumi dan fluktuasi jangka panjang merupakan pengaruh siklonik Dapat dijelaskan juga bahwa variasi hujan dipengaruhi oleh radiasi matahari. Di Indonesia angin utama yang menentukan besarnya penerimaan hujan musiman adalah angin musim Barat Laut dan Tenggara. Angin ini berganti arah setiap setengah tahun.

#### II.4.1 Tipe Hujan

Hujan dapat dibedakan berdasarkan penyebab pengangkatannya (Linsley,1989), yaitu:

a. Hujan Siklonik

Hujan ini disebabkan oleh pengangkatan udara yang terpusat pada wilayah bertekana rendah. Hujan siklonik dapat digolongkan lebih lanjut menjadi hujan frontal dan non-frontal. Hujan frontal disebabkan oleh pengangkatan udara panas pada satu sisi permukaan frontal di atas udara yang lebih dingin dan lebih rapat pada sisi lainnya. Sedangkan terjadinya hujan non-frontal tidak berhubungan dengan terbentuknya bidang-bidang frontal tersebut.

b. Hujan Konvektif

Hujan ini disebabkan oleh pergerakan ke atas udara yang lebih panas dan lebih ringan dalam udara yang lebih dingin dan lebih rapat dibandingkan sekitarnya. Hujan ini bersifat lokal, tidak teratur dengan intensitas yang bervariasi, dari sangat jarang hingga deras.

c. Hujan Orografis

Hujan ini terjadi akibat pengangkatan udara secara mekanis pada bidang pegunungan untuk dapat melampaui pegunungan tersebut. Di daerah yang tidak datar, pengaruh orografis lebih menonjol sehingga pola hujan badai cenderung menyerupai pola hujan tahunan rata-rata.

Sedangkan menurut proses terjadinya, hujan dibedakan menjadi 5 yaitu:

1. Hujan siklonal, yaitu hujan yang terjadi karena udara panas yang naik disertai dengan angin berputar.
2. Hujan zenithal, yaitu hujan yang sering terjadi di daerah sekitar ekuator, akibat pertemuan Angin Pasat Timur Laut dan Angin Pasat Tenggara. Kemudian angin tersebut naik dan membentuk gumpalan-gumpalan awan di sekitar ekuator yang berakibat awan menjadi jenuh dan turunkah hujan.
3. Hujan orografis, yaitu hujan yang terjadi karena angin yang mengandung uap air yang bergerak horisontal. Angin tersebut naik menuju pegunungan,

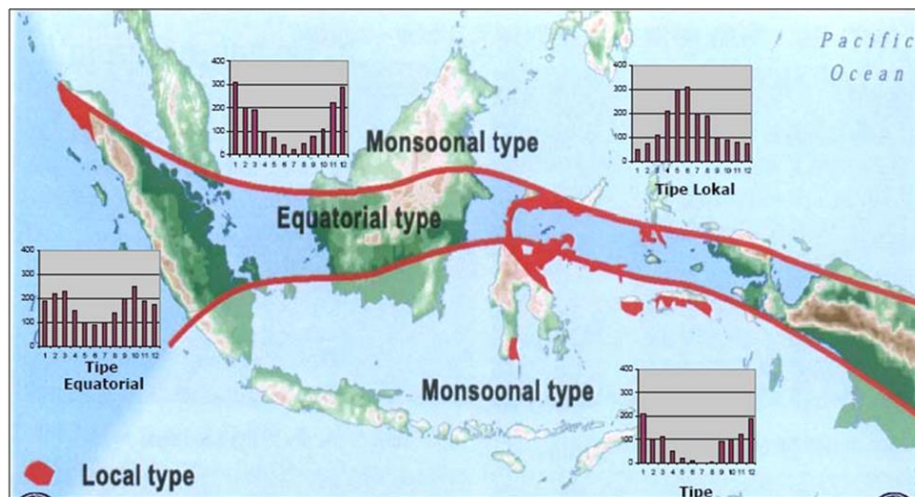
suhu udara menjadi dingin sehingga terjadi kondensasi. Terjadilah hujan di sekitar pegunungan.

4. Hujan frontal, yaitu hujan yang terjadi apabila massa udara yang dingin bertemu dengan massa udara yang panas. Tempat pertemuan antara kedua massa itu disebut bidang *front*. Karena lebih berat massa udara dingin lebih berada di bawah. Di sekitar bidang *front* inilah sering terjadi hujan lebat yang disebut hujan frontal.
5. Hujan Monsoon, yaitu hujan yang terjadi karena Angin Musim (angin Monsoon). Penyebab terjadinya angin Monsoon adalah karena adanya pergerakan semu tahunan matahari antara Garis Balik Utara dan Garis Balik Selatan. Di Indonesia, secara teoritis hujan Monsoon terjadi bulan Oktober sampai April. Sementara di kawasan Asia Timur terjadi bulan Mei sampai Agustus.

Berdasarkan distribusi data rata-rata curah hujan bulanan, umumnya wilayah Indonesia dibagi menjadi 3 (tiga) pola hujan, yaitu:

1. Pola hujan Monsoon, yaitu wilayahnya memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kemarau kemudian dikelompokkan dalam Zona Musim (ZOM), tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan, DJF musim hujan, JJA musim kemarau).
2. Pola hujan equatorial, yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan bimodial dengan dua puncak musim hujan maksimum dan hampir sepanjang tahun masuk dalam kriteria musim hujan. Pola *equatorial* dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekinoks.
3. Pola hujan lokal, yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan kebalikan dengan pola Monsoon. Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan Monsoon.

Pada kondisi normal, daerah yang bertipe hujan Monsoon akan mendapatkan jumlah curah hujan yang berlebihan pada saat monsun barat dibanding saat monsun timur. Pengaruh Monsoon di daerah yang memiliki pola curah hujan ekuator kurang tegas akibat pengaruh insolasi pada saat terjadi ekinoks, demikian juga pada daerah yang memiliki pola curah hujan lokal yang lebih dipengaruhi oleh efek orografi. Gambar II.4 menggambarkan persebaran pola curah hujan yang ada di Indonesia.



Gambar II.4 Persebaran pola curah hujan yang ada di Indonesia

(<http://iklim.bmg.go.id>).

Menurut data BMKG, rata-rata curah hujan di Indonesia untuk setiap tahunnya tidak sama. Namun masih tergolong cukup melimpah, yaitu rata-rata 2000-3000 mm/tahun. Begitu pula antara tempat yang satu dengan tempat yang lainnya rata-rata curah hujannya tidak sama.

Ada beberapa daerah yang mendapat curah hujan sangat rendah dan ada pula daerah yang mendapat curah hujan tinggi :

1. Daerah yang mendapat curah hujan rata-rata per tahun kurang dari 1000 mm, meliputi 0,6% dari luas wilayah Indonesia, di antaranya Nusa Tenggara dan 2 daerah di Sulawesi (lembah Palu dan Luwuk)

2. Daerah yang mendapat curah hujan antara 1000-2000 mm per tahun di antaranya sebagian Nusa Tenggara, daerah sempit di Merauke, Kepulauan Aru, dan Tanibar
3. Daerah yang mendapat curah hujan antara 2000-3000 mm per tahun, meliputi Sumatera Timur, Kalimantan Selatan, dan Timur sebagian besar Jawa Barat dan Sulawesi
4. Daerah yang mendapat curah hujan tertinggi lebih dari 3000 mm per tahun meliputi dataran tinggi di Sumatera Barat, Kalimantan Tengah, dataran tinggi Irian bagian tengah, dan beberapa daerah di Jawa, Bali, Lombok, dan Sumbawa.

#### **II.4.2 Variasi Hujan**

Penyebaran hujan dipengaruhi oleh dua hal, yaitu variasi geografis dan variasi menurut waktu (Linsey, 1989):

- *Variasi Geografis*

faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya curah hujan rata-rata tahunan di suatu daerah adalah latitude, suhu laut dan air laut, posisi dan luas daerah, efek geografis, jarak/sumber lembah, dan ketinggian. Pada umumnya, hujan terlebat terjadi di dekat khatulistiwa dan akan berkurang seiring bertambahnya garis lintang. Curah hujan juga berubah dengan ketinggian lereng, meningkat sampai ketinggian tertentu ( $\pm 900$  m) kemudian berkurang, karena kejenuhan kelembaban spesifik dan dengan itu juga banyaknya air maksimum di dalam suatu kolom di atas permukaan tanah berkurang

- *Variasi Waktu*

Jatuhnya hujan terjadi menurut suatu pola dan siklus tertentu. Hanya kadang-kadang terjadi penyimpangan-penyimpangan pada pola tersebut. Namun biasanya pada waktu tertentu akan kembali pada pola yang teratur. Dalam suatu series data hujan terdapat fluktuasi-fluktuasi yang fase dan amplitudonya tidak teratur. Dengan mengadakan perataan seperlunya maka kita bisa mendapatkan variasi yang nampaknya akan menyerupai variasi siklis. Distribusi hujan musiman ini biasanya terjadi sebagai hujan

konvektif yang disebabkan oleh naiknya udara panas ke tempat yang lebih dingin atau hujan orografik yang disebabkan naiknya udara yang terpusatkan di suatu daerah atau sebagai hujan siklonik, terjadi dari naiknya udara yang terpusatkan di suatu daerah yang tekanan rendah. Dan sebagian hujan di Indonesia terjadi sebagai hujan konvektif

### **II.4.3 Limpasan**

Salah satu bagian dalam siklus hidrologi adalah limpasan permukaan atau yang biasa dikenal sebagai *run off*. menyatakan limpasan permukaan adalah air yang mengalir di permukaan, baik sebagai aliran suatu kanal, anak sungai menuju kesungai utama (Ward,1967).

Faktor-faktor dari daerah pengaliran yang berhubungan dengan daerah limpasan, antara lain (Sosrodarsono dan Takeda, 2003) :

1. Kondisi penggunaan lahan; daerah yang memiliki laju infiltrasi yang besar akan memiliki limpasan permukaan yang kecil, begitu pun sebaliknya.
2. Daerah pengaliran; debit banjir diharapkan berbanding terbalik dengan daerah pengaliran.
3. Kondisi topografi dalam daerah pengaliran ; daerah pengaliran dipengaruhi oleh corak, elevasi, gradien dan arah dari daerah pengaliran itu sendiri.
4. Jenis tanah; corak, bentuk butir serta cara mengendap adalah faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi, sehingga limpasan juga dipengaruhi faktor-faktor tersebut.
5. Faktor lain yang memberi pengaruh ; faktor lain diantaranya yaitu karakteristik jaringan sungai, daerah pengaliran tidak langsung dan drainase buatan.

### **II.4.4 Hujan (P) dan Debit (Q)**

Hujan (P) dan debit (Q) merupakan komponen hidrologi dan merupakan dua variabel acak yang penting. Hujan yang jatuh pada suatu DAS mempunyai pengaruh yang bervariasi dalam ruang dan waktu, terhadap debit sungai. Distribusi besaran hujan dipengaruhi oleh topografi, morfologi, kemiringan, dan angin Monsoon yang mempengaruhi iklim kepulauan Indonesia. Hubungan antara



debit rata-rata suatu sungai dengan hujan wilayah DAS dapat dinyatakan dalam persamaan linier sederhana berikut (Arwin, 2009):

$$Q = (I - I_k) \cdot P \cdot A + b \quad (\text{II.1})$$

$$Q = c \cdot P \cdot A + b \quad (\text{II.2})$$

Keterangan:

Q = debit sungai

P = curah hujan

$I_k$  = indeks konservasi,  $f(P, \phi, I)$ , tutupan lahan)

c = koefisien limpasan air

A = luas DAS

b = aliran dasar sungai berasal dari mata air dan limpasan air tanah

I = kemiringan lahan

$\phi$  = batuan pembentuk

Perhitungan debit pada daerah beriklim tipe equatorial (zona basah) menggunakan *Water budget method* (WBM), infiltrasi dianggap tidak ada karena kondisi tanah berawa (jenuh). *Water budget method* (WBM), Perhitungan kesetimbangan air rata-rata untuk DAS bisa sangat sederhana ketika  $\Delta S$  dalam DAS diabaikan (bila selisih waktu kecil dan dataran basah di Iklim tipe Equatorial). WBM berdasarkan persamaan dasar air keseimbangan :

$$P = Q + ET \pm \Delta S, \quad (\text{II.3})$$

Keterangan :

P ( $L^3/T$ ) curah hujan,

ET ( $L^3/T$ ) evapotranspirasi,

Q ( $L^3/T$ ) limpasan, dan

$\Delta S$  ( $L^3/T$ ) perubahan penyimpanan air dalam DAS. Bila selisih waktu kecil,  $\Delta S=0$ .

Sehingga  $Q$  setengah bulanan digunakan persamaan :

$$Q = P-ET \quad (\text{satuan dalam } l^3/s) \quad (II.4)$$

Hubungan antara hujan dan debit merupakan dasar peramalan yang tepat untuk pengoperasian proyek hidrolik dan untuk memperpanjang data debit, baik yang mempunyai alat ukur maupun yang tidak mempunyai alat ukur. Hubungan antara variabel hujan-debit dapat diteliti berdasarkan data historis dari curah hujan dan debit aliran di suatu kawasan DAS. Dengan adanya korelasi antara stasiun hujan dengan stasiun debit, dapat dibentuk suatu model hujan-debit dengan metoda regresi ganda, yang dapat dipergunakan untuk mengoptimalkan waduk dengan kapasitas sungai di masa depan.

Untuk mengantisipasi ketidakpastian debit di masa yang akan datang ditempuh dengan cara:

- Perkiraan stokhastik debit dengan model kontinu hujan-debit
- Perkiraan stokhastik debit dengan model kontinu debit-debit

Model kontinu hujan-debit didasarkan pada korelasi antara stasiun hujan dengan stasiun debit. Dari penelitian diketahui bahwa model korelasi yang melibatkan empat variabel hidrologi, lebih efektif dalam menentukan hubungan antar hujan-debit. Hubungan dengan lebih dari empat variabel tidak memberikan hasil yang berarti (kenaikan koefisien determinasi relatif kecil).

## **II.5 Hujan Rencana dan Intensitasnya**

Hujan Rencana ( $X_T$ ) adalah hujan dengan periode ulang tertentu ( $T$ ) yang diperkirakan akan terjadi di suatu daerah pengaliran (Kamiana, 2011).

## II.6 Pengolahan Data Hujan

### II.6.1 Melengkapi Data Hujan

Data yang ideal adalah data yang akurat dan tersedia dalam jumlah dibutuhkan. Dalam praktek, sering dijumpai data yang tidak lengkap, yang dapat disebabkan oleh kerusakan alat, kelalaian petugas, penggantian alat, bencana alam dan lain-lain. Dalam memperkirakan data yang 'kosong' harus memperhatikan pola penyebaran hujan pada stasiun yang bersangkutan maupun stasiun-stasiun di sekitarnya. Dalam memperkirakan data 'kosong' biasanya dipergunakan metoda aritmatik, metoda rasio normal, regresi linier sederhana dan regresi linier ganda. Penggunaan metoda regresi linier ganda akan memberikan rata-rata standar *error* yang lebih kecil.

Untuk akurasi hasil perhitungan hidrologi yang menggunakan data hujan maka harus dilakukan uji konsistensi. Analisa kurva massa ganda menguji konsistensi pencatatan data suatu stasiun dengan membandingkan data hujan tahunan atau musiman dengan akumulasi hujan rata-rata yang bersamaan dari sekumpulan stasiun di sekitarnya.

Konsistensi data hujan diperlukan agar hasil analisis mendekati kenyataan. Jika data yang diuji homogen dengan data stasiun sekitarnya, kurva massanya hampir mendekati garis lurus. Jika ada patahan dalam garis pada titik tertentu, maka mulai titik ini pengamatan dari stasiun yang ditinjau tidak homogen. Ketidakkonsistensian tersebut harus dikoreksi dengan rumus persamaan berikut (Kamiana, 2011):

$$H = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_0} H_0 \quad (\text{II.5})$$

Dimana :

$H$	= data hujan yang dikoreksi	
$H_0$	= data hujan hasil pengamatan	
$\operatorname{tg} \alpha$	= kemiringan sebelum perubahan	
$\operatorname{tg} \alpha_0$	= kemiringan sesudah perubahan	
$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_0}$	= faktor koreksi	(II.6)

## II.6.2 Koreksi Penanggalan

Jumlah hari dalam tiap bulan bervariasi antara 28-31 hari, sehingga perlu dilakukan koreksi agar tidak terdapat pengaruh perbedaan jumlah hari dalam sebulan. Untuk itu maka harus dilakukan koreksi penanggalan sebelum data dipergunakan. Koreksi penanggalan dilakukan dengan mengalikan data hujan dengan suatu faktor koreksi (fk). Besar fk adalah (Kamiana, 2011) :

- Data hujan harian  $fk = (365 / 12) = 30,4167$
- Data hujan bulanan  $fk = 30,4167 / \text{jumlah hari dalam bulan bersangkutan}$

## II.6.3 Analisis Frekuensi

Dalam analisis frekuensi suatu kejadian (hujan atau debit) diperlukan seri data (hujan atau debit) selama beberapa tahun. Pengambilan seri data untuk tujuan analisis frekuensi dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu (Kamiana, 2011):

### a. Seri Parsial (*Partial Duration Series*)

Metode ini digunakan apabila data yang tersedia kurang dari 10 tahun runtut waktu. Dalam metode ini, ditetapkan dulu batas bawah suatu seri data. Kemudian semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil menjadi bagian seri data.

Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat caranya adalah dengan mengambil semua besaran data yang cukup besar kemudian diurut dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk kepentingan analisis adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran yang paling besar.

Akibat dari metode pengambilan seri data seri parsial adalah dimungkinkannya dalam satu tahun diambil data lebih dari satu, sementara pada tahun yang lain tidak ada data yang diambil karena data yang tersedia dibawah batas bawah.

### b. Data Maksimum Tahunan (*Annual Maximum Series*)

Metode ini digunakan apabila data yang tersedia lebih dari 10 tahun runtut waktu. Dalam metode ini, hanya data maksimum yang diambil untuk setiap tahunnya, atau hanya ada 1 setiap tahun.

Akibat dari metode pengambilan seri data maksimum tahunan adalah data terbesar kedua dalam suatu tahun yang lebih besar nilainya dari data terbesar pada tahun yang lain menjadi tidak diperhitungkan dalam analisis.

#### **II.6.4 Pengujian Seri Data**

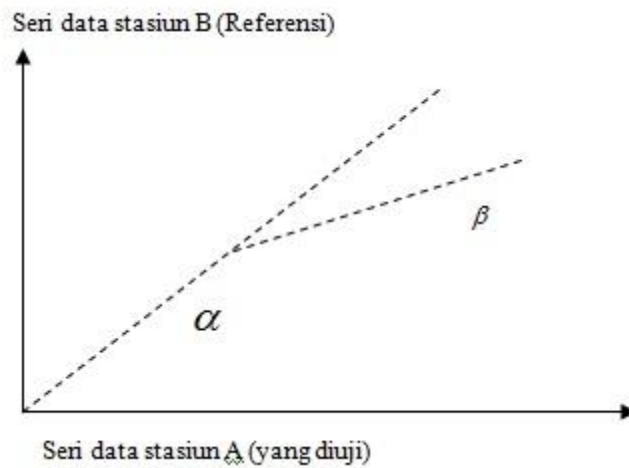
Uji konsistensi data dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran data lapangan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor (Kamiana, 2011) :

- Spesifikasi alat penakar berubah
- Tempat alat pengukur pindah
- Perubahan lingkungan disekitar alat pesawat

Jika dari hasil pengujian ternyata data adalah konsisten artinya tidak terjadi perubahan lingkungan dan cara penakaran, sebaliknya jika ternyata data tidak konsisten artinya terjadi perubahan lingkungan dan cara penakaran. Cara pengujian konsistensi data hujan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya (Kamiana, 2011) :

##### **a. Metode Curve Massa Ganda**

Dalam metode ini nilai kumulatif seri data yang diuji (stasiun A misalnya), dibandingkan dengan seri data kumulatif data dari stasiun referensi (stasiun B misalnya). Stasiun referensi dapat berupa rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Nilai kumulatif seri data digambarkan pada grafik sistem koordinat kartesius (X-Y). Kurva yang terbentuk kemudian diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan. Jika kurva berbentuk garis lurus artinya data A konsisten. Sebaliknya jika terjadi perubahan/patahan kemiringan bentuk kurve, artinya data A tidak konsisten dan perlu dilakukan koreksi (mengalikan atau membagi data sebelum atau sesudah perubahan/patahan) dengan faktor koreksi :



Gambar II.5 Sketsa Analisa kurva masa ganda stasiun A dan B (Kamiana, 2011)

$\beta$  = Kemiringan kurva setelah patahan

$\alpha$  = Kemiringan kurva sebelum patahan

$\frac{\beta}{\alpha}$  = Faktor Koreksi (II.7)

b. *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS)

Dalam metode ini, konsistensi data hujan ditunjukkan dengan nilai kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata berdasarkan persamaan berikut :

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad (\text{II.8})$$

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{N} \quad (\text{II.9})$$

Dengan  $k = 1, 2, \dots, N$ ; pada saat  $k=0$  maka  $S_k^*$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \quad (\text{II.10})$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \quad (\text{II.11})$$

Keterangan Rumus:

$S_k^*$  = nilai kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata.

$Y_i$  = nilai data Y ke-i

$\bar{Y}$  = nilai Y rata-rata

$N$  = Jumlah data  $Y$

$S_k^{**}$  = Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)

$D_y$  = deviasi standar seri data  $Y$ .

Setelah nilai  $S_k^{**}$  diperoleh untuk setiap  $k$ , tentukan nilai  $Q$  dan  $R$  terhitung dengan rumus:

$$Q = |S_k^{**}|_{maks} \text{ atau } R = S_k^{**} \text{ maks} - S_k^{**} \text{ min} \quad (\text{II.12})$$

Bandingkan, untuk jumlah data ( $N$ ) dan derajat kepercayaan  $\alpha$  tertentu, nilai-nilai dibawah ini:

- $Q$  terhitung dengan  $Q_{kritis}$
- $R$  terhitung dengan  $R_{kritis}$

Nilai  $Q_{kritis}$  dan  $R_{kritis}$  dapat dilihat dalam Tabel di lampiran

Jika :

- $Q$  terhitung  $< Q_{kritis}$  atau
- $R$  terhitung  $< R_{kritis}$

Maka seri data yang dianalisis adalah konsisten.

### II.6.5 Probabilitas Distribusi

Proses pemilihan sebuah distribusi tidak memiliki suatu dasar prioritas, juga tidak ada distribusi tunggal yang dapat dipakai untuk semua jenis aliran. Biasanya jenis distribusi yang dipilih adalah yang cocok dengan data pengamatan yang berada di dalam batas-batas kriteria yang masih diperkenankan.

Distribusi probabilitas adalah bentuk *real* (nyata) dari suatu “kesempatan kejadian” atau probabilitas kebutuhan yang diinginkan. Dengan menggunakan distribusi probabilitas, keputusan yang dibuat akan lebih merefleksikan kondisi hidrologi yang terjadi di alam sebenarnya. Berikut ini adalah jenis-jenis distribusi probabilitas (Kamiana, 2011):

1. Distribusi normal
2. Distribusi log-normal
3. Distribusi gamma
4. Distribusi Log Pearson III

### II.6.5.1 Distribusi Normal

Distribusi normal atau dikenal sebagai distribusi *Gauss* merupakan distribusi probabilitas yang paling sering dipergunakan. Distribusi ini dicirikan oleh adanya rerata ( $\mu$ ) dan simpangan baku atau standar deviasi ( $\sigma$ ). Probabilitas distribusi kontinu merupakan luas daerah dibawah garis kurva. Probabilitas suatu variabel dengan nilai antara a dan b adalah luas daerah yang dibatasi garis a dan b. Luas yang tercakup dalam batas-batas tersebut dapat dicari pada tabel distribusi normal. Setiap fenomena yang berdistribusi normal, kemudian dapat dikalibrasi dengan distribusi normal standar, sehingga probabilitasnya dengan mudah dapat dihitung. Tabel distribusi normal berisi luas daerah yang dibatasi oleh rerata dan standar deviasinya (simbol 'z').

Jadi nilai z adalah perbedaan antara data (X) dengan rerata dari seluruh nilai yang ada, dibagi dengan standar deviasi, yaitu (Kamiana, 2011):

$$z = \frac{(X - \mu)}{\sigma} \quad (\text{II.13})$$

dengan :

$\sigma$  = Standar deviasi populasi

$\mu$  = Rata-rata populasi

z = Fungsi peluang

X = Data

Distribusi Normal mempunyai persamaan atau *probability density function (pdf)* sebagai berikut (Kamiana, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (\text{II.14})$$

dengan :

$\sigma$  = Standar deviasi populasi

$\mu$  = Rata-rata populasi

Sedangkan fungsi distribusi normal s dinyatakan oleh persamaan:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \quad (\text{II.15})$$



Jika fungsi di atas diplotkan pada kertas probabilitas, akan diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$x = \bar{X} + z \times S \quad (\text{II.16})$$

dengan :

$S$  = Standar deviasi sampel

$\bar{X}$  = Rata-rata sampel

Standar deviasi sampel ditentukan oleh persamaan berikut:

$$S = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{II.17})$$

### II.6.5.2 Distribusi Log Normal

Distribusi Log-Normal disebut juga sebagai *Galton-McAlister distribution*, *Kapteyn distribution* atau *Gilbrat distribution*. Fungsi kerapatan probabilitas dan fungsi distribusi kumulatif dari distribusi log-normal ditentukan dengan prinsip yang sama dengan distribusi normal. Fungsi kerapatan probabilitas dari distribusi log-normal adalah (Kamiana, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\log x \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log(x-\mu))^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{II.18})$$

Distribusi ini merupakan bentuk logaritma dari distribusi normal, yaitu bila  $y = \log x$  didistribusikan secara normal. Distribusi ini lebih baik daripada distribusi normal karena transformasi ke bentuk logaritma akan mengurangi tendensi kemencengan positif yang umum dijumpai dalam data hidrologi. Persamaan garis lurusnya adalah:

$$\log X = \bar{X}_{\log x} + k \times S_{\log x} \quad (\text{II.19})$$

dengan :

$S_{\log x}$  = Standar deviasi dari nilai  $\log X$

$\bar{X}_{\log x}$  = Rata-rata dari nilai  $\log X$

$k$  = Fungsi probabilitas

### II.6.5.3 Distribusi Gamma

Fungsi Gamma didefinisikan sebagai:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx, \text{ untuk } \alpha > 0 \quad (\text{II.20})$$

Variabel acak kontinu X berdistribusi gamma dengan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$ , mempunyai fungsi kerapatan probabilitas sebagai berikut (I Made Kamiana, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \text{ } x > 0, \text{ bila } \alpha > 0 \text{ dan } \beta > 0 \quad (\text{II.21})$$

$f(x) = 0$  untuk x lainnya

Nilai rata-rata ( $\mu$ ) dan variansi ( $\sigma^2$ ) dari distribusi gamma adalah:

$$\mu = \alpha \beta \quad (\text{II.22})$$

$$\sigma^2 = \alpha \beta^2 \quad (\text{II.23})$$

### II.6.5.4 Log Pearson III

Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran Log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik. Metode Log-Pearson tipe III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

$$Y = \bar{Y} + K.S \quad (\text{II.24})$$

Dimana :

Y = nilai Logaritmik dari X atau log (X)

X = data curah hujan

$\bar{Y}$  = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

S = deviasi standar nilai Y

K = karakteristik distribusi peluang Log-Pearson tipe III

## II.6.6 Uji Distribusi Probabilitas

Untuk mengetahui distribusi peluang yang sesuai maka dilakukan uji *goodness-of-fit*. Uji *goodness-of-fit* dilakukan untuk menentukan tingkat kesesuaian antara sampel dengan suatu distribusi teoritis. Dalam pengujian ini dilakukan pengujian hipotesis, yaitu  $H_0$  jika sampel berasal dari distribusi teoritis yang diuji dan  $H_1$  jika sampel bukan berasal dari distribusi teoritis yang diuji. Untuk menguji hipotesis, maka ada dua jenis uji yang dapat dipergunakan, yaitu uji  $X^2$  dan uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S). Faktor-faktor yang menentukan jenis pengujian yang dilakukan adalah (Kamiana, 2011):

- Distribusi teoritis yang akan diuji, apakah merupakan distribusi diskrit atau kontinu. Uji *chi kuadrat* atau Uji  $X^2$  lebih sesuai untuk menguji fungsi distribusi diskrit, sedangkan uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) lebih sesuai untuk menguji fungsi distribusi kontinu dengan nilai parameter telah diketahui atau tidak.
- Parameter distribusi teoritis tersebut telah diketahui atau tidak diketahui (diperkirakan dari sampel).
- Jumlah data. Untuk uji *chi kuadrat* atau uji  $X^2$ , agar hasil uji tersebut dapat dipercaya dibutuhkan minimal empat data berbeda untuk variabel diskrit atau empat kelas data yang berbeda untuk variabel kontinu dengan frekuensi setiap data minimal empat. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka dilakukan uji K-S (tidak tergantung jumlah data).

### 1. Uji *Chi-Kuadrat*

Hasil pengamatan tidak selalu tepat dengan hasil teoritis yang diharapkan, sehingga untuk mengetahui distribusi yang sesuai perlu mengetahui berapa besar perbedaan yang terjadi antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan berdasarkan distribusi teoritis. Untuk mengukur perbedaan tersebut digunakan uji  $X^2$ . Jadi uji  $X^2$  mengukur perbedaan relative antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan berdasarkan distribusi teoritis.

Besar perbedaan antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan berdasarkan distribusi teoritis dinyatakan sebagai  $X^2$  yang ditentukan dengan persamaan berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (\text{II.25})$$

$$E_i = nP_i \quad (\text{II.26})$$

Keterangan :

- O<sub>i</sub> = frekuensi hasil pengamatan
- E<sub>i</sub> = frekuensi yang diharapkan
- n = jumlah data
- P<sub>i</sub> = peluang dari distribusi teoritis

Jika nilai  $X^2 = 0$ , maka frekuensi hasil pengamatan dan frekuensi yang diharapkan dari distribusi teoritis tepat sama. Namun jika nilai  $X^2 > 0$  maka frekuensi hasil pengamatan dan frekuensi yang diharapkan dari distribusi teoritis tidak sama. Semakin besar nilai  $X^2$  maka semakin besar pula perbedaan.

Setelah nilai  $X^2$  dihitung, selanjutnya nilai  $X^2$  tersebut dibandingkan dengan nilai  $X^2$  dari distribusi teoritis (tabel *Chi-kuadrat*) pada derajat kebebasan dan derajat kepercayaan tertentu. Besar derajat kebebasan yang dipergunakan ditentukan sebagai berikut :

- $v = k - 1$  jika frekuensi yang diharapkan dihitung tanpa harus mengestimasi parameter sampel.
- $v = k - 1 - m$  jika frekuensi yang diharapkan hanya dapat dihitung dengan mengestimasi  $m$  parameter sampel.

H<sub>0</sub> diterima jika nilai  $X^2$  hasil perhitungan lebih kecil dari nilai  $X_0^2$  pada derajat kepercayaan  $\alpha$  tertentu (biasanya 0,05).

$$P(X^2 \leq X_0^2) = 1 - \alpha \quad (\text{II.27})$$

## 2. Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) menetapkan suatu titik dimana terjadi penyimpangan terbesar antara distribusi teoritis dengan sampel. Bila  $F_0(X)$  adalah suatu fungsi distribusi peluang kumulatif yang ditentukan atau distribusi teoritis dan  $S_N(X)$  adalah distribusi kumulatif sampel, maka diharapkan untuk setiap harga  $X$ ,  $F_0(X)$  harus mendekati  $S_N(X)$ . Artinya diharapkan selisih antara  $F_0(X)$  dan  $S_N(X)$  relatif kecil dan masih dalam batas-batas kesalahan random sehingga

dapat dikatakan kedua fungsi tersebut identik. Dengan kata lain, distribusi yang diajukan dapat mewakili data pengamatan atau sampel. Uji K-S ini menguji penyimpangan terbesar yaitu (Kamiana, 2011):

$$D_N = \text{Maks} | F_0(X) - S_N(X) | \quad (\text{II.28})$$

Data diurutkan dari nilai terkecil ke nilai terbesar sebelum data diuji. Peluang dari hasil pengurutan tersebut ( $S_N(X)$ ), kemudian dapat dihitung dengan beberapa metode (Kamiana, 2011):

1. Metoda California :

$$P(X \leq x) = m/N \quad (\text{II.29})$$

2. Metoda Hazen :

$$P(X \leq x) = (2m - 1) / 2N \quad (\text{II.30})$$

3. Metoda Bernard dan Bos-Levenbach :

$$P(X \leq x) = (m - 0,3) / (N + 0,4) \quad (\text{II.31})$$

4. Metoda Weibull :

$$P(X \leq x) = m / (N+1) \quad (\text{II.32})$$

Dimana

$m$  = nomor urut kejadian

$N$  = jumlah data observasi

$P(X \leq x)$  = peluang terjadinya kejadian yang nilainya lebih kecil atau sama dengan  $x$

Dari metoda tersebut, metoda *Weibull* merupakan yang paling sering dipergunakan dalam analisis peluang dan periode ulang hidrologi. Jika  $D_N$  telah dihitung, selanjutnya dibandingkan dengan  $D_o$  tabel.  $H_o$  diterima jika  $D_N$  lebih kecil dari  $D_o$  pada derajat kepercayaan tertentu.

$$P(D_N \leq D_o) = 1 - \alpha$$

## II.6.7 Intensitas Hujan Maksimum

### II.6.7.1 Periode Ulang

Periode Ulang adalah waktu hipotetik dimana suatu kejadian dengan nilai tertentu, hujan rencana misalnya, akan disamai atau dilampaui 1 kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut. Hal ini Tidak berarti bahwa hujan rencana akan berulang secara

teratur setiap periode ulang tersebut. Periode ulang dari suatu fenomena hidrologi adalah rata-rata rentang waktu yang diperlukan dimana suatu nilai dari suatu kejadian akan disamai atau dilampaui sekali. Jika periode ulang suatu nilai kejadian adalah sepuluh tahun maka nilai kejadian tersebut akan terjadi sekali dalam sepuluh tahun. Rata-rata disini menunjukkan bahwa nilai atau kejadian tersebut secara kronologis tidak harus terjadi setiap sepuluh tahun sekali, tetapi akan terjadi misalnya sepuluh kali dalam seratus tahun (Kamiana, 2011).

Dalam analisa frekuensi selalu ditentukan periode ulang kejadian yang akan ditinjau. Bila suatu kejadian adalah sama atau kurang dari  $x$  terjadi sekali dalam  $T$  tahun maka probabilitas kejadian adalah sama dengan satu dalam  $T$  kasus (Kamiana, 2011).

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T}, \quad \text{atau} \quad (\text{II.33})$$

$$T = \frac{1}{P(X \leq x)} = \frac{1}{1 - P(X \geq x)} \quad (\text{II.34})$$

### II.6.7.2 Intensitas Hujan Maksimum Periode Ulang

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Rumus yang digunakan dipakai jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian (Sosrodarsono, 2003):

$$I = \frac{R_{24}}{24} x \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (\text{II.35})$$

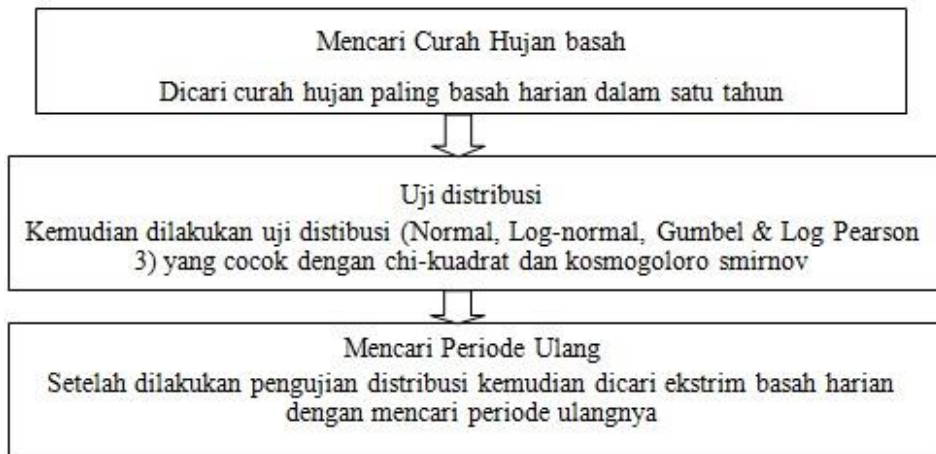
Dimana :

$I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)

$t$  = lamanya curah hujan (jam)

$R_{24}$  = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Diagram Alir mencari curah hujan maksimum Periode ulang di perlihatkan pada Gambar II.6.



Gambar II.6 Diagram Alir mencari curah hujan maksimum Periode ulang (Arwin, 2009)

### II.6.7.3 Intensitas Hujan Maksimum Metode Hershfield

Metode Hershfield (1961, 1986) merupakan prosedur statistik yang digunakan untuk memperkirakan nilai hujan maksimum boleh jadi. Metode ini digunakan untuk kondisi dimanadata meteorologi sangat kurang atau perlu perkiraan secara cepat. Hershfield mengembangkan rumus frekuensi Chow (Puslitbang Air, 2004):

$$X_m = \bar{X}_p + K_m S_p \quad (\text{II.36})$$

a) Perhitungan nilai  $\bar{X}_p$ , persamaan yang digunakan :

$$\bar{X}_p = \bar{X}_n \cdot f_1 \cdot f_2 \quad (\text{II.37})$$

Keterangan :

$\bar{X}_n$  adalah rata-rata data hujan maksimu tahunan yang telah lolos penyaringan

$f_1$  adalah faktor penyesuain terhadap pengamatan

f2 adalah faktor penyesuaian terhadap panjang data

b) Perhitungan nilai Km (lihat gambar II.7)

c) Perhitungan nilai Sp, persamaan yang digunakan :

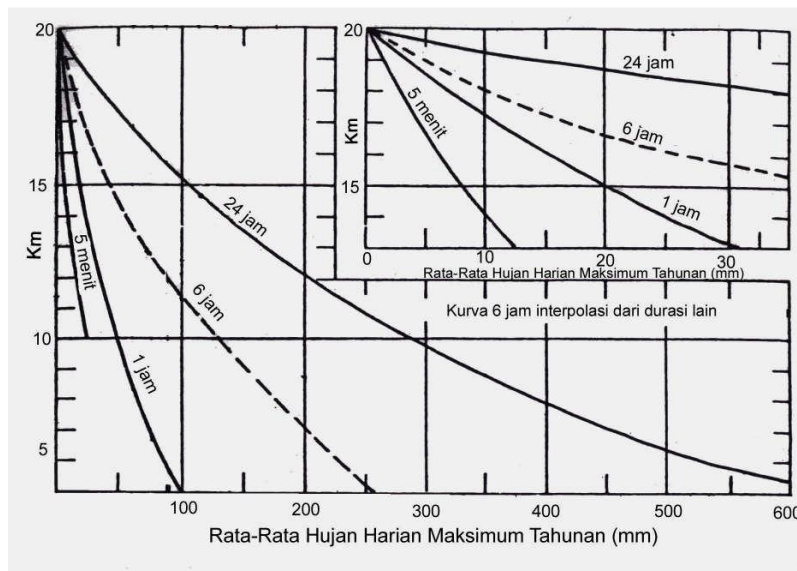
$$S_p = S_n \cdot f_3 \cdot f_4 \quad (\text{II.38})$$

Keterangan :

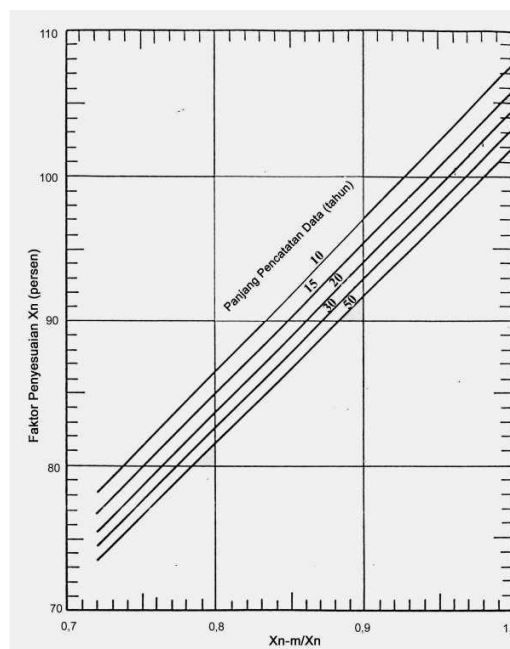
f4 adalah faktor penyesuaian terhadap panjang data (Gambar II.8)

Sn adalah simpangan baku dari data hujan harian maksimum tahunan

f3 adalah faktor penyesuaian terhadap pengamatan maksimum



Gambar II.7 Menentukan Harga Km (Puslitbang Air, 2004)

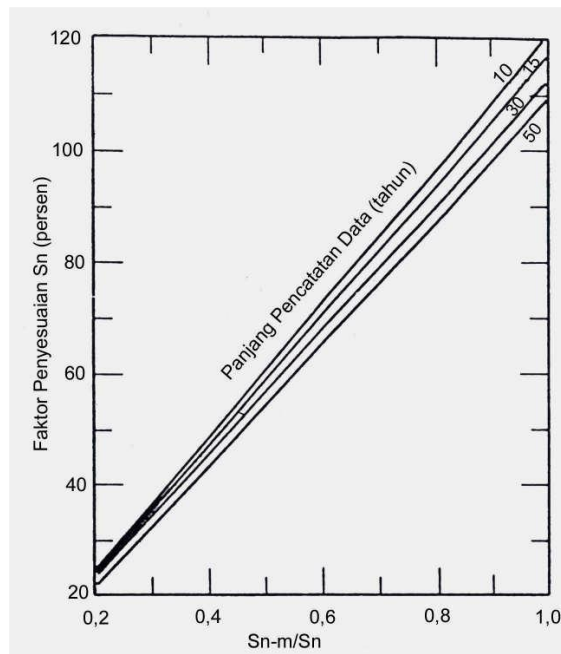




Gambar II.8 Faktor Penyesuaian rata-rata terhadap pengamatan maksimum  
(Puslitbang Air, 2004)

Keterangan gambar :

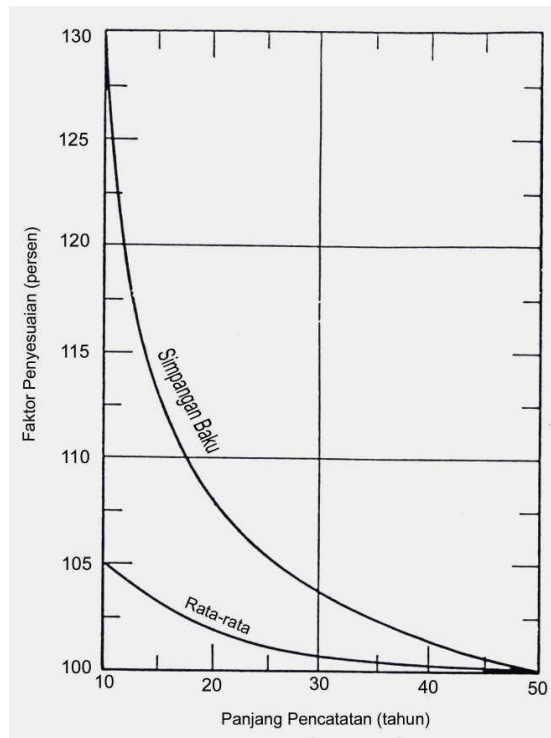
1.  $X_n$  adalah rata-rata hujan harian maksimum tahunan
2.  $X_{n-m}$  adalah rata-rata hujan harian maksimum tahunan tanpa nilai maksimum
3. Faktor penyesuaian  $X_n$  (persen) adalah  $f_1$



Gambar II.9 Faktor penyesuaian simpangan baku terhadap pengamatan maksimum  
(Puslitbang Air, 2004)

Keterangan gambar :

1.  $S_n$  adalah simpangan baku
2.  $S_{n-m}$  adalah simpangan baku tanpa nilai maksimum
3. Faktor penyesuaian  $S_n$  (persen) adalah  $f_3$



Gambar II.10 Faktor penyesuaian rata-rata dan simpangan baku terhadap panjang pengamatan data (Puslitbang Air, 2004)

Keterangan gambar :

1. Faktor penyesuaian rata-rata adalah  $f_2$
2. Faktor penyesuaian simpangan baku adalah  $f_4$

### II.6.8 Hujan Wilayah

Pengukuran hujan di stasiun-stasiun hujan merupakan hujan titik (*point rainfall*), sedangkan informasi yang dibutuhkan dalam analisis adalah hujan yang terjadi dalam suatu DAS tertentu (*catchment rainfall*). Untuk memperkirakan hujan rata-rata DAS dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut ini (Linsley, 1991):

- a. Metode Aritmatik Aljabar

Metode ini merupakan perhitungan hujan wilayah dengan rata-rata aljabar curah hujan di dalam dan wilayah sekitar yang bersangkutan.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (\text{II.39})$$

Keterangan:

$\bar{R}$  = curah hujan rata-rata wilayah atau daerah

$R_i$  = curah hujan di stasiun pengamatan ke-i

n = jumlah stasiun pengamatan

Hasil perhitungan yang diperoleh dengan cara aritmatik ini hampir sama dengan cara lain apabila jumlah stasiun pengamatan cukup banyak dan tersebar merata di seluruh wilayah. Keuntungan perhitungan dengan cara ini adalah lebih objektif.

#### b. Metode Polygon Thiessen

Metode perhitungan berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun hujan terdekat, dapat dilihat pada gambar II.10. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa variasi hujan antara stasiun hujan yang satu dengan lainnya adalah linear dan stasiun hujannya dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (Suripin, 2004). Metode ini cocok jika stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobot atau koefisien Thiessen. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien thiessen dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

$$C = \frac{A_1}{A_{total}} \quad (\text{II.40})$$

Keterangan:

C = Koefisien Thiessen

A<sub>i</sub> = Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan i (km<sup>2</sup>)

A<sub>total</sub> = Luas total dari DAS (km<sup>2</sup>)

Langkah-langkah metode thiessen sebagai berikut :

1. Lokasi stasiun hujan di plot pada peta DAS. Antar stasiun dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikianrupa, sehingga membentuk poligon thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap stasiun lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada stasiun tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan luas poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan rumus (Soemarto, 1999) :

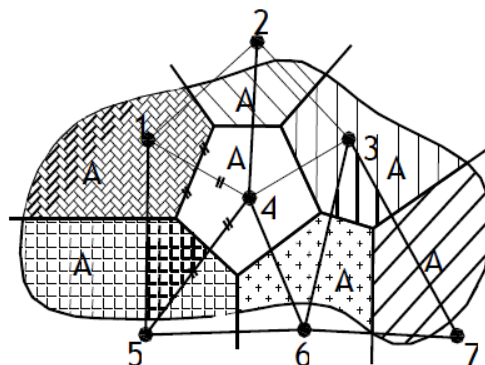
$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot R_i}{A} \quad (\text{II.41})$$

Keterangan:

$\bar{R}$  = curah hujan rata-rata wilayah atau daerah

A<sub>i</sub> = luas wilayah pengaruh dari stasiun pengamatan ke-i

A = luas total wilayah pengamatan



Gambar II.11 Metode Polygon Thiessen (Soemarto, 1999)

Metode ini akan memberikan hasil yang lebih teliti daripada cara aritmatik, akan tetapi penentuan stasiun pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi ketelitian hasil. Metode ini termasuk memadai untuk menentukan curah hujan suatu wilayah, tetapi hasil yang akan ditentukan oleh sejauh mana penempatan stasiun pengamatan hujan mampu mewakili daerah pengamatan.

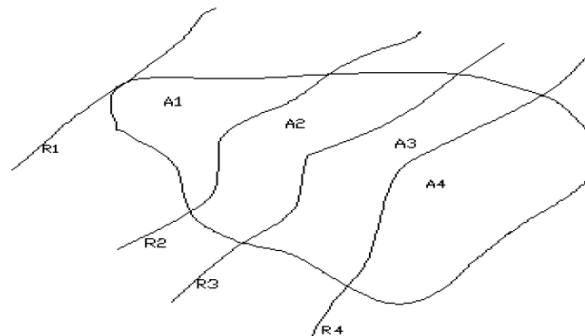
c. Metode PMP Isohyet

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Pada setiap titik di suatu kawasan dianggap hujan sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili suatu luasan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat

Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapat hujan areal rata – rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang *relative* lebih padat yang memungkinkan untuk membuat isohyet. Sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik). Untuk lebih jelasnya mengenai metode ini dapat diilustrasikan pada gambar II.12 dibawah ini.



Gambar II.12 Metode Polygon Isohyet (Sosrodarsono dan Takeda, 1976 )

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{R_{i-1} + R_i}{2} \right) A_i}{A} \quad (\text{II.42})$$

Keterangan:

$\bar{R}$  = curah hujan rata-rata wilayah atau daerah

$R_i$  = curah hujan di stasiun pengamatan ke-i

$R_{i-1}$  = curah hujan di stasiun pengamatan ke-i-1

## II.7 Penelusuran Debit Rencana Banjir

### II.7.1 Metode Rasional

Metode Rasional merupakan rumus yang tertua dan yang terkenal diantara rumus-rumus empiris. Metode Rasional dapat digunakan untuk menghitung debit puncak sungai atau aluran namun dengan daerah pengaliran yang terbatas (Kamiana, 2011) . Metode Rasional dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 300 ha (Suripin, 2004). Metode Rasional juga dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 2,5 km<sup>2</sup> (Bambang T, 2008).

$$Q = 0,278 \times I_T \times \left( \sum A_1 \times C_1 \right) \quad (\text{II.43})$$

Keterangan :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

I<sub>T</sub> = Intensitas curah hujan (mm/jam)

a. Curah Periode ulang

b. Curah Hujan Hersfield

A<sub>1</sub> = Luas sub daerah pengaliran ke – i

$C_1$  = Koefisien limpasan sub daerah ke -i

$$t_c = \left( \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times \bar{S}} \right)^{0,385} \quad (II.44)$$

Keterangan :

$T_c$  = Waktu Konsentrasi (jam)

$L$  = Panjang sungai (km<sup>2</sup>)

$\bar{S}$  = Kemiringan Rata-rata

## II.8 Konsep Keandalan Alokasi Air Baku Sistem Penyediaan Air Minum

Ketersediaan infrastruktur yang memadai dan berkesinambungan merupakan kebutuhan mendesak untuk mendukung pelaksanaan manajemen air yang berkelanjutan. Salah satu infrastruktur air minum di kawasan pemukiman perkotaan yang sangat penting adalah Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM). Pengelolaan air berkelanjutan semakin hari semakin mendapatkan tantangan seiring dengan kebutuhan air yang semakin meningkat dan berdampak terhadap kualitas dan kuantitas air baku. Fenomena rezim hidrologi pun berubah, yang ditandai dengan ekstrimitas debit yang meningkat yaitu banjir jika musim penghujan dan kekeringan di musim kemarau.

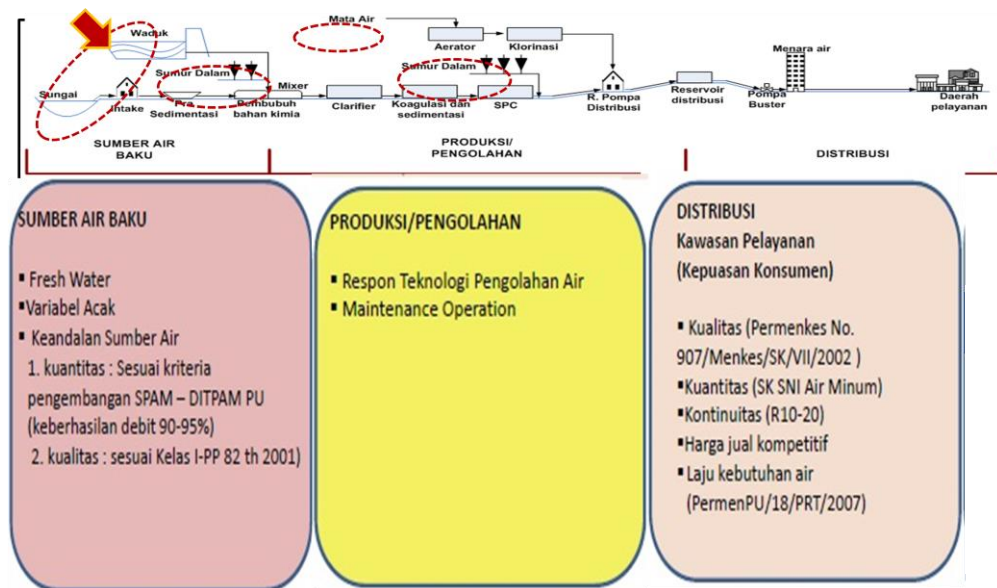
Menurut UU No.7 tahun 2004 pasal 34 ayat (1): pengembangan sumber daya air ditujukan untuk kemanfaatan sumber daya air memenuhi kebutuhan air baku untuk rumah tangga (domestik), pertanian (irigasi), industry dan untuk berbagi keperluan lainnya. Pengembangan sumber air baku dari sungai, perlu dibangun suatu kriteria desain air baku terutama untuk air baku sektor DMI dan irigasi. Sebagai pedoman dapat digunakan kriteria desain air baku, yakni memodifikasi keandalan debit air digunakan pada Table II.2 di bawah ini:

Tabel II.2 Kriteria Teknis Alokasi Air Baku (Arwin, 2009)

Sumber Air Sungai	Desain Sumber Air Baku			
Debit Air Suksesif Kering	DMI (Domestik Municipality Industri)		Irigasi	
	1-30 hari	R =10-20 thn	15-30 hari	R=5 thn

Dari data pengamatan debit massa air disusun debit minimum suksesif dengan durasi (1, 2, 7, 15, 30, dan 60) hari yang terjadi pada periode musim-musim kering, masing-masing rangkaian data dengan durasi (1, 2, 7, 15, 30, dan 60) hari dilakukan tes kecocokan distribusi teoritis dengan tes *goodness-of-fit*. Setelah mengetahui distribusi teoritis yang cocok, dilakukan perhitungan debit rencana sesuai periode ulang 2, 5, 10, 15, 20, dan 50 tahun dan selanjutnya dibuat kurva debit keandalan debit air pada musim-musim kemarau, menggunakan kriteria teknis alokasi air baku.

Kriteria desain pengembangan SPAM dapat dibagi dalam 3 (tiga) komponen yaitu: komponen pelayanan, pengolahan air dan sumber air baku, seperti yang tertera dalam Gambar II.13 di bawah ini:



Gambar II.13 Kriteria desain pengembangan SPAM (Arwin, 2009)

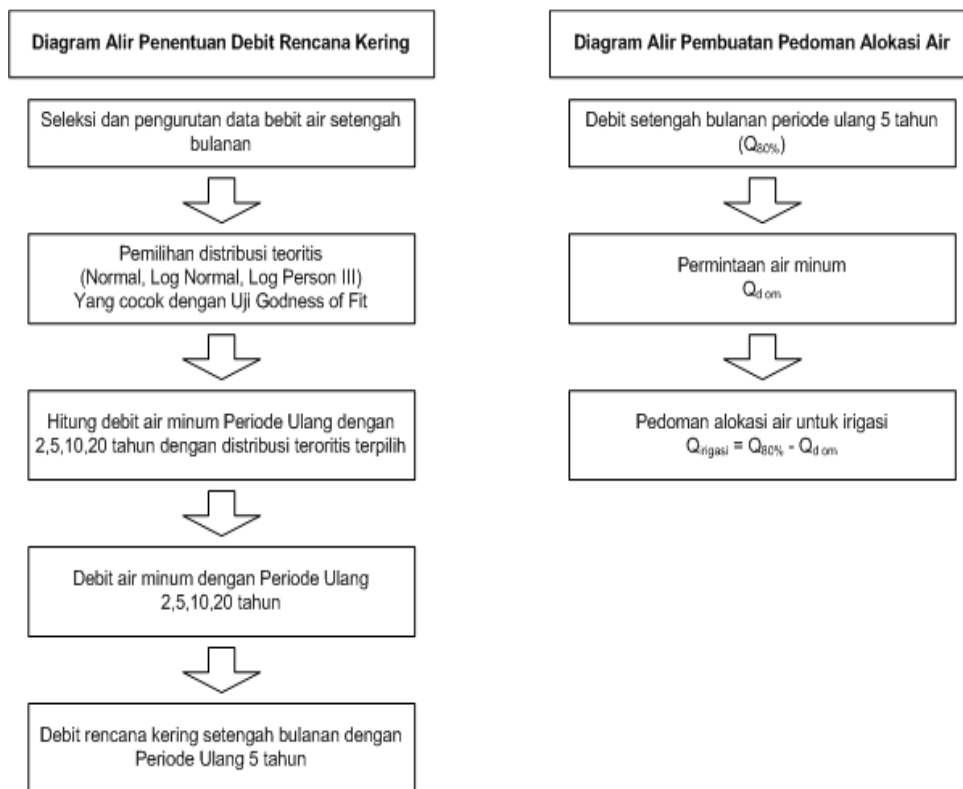
Keberhasilan pelayanan air bersih sangat tergantung pada keandalan sumber air baku yaitu kualitas dan kontinuitas sumber air baku tersebut. Sumber air baku terdiri dari air tanah, mata air, air sungai dan waduk.



## II.9 Pedoman Alokasi Sumber Air Untuk Sektor DMI & Irigasi

UUD pasal 33 ayat 3: Air dan tanah digunakan sebesar-besarnya untuk kepentingan rakyat banyak (antara lain: kebutuhan air pokok sektor irigasi dan *Domestic Municipality Industry*, dst) Kebutuhan air baku untuk sektor DMI dan sektor irigasi merupakan kebutuhan pokok sedangkan Sumber air terbatas, seiring perkembangan permukiman perkotaan laju kebutuhan air (DMI) meningkat pesat sehingga sangat logis dan adil bila berbagai sumber air (DMI dan irigasi) sesuai UUD pasal 33 ayat 3 perlu berbagai sumber air sehingga perlu dibuat Pedoman alokasi air berdasarkan ketentuan baku Departemen PU Dirjen SDA dan Dirjen Cipta Karya (Arwin, 2009).

Pedoman Alokasi Sumber Air Untuk Sektor DMI & Irigasi diperlihatkan pada Gambar II.14.



Gambar II.14 Diagram alir pedoman alokasi air sungai untuk irigasi dan DMI (Arwin, 2009)

## **II.10 Debit Andalan, Debit Rencana dan Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah**

### **II.10.1 Debit Andalan Metode Statistik Historik**

Probabilitas keandalan sebuah data dari sejumlah data adalah nilai probabilitas kejadian dimana nilai yang terjadi adalah sama dengan atau lebih dari nilai data tersebut, atau ditulis  $P(X \geq x)$  (Kamiana, 2011).

Untuk menghitung probabilitas keandalan sebuah data dapat digunakan rumus probabilitas keandalan Weibull. Rumus probabilitas Weibull menunjukkan nilai probabilitas (setelah data diurutkan dari besar ke kecil) kejadian lebih besar dari nilai tersebut.

Rumus probabilitas Weibull :

$$P(X \geq x) = \frac{m_x}{n + 1} \quad (\text{II.45})$$

$P(X \geq x)$  : nilai probabilitas kejadian seluruh kejadian (X) lebih besar atau sama dengan data x

$m_x$  : ranking data x tersebut, setelah diurutkan dari terbesar ke terkecil

$n$  : jumlah total data

Kemudian dihitung rerata debitnya nilai rerata debit yang mampu memenuhi kebutuhan air *downstream* merupakan debit andalan.

### **II.10.2 Debit Rencana Metode Statistik Teoritik**

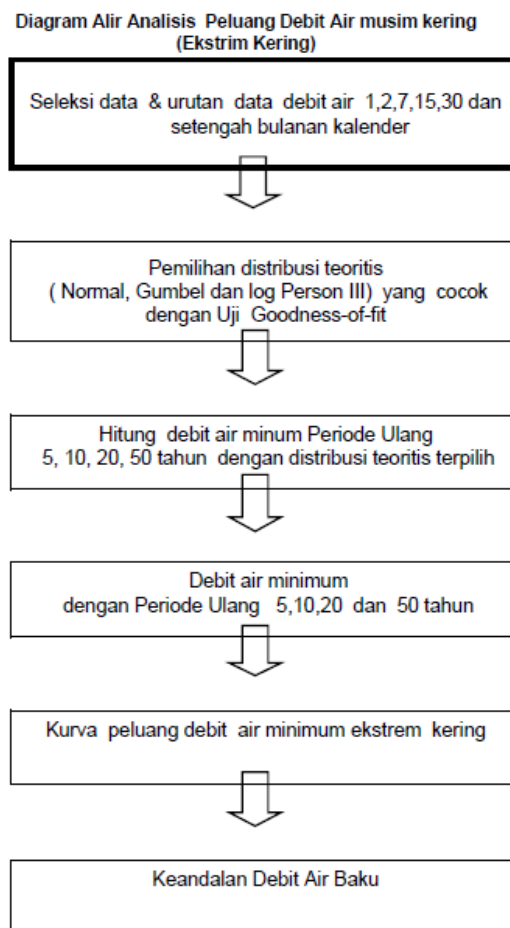
Penentuan Pedoman Alokasi Sumber Air Untuk Sektor DMI digunakan dengan mencari distribusi (Normal, Log-normal, Gumbel dan Log Pearson III) yang cocok dengan uji yang cocok dengan uji chi-kuadrat dan Kolmogorov-Smirnov dari hasil uji distribusi yang diperoleh kemudian dicari debit rencana periode ulang. Untuk kebutuhan air minum debit rencana yang digunakan merupakan debit rencana kering periode ulang 10 & 20 tahun sesuai dengan peraturan yang ditetapkan kementerian Pekerjaan Umum. Pada Gambar II.5 diperlihatkan diagram perhitungan debit andalan.

### II.10.3 Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah Metode Diskrit Markov

Untuk penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan metode Diskrit Markov, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menyusun data debit yang telah lengkap dari besar kekecil kemudian tahap selanjutnya membagi data debit tersebut kedalam tiga kelas kering, normal dan basah. Selanjutnya dibuat matriks transisi tiga kelas orde satu tahunannya untuk memprakirakan tahun kering, normal dan basah.

### II.11 Analisis Aliran Rendah untuk *Maintenance* Sungai

Perhitungan analisis aliran rendah untuk *maintenance* sungai dilakukan dengan metode Teoritik seperti yang sudah dijelaskan pada Gambar II.15. Perhitungan ini dilakukan untuk debit air paling minimum dalam satu tahun dengan periode ulang hingga 1000 tahun. Nilai debit antara periode ulang 100 dan 1000 tahun yang biasanya digunakan untuk menentukan debit pemeliharaan sungai.



Gambar II.15 Diagram alir Analisis Peluang Debit Air Musim Kering

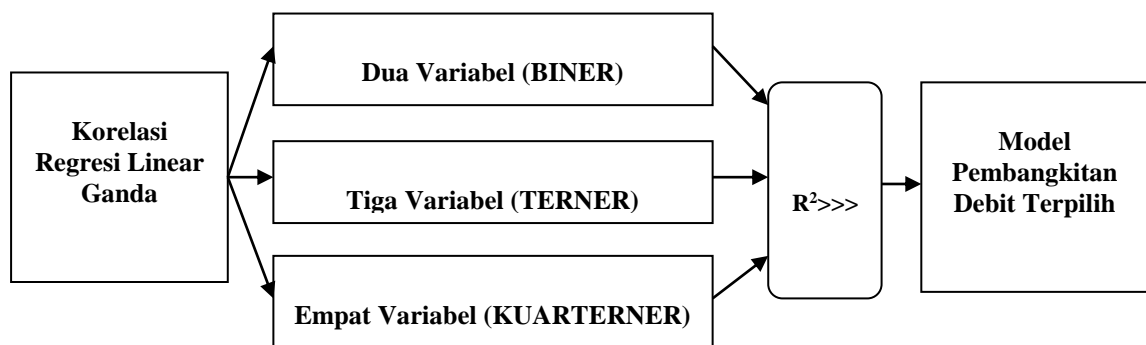
(Arwin, 2009)

## II.12 Model Prakiraan Ketidakpastian Debit Masa Depan

### II.12.1 Model Kontinu Ketertautan Spasial Curah Hujan - Debit

Hubungan hujan dan debit sungai merupakan dasar peramalan yang tepat untuk pengoperasian proyek-proyek pengembangan sumber daya air dan perluasan data debit aliran sungai. Data pengukuran debit sungai sering kali tidak lengkap. Salah satu cara yang digunakan untuk melengkapinya adalah dengan cara regresi linier berganda menggunakan korelasi sparsial  $F(x,y,z,t)$  komponen utama hidrologi (P dan Q), (Arwin, 2002).

Model kontinu prakiraan debit menggunakan metode korelasi regresi linier ganda (Arwin, 2002) dibangun berdasarkan korelasi antara dua variabel acak, yaitu data stasiun pengamat hujan (P) dan data stasiun pengamat debit (Q). Model dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) terbesar dipilih sebagai model yang paling baik untuk membangun data debit (Gambar II.16).

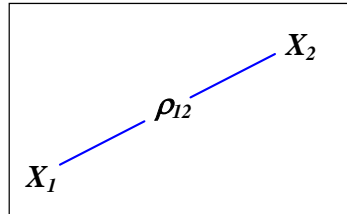


Gambar II.16 Model kontinu prakiraan debit masa depan (Arwin, 2002)

Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa model korelasi sederhana yang melibatkan empat variabel hidrologi lebih efektif dalam menentukan hubungan antara variasi hujan dan debit. Hubungan dengan lebih dari empat variabel tidak memberikan efek yang berarti artinya kenaikan koefisien determinasinya relatif kecil (Arwin, 2002).

#### a. Model Biner (Korelasi Dua Variabel Acak)

Model kontinu biner terdiri dari dari dua variabel (stasiun) yaitu satu stasiun penjelas ( $X_2$ ) untuk dapat menjelaskan satu stasiun lainnya ( $X_1$ ). Skema korelasi antara kedua stasiun tersebut dijelaskan pada Gambar II.17.



Gambar II.17 Tipe korelasi biner (Arwin, 2002)

Persamaan regresi linier dari model biner dinyatakan sebagai berikut :

$$x_1 = r_2x_2 + \varepsilon \tag{II.46}$$

Koefisien determinasi dari korelasi kedua variabel tersebut dan galat dinyatakan sebagai berikut :

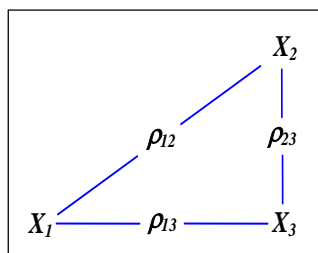
$$R = \rho_{12} \tag{II.47}$$

$$\varepsilon^2 = 1 - R^2 \tag{II.48}$$

Terdapat dua tipe model biner yaitu model biner tipe Curah Hujan-Debit  $P(Q_1)$  dan model biner tipe Debit-Debit  $Q(Q_1)$ .

b. Model Terner (Korelasi Tiga Variabel Acak)

Model kontinu terner terdiri dari 3 (tiga) variabel siklus hidrologi tipe ketautan



Gambar II.18 Tipe Korelasi Terner (Arwin, 2002)

model terner terdiri dari dua stasiun penjelas ( $X_2$  dan  $X_3$ ) untuk menjelaskan satu stasiun yang dijelaskan ( $X_1$ ). Skema korelasi antara ketiga stasiun tersebut dijelaskan pada Gambar II.18

Persamaan regresi linier dari model terner dinyatakan sebagai berikut (Arwin, 2002) :

$$x_1 = r_2x_2 + r_3x_3 + \varepsilon \quad (\text{II.49})$$

dengan :

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}, \quad i = 1, 2 \text{ dan } 3 \quad (\text{II.50})$$

Koefisien korelasi parsial diekspresikan sebagai berikut (Arwin, 2002):

$$r_2 = \frac{\rho_{12} - \rho_{13}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2} \quad (\text{II.51})$$

$$r_3 = \frac{\rho_{13} - \rho_{12}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2} \quad (\text{II.52})$$

Persamaan koefisien determinasi model terner dituliskan sebagai berikut (Arwin, 2002):

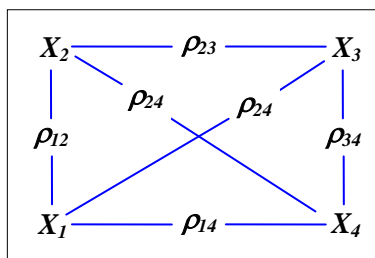
$$R^2 = \frac{\rho_{12}^2 + \rho_{13}^2 - 2\rho_{12}\rho_{13}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2} \quad (\text{II.53})$$

$$\varepsilon^2 = 1 - R^2 \quad (\text{II.54})$$

Model terner dapat digunakan pada DAS untuk pengelolaan waduk dengan ketidakpastian masa yang akan datang. Model ini terdiri dari tiga tipe yaitu model terner tipe  $PP(Q_1)$ , tipe  $PQ(Q_1)$ , dan tipe  $QQ(Q_1)$ .

#### c. Model Kuaterner (Korelasi Empat Variabel Acak)

Model kuaterner terdiri dari empat stasiun hidrologi yaitu tiga stasiun penjelas ( $X_2$ ,  $X_3$ , dan  $X_4$ ) dan satu stasiun yang akan dijelaskan ( $X_1$ ). Skema korelasi model ini dapat dituliskan sebagai berikut :



Gambar II.19 Tipe Korelasi Kuarterner (Arwin, 2002)

Persamaan regresi linier model kuarterner dinyatakan sebagai berikut (Arwin, 2002):

$$x_1 = r_2x_2 + r_3x_3 + r_4x_4 + \varepsilon \quad (\text{II.55})$$

dengan :

$$\sum x_1x_j = r_2 \sum x_2x_j + r_3 \sum x_3x_j + r_4 \sum x_4x_j \quad (\text{II.56})$$

Asumsi  $E(\varepsilon x_j) = 0$  untuk  $j = 2, 3, \text{ dan } 4$ .

Nilai  $r_i$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Yule Walker sebagai berikut :

$$\begin{vmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{24} \\ \rho_{23} & 1 & \rho_{34} \\ \rho_{24} & \rho_{34} & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \rho_{12} \\ \rho_{13} \\ \rho_{14} \end{vmatrix}$$

Koefisien determinasi  $R^2$  dan kesalahan relatif  $\varepsilon$  dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = 1 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2 - 2(r_2\rho_{12} + r_3\rho_{13} + r_4\rho_{14}) + 2(r_2r_3\rho_{23} + r_2r_4\rho_{24} + r_3r_4\rho_{34}) \quad (\text{II.57})$$

$$R^2 = 1 - \varepsilon^2 \quad (\text{II.58})$$

Koefisien korelasi parsial dituliskan :

$$r_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad (\text{II.59})$$

$$r_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} \quad (\text{II.60})$$

$$r_4 = \frac{\Delta_4}{\Delta} \quad (\text{II.61})$$

dengan :

$$(\text{II.62})$$

$$\Delta = 1 - (\rho_{23}^2 + \rho_{24}^2 + \rho_{34}^2) + 2\rho_{23}\rho_{24}\rho_{34}$$

$$\Delta_2 = \rho_{12}(1 - \rho_{34}^2) - \rho_{13}(\rho_{23} - \rho_{24}\rho_{34}) - \rho_{14}(\rho_{24} - \rho_{23}\rho_{34}) \quad (\text{II.63})$$

$$\Delta_3 = \rho_{13}(1 - \rho_{24}^2) - \rho_{12}(\rho_{23} - \rho_{24}\rho_{34}) - \rho_{14}(\rho_{34} - \rho_{23}\rho_{24}) \quad (\text{II.65})$$

$$\Delta_4 = \rho_{14}(1 - \rho_{23}^2) - \rho_{12}(\rho_{24} - \rho_{23}\rho_{34}) - \rho_{13}(\rho_{34} - \rho_{23}\rho_{24}) \quad (\text{II.66})$$

Model kuaterner dapat digunakan pada DAS untuk pengelolaan waduk air dengan ketidakpastian masa yang akan datang. Model ini terdiri dari empat tipe yaitu model terner tipe  $PPP(Q_1)$ , tipe  $PPQ(Q_1)$ , tipe  $PQQ(Q_1)$  dan tipe  $QQQ(Q_1)$ .

### II.12.2 Model Diskrit Chain-Markov

Seorang ahli matematika Rusia A.A. Markov (1856-1922) memperkenalkan sebuah asumsi bahwa hasil/output dari suatu percobaan (*trial*) bergantung hanya pada hasil/output percobaan sebelumnya. Asumsi ini mengantarkan kita pada sebuah formulasi dari konsep klasik dari proses stokastik yang dikenal dengan *Proses Markov* atau *Chain Markov*. Pada proses markov, probabilitas pada suatu waktu tertentu bergantung/ditentukan hanya dari kejadian waktu sebelumnya.

Konsep CHAIN MARKOV :

- Probabilitas kejadian pada suatu waktu tertentu bergantung/ditentukan hanya dari kejadian waktu sebelumnya.
- Jika  $t_0 < t_1 < \dots < t_n$ , ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) > titik-titik waktu, maka kumpulan variabel acak  $\{X(t_n)\}$  merupakan Proses Markov jika memenuhi kondisi sbb :

$P_{ij} = P\{X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i\}$  > Probabilitas transisi peluang kejadian j terjadi jika diketahui kejadian i terjadi.

Jika  $t_0 < t_1 < \dots < t_n$ , ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) menyatakan titik-titik waktu, maka kumpulan variabel acak  $[X(t_n)]$  adalah suatu Proses Markov yang memenuhi kondisi sebagai berikut :

$$P\{X(t_n) = X_n | X(t_{n-1}) = X_{n-1}, \dots, X(t_0) = X_0\} = P\{X(t_n) = X_n | X(t_{n-1}) = X_{n-1}\}.$$

Untuk seluruh harga  $X(t_0), X(t_1), \dots, X(t_n)$



Probabilitas  $P_{X_{n-1}, X_n} = P\{X(t_n) = X_n | X(t_{n-1}) = X_{n-1}\}$  atau  $P_{ij} = P\{X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i\}$  disebut sebagai probabilitas transisi yang menyatakan probabilitas bersyarat (*conditonal probability*) dari sistem pada kondisi ( $j$ ) pada saat  $t_n$  jika diketahui bahwa sistem ini tetap sepanjang waktu. Dengan kata lain peluang kejadian  $j$  terjadi jika diketahui kejadian  $i$  terjadi. Jika proses markov dengan  $n$ -kejadian probabilitas transisi dari kondisi  $i$  pada  $X_{n-1}$  ke kondisi  $j$  pada  $X_n$  dan asumsikan probabilitas ini tetap sepanjang waktu, maka transisi tersebut akan lebih mudah disusun dalam bentuk matrik. Sebuah matrik transisi  $P$  berukuran ukuran  $N \times N$ , dengan  $N = n^m$  dimana  $n$  merupakan jumlah kelas dan  $m$  adalah ketergantungan Chain Markov dalam  $m$  selang waktu. Bentuk matrik  $P$  adalah sebagai berikut (Arwin, 2002) :

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} & \dots \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (\text{II.67})$$

Kedua matrik  $P$  diatas disebut matrik transisi homogen atau matriks stokhastik karena semua transisi probabilitas  $P_{ij}$  adalah tetap dan independen terhadap waktu. Probabilitas  $P_{ij}$  harus memenuhi kondisi :

$$\sum_j P_{ij} = 1 \text{ untuk seluruh nilai } i ;$$

$$P_{ij} \geq 0 \text{ untuk seluruh nilai } i \text{ dan } j$$

Tabel II.3 Matrik Transisi Orde Satu (Arwin, 2002)

Kondisi Debit Waktu $t_{n-1}$	Kondisi Debit Waktu $t_n$				
	0	1	2	...	N
0	$P_{00}$	$P_{01}$	$P_{02}$	...	$P_{0N}$
1	$P_{10}$	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1N}$
2	$P_{20}$	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2N}$
...	...	...	...	...	...
N	$P_{N0}$	$P_{N1}$	$P_{N2}$	...	$P_{NN}$

### II.12.3 Model Arima

Model ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) yang merupakan model gabungan dari model *autoregresif* dan *moving average* yang telah melalui proses *differencing* sebanyak  $d$  kali agar menjadi *stasioner*.

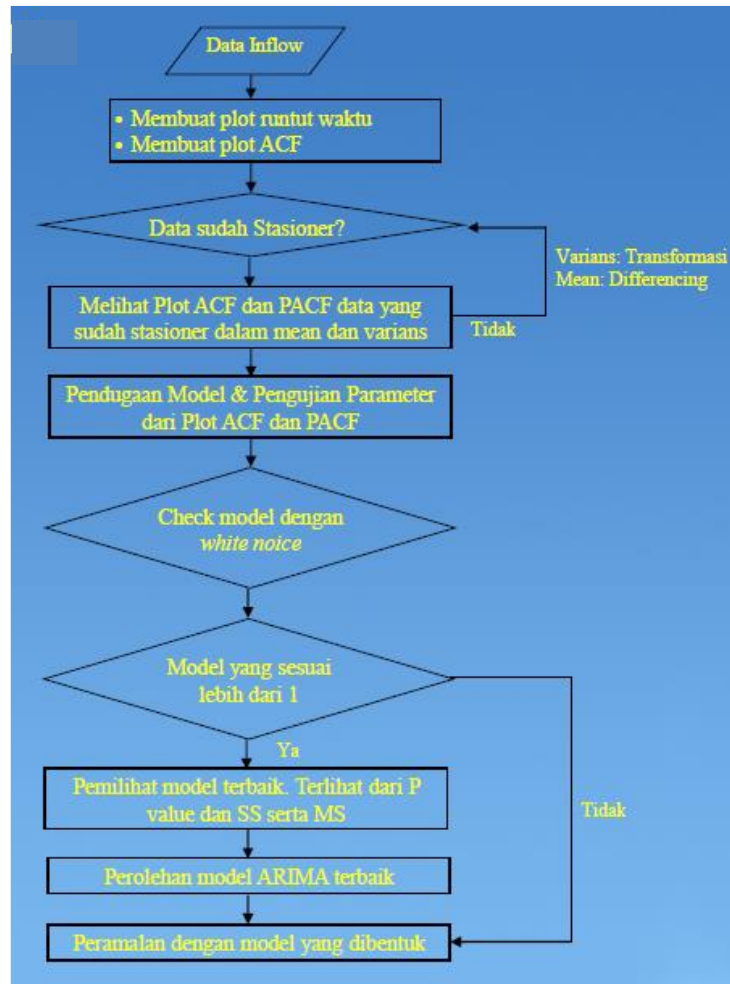
ARIMA = (p,d,q)

p, d, q : Orde AR, Difference, MA non musiman

Syarat Model yang baik :

- a. Semua koefisien signifikan kecuali *intercept* (konstant), Pada kolom ' sig ' atau sig <0,05
- b. *Errornya White Noise (pure random)*, artinya error tidak dipengaruhi oleh error-error waktu yang lalu.

Langkah-langkah dalam membuat model arima dapat disajikan pada Gambar II.20



Gambar II.20 Langkah-langkah Dalam Membuat Model Arima  
(Kemen PU, 2013)

## II.13 Waduk

### II.13.1 Definisi Waduk

Waduk (*reservoir*) terjadi bila suatu penghalang dibangun melintang di sungai, sehingga air akan tertampung di bagian hulu penghalang dan membentuk genangan. Fungsi waduk adalah untuk menyimpan air dalam periode berlebih (musim hujan) untuk digunakan pada saat periode kekeringan (musim kemarau). Air yang tertampung digunakan untuk keperluan pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat perkotaan, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, dan lain-lain. Untuk semua kebutuhan tersebut, pendekatan hidrologi pada dasarnya sama, perbedaannya hanya terletak pada perkiraan atas jumlah persediaan air yang dibutuhkan (Linsey, 1969).

Dua jenis waduk berdasarkan siklus pengoperasiannya, (Linsey, 1969) :

1. Waktu jangka pendek (*short term reservoir*), direncanakan beroperasi pada daur tahunan yang lebih pendek
2. Waktu jangka panjang (*long term reservoir*), direncanakan untuk menampung air selama dua tahun atau lebih agar dapat mengatasi musim kering yang panjang

### II.13.2 Klasifikasi *Reservoir*

Klasifikasi *reservoir* fungsinya adalah sebagai berikut :

1. *Reservoir* Konservasi (*Storage or Conservation Reservoir*)
  - *Reservoir* konservasi yang berfungsi untuk menampung kelebihan air saat kondisi aliran puncak dan memanfaatkan kembali saat terjadi aliran sungai yang rendah atau saat meningkatnya kebutuhan air
  - *Reservoir* konservasi dapat sekaligus berfungsi untuk mengurangi resiko banjir pada daerah yang terletak di hilir *reservoir*
2. *Reservoir* Pengendali Banjir (*Flood Control Reservoirs*)
  - *Reservoir* pengendali banjir berfungsi untuk mereduksi aliran puncak banjir sehingga dapat mencegah banjir dibagian hilir
  - Aliran air yang memasuki *reservoir* pengendali banjir, ditampung dan dikeluarkan secara bertahap sehingga *outflow* dapat ditampung oleh penampang saluran atau sungai di bagian hilir dan mencegah banjir
3. *Reservoir* Distribusi (*Distribution Reservoirs*)
  - *Reservoir* distribusi adalah *reservoir* kecil yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan air minum perkotaan. *Reservoir* ini memperoleh pasokan air dengan memompakan air pada debit tertentu
4. *Reservoir* Ekaguna (*Multipurpose Reservoirs*)
  - *Reservoir* Ekaguna adalah *reservoir* yang dibangun untuk memenuhi berbagai fungsi secara bersamaan
  - *Reservoir* Ekaguna berfungsi untuk melindungi daerah dibagian hilir aliran sungai dari kemungkinan banjir, atau menjadi tampungan air untuk memenuhi kebutuhan air minum, irigasi, industri, serta pembangkit listrik.

### II.13.3 Perhitungan Kapasitas Waduk

Dalam perhitungan kapasitas Waduk, yang perlu diperhatikan adalah:

- Langkah pertama dalam menghitung suatu waduk adalah menentukan kurva elevasi luas dan kurva elevasi volume untuk lokasi yang direncanakan
- Diperlukan perkiraan besar keluaran yang dibutuhkan guna mencapai tujuan dari fungsi waduk tersebut
- Analisis kapasitas dapat dilakukan dengan menggunakan debit minimum bulanan atau debit rata-rata bulanan

#### II.13.3.1 Perhitungan Kapasitas Waduk dengan Metode Ripple

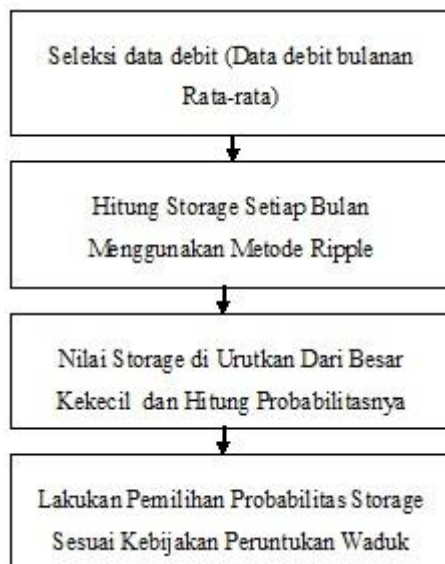
Perhitungan kapasitas waduk dihitung dengan Metode Kurva Massa (Metode Ripple), metode ini bersifat deterministik dan menggunakan debit untuk menghitung volume dan keluaran dari suatu *reservoir* rencana. Perhitungan kapasitas waduk dengan metode ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu (Arwin, 2002):

1. *Cara Analitik*, perhitungan dalam bentuk tabel dengan beberapa faktor yang dilibatkan. Yaitu:
  - Rentang waktu tertentu
  - Debit yang masuk ke dalam waduk
  - Volume air yang masuk ke dalam waduk, ditentukan dari debit yang masuk dikalikan rentang waktu
  - Akumulasi volume air yang masuk
  - Volume rata-rata yang keluar dari waduk
  - Volume rata-rata kumulatif air yang keluar dari waduk
  - Selisih volume masuk dan keluar
2. *Cara Grafis*, dicari terlebih dahulu:
  - a. Volume akumulasi air yang masuk ke dalam waduk
  - b. Volume akumulasi air yang keluar dari waduk
    - Lalu diplotkan, dengan nilai y adalah pada poin a) dan b) sedangkan pada sumbu x adalah koefisien waktu
    - Akan terdapat dua kurva hasil plotting

- Kurva pertama adalah volume akumulasi air yang masuk ke waduk yang mempunyai variasi bentuk naik turun
- Kurva kedua adalah volume akumulasi air yang keluar dari waduk

### II.13.3.2 Perhitungan Kapasitas Waduk dengan Metode Statistik Historik

Perhitungan kapasitas waduk dihitung dengan menggunakan metode statistik historik adalah dengan melakukan gabungan dua metode perhitungan kapasitas waduk yaitu metode Ripple dan metode Weibull. Gambar II.21 menunjukkan langkah-langkah dalam perhitungan kapasitas waduk menggunakan metode statistik historik.



Gambar II.21 Langkah-Langkah Dalam Perhitungan Kapasitas Waduk Menggunakan Metode Statistik Historik (Arwin, 2002).

### II.13.4 Sistem Pengoperasian Waduk

Debit air sungai yang masuk waduk, kapasitas tampung dan batasan aspek operasional waduk sangat mempengaruhi ketersediaan air dalam waduk. Prinsip pengoperasian waduk adalah penerapan teori keseimbangan massa (*mass balance*). Teori yang disebut juga sebagai *Hydrolic Budget* ini menyatakan bahwa simpanan air di dalam bangunan storage untuk awal bulan  $t+1$  sama dengan simpanan air untuk awal bulan  $t$ , yang ditambah dengan masukan air dari sungai selama bulan ke- $t$ , dan dikurangi dengan output storage dan evaporasi selama

bulan ke- $t$  Persamaan keseimbangan massa air dalam sebuah waduk secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (Arwin, 2002) :

$$S_{t+1} = S_t + Q_{in} - Q_{out} - E \quad (II.68)$$

dimana :

$S$  : variabel ditetapkan (volume tampungan)

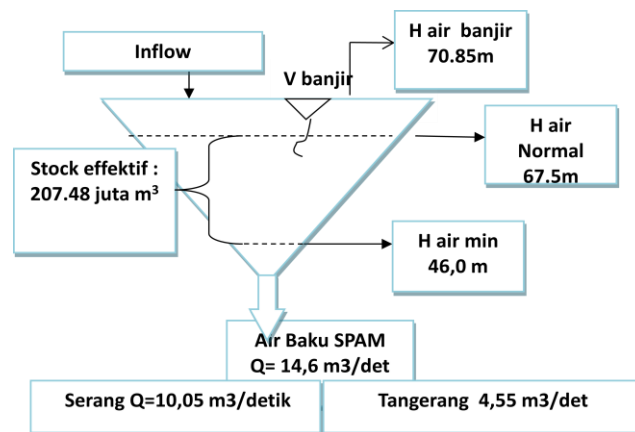
$Q_{in}$  : variabel acak

$E$  : variabel acak

$Q_{out}$  : variabel ditentukan (dikomandokan)

$t$  : waktu

Keseimbangan massa air dalam waduk Karian Dam terlihat pada Gambar II.22 berikut.



Gambar II.22 Lingkungan Ekonomi Waduk (Arwin, 2002)

Terdapat tiga variabel utama yang menyusun persamaan keseimbangan massa diatas yaitu :

1. Variabel acak, adalah variabel yang kejadian dan besarnya tidak menentu dalam proses waktu yaitu variabel  $Q$  (variabel acak *independent*) dan  $E$  (variabel acak yang relatif *dependent* terhadap iklim dan luas genangan).
2. Variabel  $T$  sebagai Variabel yang dikomandokan, adalah variabel yang diatur besarnya untuk memperoleh besaran variabel yang ditentukan.
3. Variabel  $S$  sebagai Variabel yang ditentukan, adalah variabel yang diinginkan besarnya.

Pola Pengusahaan waduk dibagi menjadi 2, Gambar II.23 yaitu :

a. Pola Pengusahaan Waduk Deterministik (*Avenir Certaine*)

Pola pengusahaan Waduk Deterministik yaitu pola pengusahaan yang memperlakukan fenomena yang terjadi sebagai suatu yang bersifat pasti (deterministik). Keacakan debit diantisipasi dengan menggunakan debit rencana kering, normal dan basah menggunakan metode teoritik, kemudian digunakan pedoman lintasan kering, normal dan basah untuk menghitung keluaran dari waduk. Penentuan penggunaan debit rencana dan pedoman lintasan menggunakan matriks transisi tiga kelas Diskrit Markov (Arwin, 2002).



Gambar II.23 Lingkungan Ekonomi Waduk (Arwin, 2002)

b. Pola Pengusahaan Waduk Optimal (*Avenir Uncertaine*)

Pola Pengusahaan waduk yang optimal harus adaptif terhadap ketidakpastian masa depan (*Avenir Uncertaine*). Dalam pola pengusahaan waduk optimal sifat keacakan dari debit diantisipasi dengan menggunakan prakiraan debit masa depan. Model prakiraan debit masa depan yang digunakan dalam penelitian ini adalah debit prakiraan korelasi spasial hujan dan debit dan model Diskrit Markov dan Arima. Sedangkan untuk mengantisipasi keacakan iklim, dalam hal ini untuk menentukan tahun kering, normal dan basah digunakan matriks transisi tiga kelas Diskrit Markov.

Pengembangan pola pengusahaan waduk ketidakpastian masa depan dibagi menjadi tiga yaitu model Diskrit Markov, Hybrid Markov dan Hybrid Kontinu.



Tabel skenario simulasi pola pengusahaan waduk optimal diperlihatkan pada Tabel II.4.

Tabel II.4 Skenario Simulasi Pola Pengusahaan Waduk Optimal (Arwin, 2002)

Model Optimalisasi Waduk Aktual (Uncertain)	Pola Pengusahaan Waduk	Tahun Kering, Normal dan Basah	Prakiraan Q input
Diskrit Stokhastik-Markov	Debit Diskrit Markov kering, normal dan basah	Matriks Transisi Markov	Model Diskrit Stokhastik-Markov
Hybrid Markov	Debit Diskrit Markov kering, normal dan basah	Matriks Transisi Markov	Model Kontinu
Hybrid Kontinu	Debit Rencana kering, normal dan basah	Matriks Transisi Markov	Model Kontinu

## **Bab III Lokasi Penelitian**

### **III.1 Keadaan Umum Wilayah Penelitian**

Sungai Ciujung adalah sungai terbesar di Provinsi Banten dengan daerah tangkapan 1850 km<sup>2</sup> dan panjang sungai 142 km<sup>2</sup>. Rata-rata limpasan tahunan sungai ciujung sebesar 3,35 juta m<sup>3</sup> di muara. Sungai Ciujung mengalir dari sumber mata air yang berada di Gunung Endut dan Gunung Karang ke laut Jawa dengan melewati dua kabupaten yaitu : Kabupaten Lebak dan Kabupaten Serang. Sungai Ciujung ini mempunyai tiga anak sungai utama yaitu sungai Ciujung hulu, sungai Ciberang dan sungai Cisiemeut dengan pertemuan di daerah Kota Rangkasbitung.

Sungai Ciberang yang merupakan salah satu anak sungai Ciujung memiliki daerah tangkapan air sebesar 317 km<sup>2</sup> memiliki potensi yang besar untuk memenuhi kebutuhan air baku masa depan sehingga berdasarkan kebijakan strategis sumber air dan pengembangan SPAM wilayah Jabotabek sungai Ciberang dijadikan sumber air baku dengan menjadi input bagi bangunan air Waduk Karian.

### **III.2 Lokasi Studi**

#### **III.2.1 Geografi**

Secara geografis letak sungai Ciujung terletak antara 106° 00' dan 106° 30' Bujur Timur serta 5° 00' dan 6° 40' Lintang Selatan. Wilayah Aliran Sungai Ciujung ini dibatasi oleh :

Bagian Utara : dibatasi oleh laut Jawa

Bagian Barat : dibatasi oleh Wilayah Aliran Sungai Rawa Dano dan Teluk Lada

Bagian Timur : dibatasi oleh Wilayah Aliran Sungai Cidurian

Bagian Selatan : dibatasi oleh Aliran Sungai Cibaliun-Cibareno

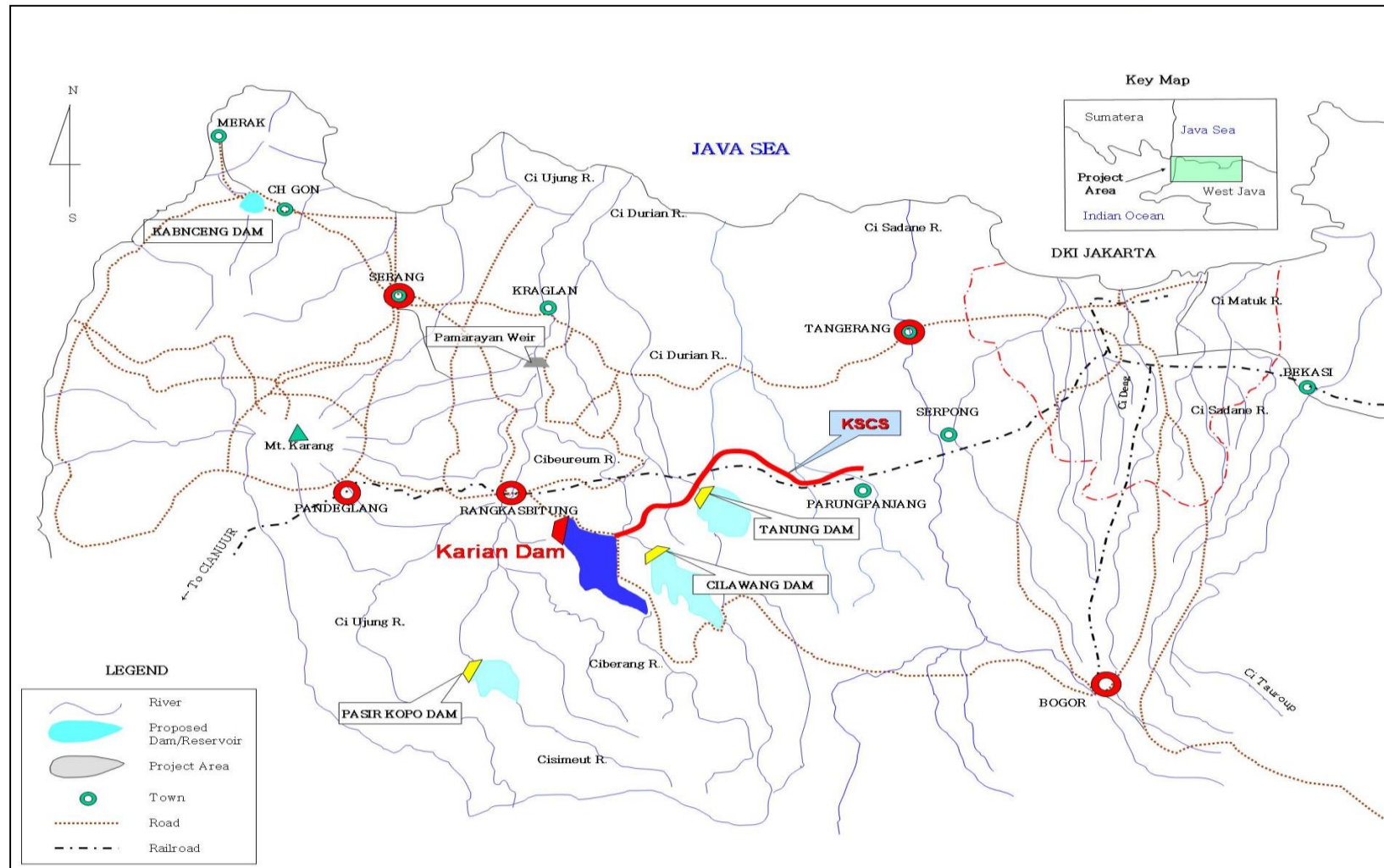
Lokasi Waduk Karian berada di Kecamatan Sajira, Kabupaten Lebak Provinsi Banten dengan sumber air dari sungai Ciberang anak sungai Ciujung. Peta lokasi wilayah studi Waduk Karian diperlihatkan pada Gambar III.1

### **III.2.2 Meteorologi**

Iklim Monsoon khas yang berlaku di wilayah Waduk Karian dengan musim basah dan kering. Monsoon barat mendominasi daerah dengan curah hujan dari bulan Desember sampai Maret, dan Monsoon timur muncul dengan curah hujan kurang dari bulan Juni hingga September. Periode bulan April-Mei dan Oktober-November merupakan periode transisi.

Curah hujan didaerah sekitar Waduk Karian rata-rata sebesar 2500 mm per tahun. Curah hujan tahunan bervariasi menurut lokasi dan topografi, mulai dari sekitar 1500 mm didataran pantai utara kemudian naik sekitar 500 mm di wilayah pegunungan selatan dekat Gunung Endut dan Gunung Halimun. Variasi musiman curah hujan ini juga dikenal dengan periode basah dan kering. Dataran pesisir utama menerima kurang dari 30% dengan curah hujan tahunan selama masa kering dari Mei sampai Oktober, atau bulan Monsoon Timur (Juni-September). Area pertengahan yaitu sekitar Pamarayan dan Rangkasbitung menerima sekitar 40% dengan curah hujan tahunan selama periode yang sama seperti di atas.

Suhu udara rata-rata bulanan merupakan fungsi dari ketinggian. Namun, di Serang di dataran pantai utara, suhu udara rata-rata bulanan bervariasi sedikit sepanjang tahun berkisar antara 26°C dan 27°C. Kelembaban relatif tetap umumnya tinggi berkisar 80% - 85% hampir sepanjang tahun. Kecepatan rata-rata angin bulanan di Serang berkisar antara 3.8 dan 4.7 atau 2 m/s dan 2,4 m/s.



Gambar III.1 Peta Lokasi Wilayah Studi Waduk Karian (KOICA, 2006)

### III.2.3 Topografi dan Geologi

Topografi sungai Ciujung yang merupakan daerah dataran dengan kemiringan antara 0.00016 - 0.0002 terletak pada daerah Rangkasbitung ke arah muara dan untuk topografi yang landai ke arah terjal (daerah pegunungan) terletak pada daerah Rangkasbitung sampai ke arah hulu dengan kemiringan 0.00033 – 0.00042.

Geologi umum berdasarkan data geologi dalam *Feasibility Study and Design of KSCS*, keadaan Geologi dan geofisika Indonesia sangat dipengaruhi oleh pergerakan lempeng (*plate*) yang ada didalamnya. Indonesia merupakan daerah pertemuan lempeng Indonesia-Australia yang bergerak ke Utara lempeng Pasifik yang bergerak ke Barat dan lempeng Asia Tenggara (lempeng Eurasia) yang bergerak ke Selatan. Interaksi antara lempeng Indonesia-Australia dengan Eurasia antara lain tercermin oleh bentuk Palung Sunda yang memanjang sejajar dengan Busur Sunda. Kondisi di Selat Sunda sangat mempengaruhi sifat Geologi dan Geofisika Provinsi Banten pengaruh tersebut tercermin dari :

- Bentuk umum daerah Utara dan Tengah Provinsi Banten bermorfologi dataran dengan dominasi batuan sedimen *alluvium*.
- Intensitas struktur patahan (*fault*) dan lipatan lebih tinggi di daerah selatan Provinsi Banten
- Arah sungai yang umumnya mengalir dari arah Selatan dan Tengah ke arah Utara yang umumnya berupa dataran pantai. Peta sebaran bebatuan yang ada di daerah sekitar Karian Dam ditunjukkan pada Gambar III.2

Batuan Tersier merupakan singkapan (*outcropping*) 80% permukaan lahan dilokasi sekitar Waduk Karian adalah Formasi Genteng. Formasi Genteng terdiri dari *tuf berbatu apung*, *batu pasir tufan*, *konglomerat*, *breksit andesit*, dan sisipan *lempung tufan*. Tuf berbatu apung putih sampai kelabu berbutir halus sampai kasar, bersusunan menengah sampai asam dan berlapis baik dengan tebal sekitar 80-90 cm. Ditemukan juga tuf hablur mengandung *kuarsa*, *mika*, *horrenblenda*, *kaca* dan *batu apung*, sering disertai kepingan *andesit*. Batu pasir Tufan kelabu kehijauan mengandung *glaukonit*, berbutir menengah sampai kasar kadang – kadang dikelilingi lempung *tufan*, *konglomerat* kelabu tua agak padat komponen

utamanya adalah *andesit* dengan masa dasar pasir tufan berlapis baik, tebal lapisan 15 – 60 cm. Batuan *kuarter* singakapan 20 % permukaan lokasi disekitar Waduk Karian adalah *Banten Tuff, Young Volcanic, Alluvial Fan* dan Endapan sungai. Secara garis besar struktur geologi disekitar Waduk Karian merupakan stuktur geologi Jawa Barat yang dibentuk oleh proses *plate* tektonik utama.

### **III.2.4 Tata Guna Lahan**

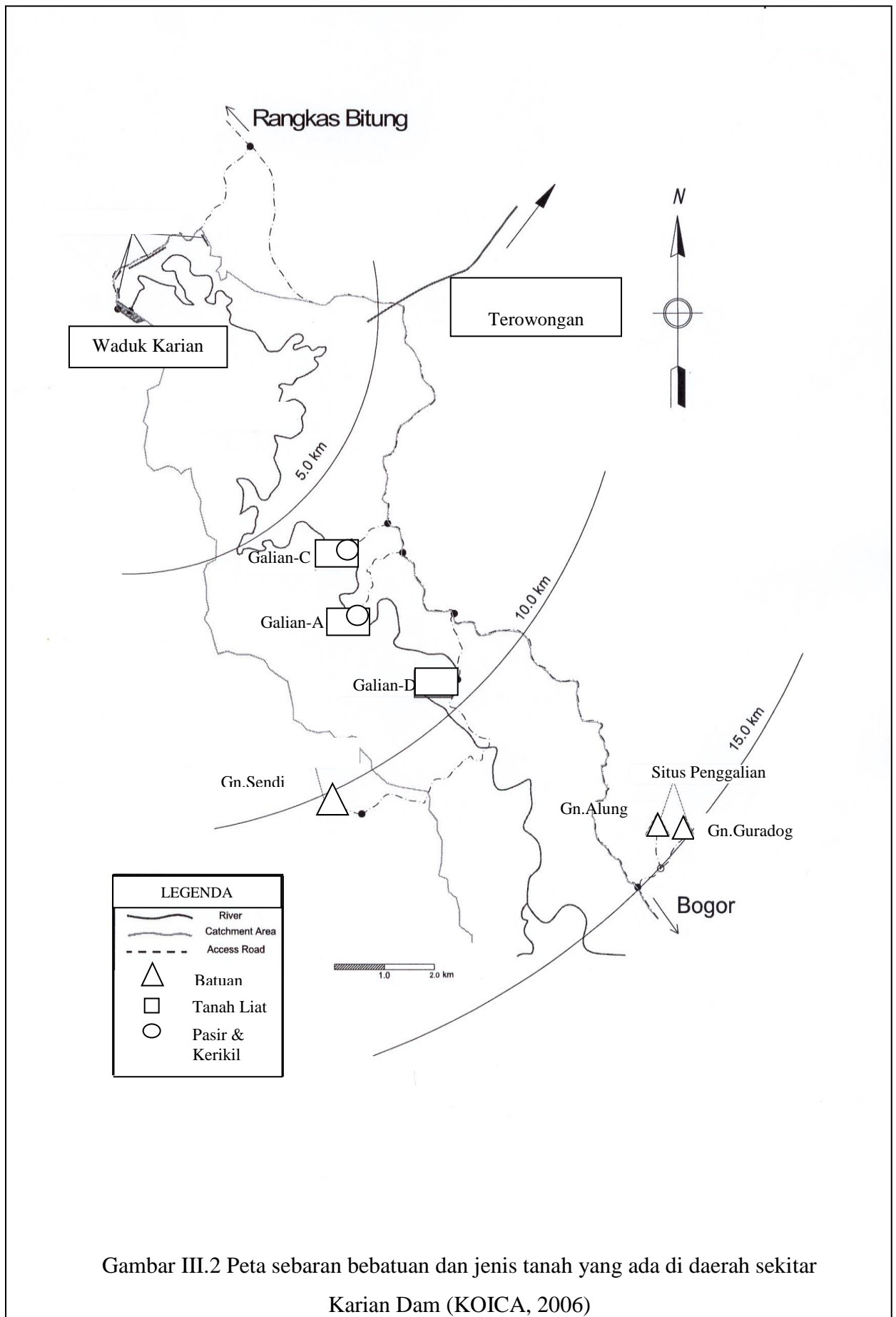
Lahan yang ada di kiri kanan Daerah Aliran Sungai Ciujung secara umum merupakan daerah perbukitan, perkebunan, hutan, sawah, pemukiman, industri dan sebagainya. Jenis lahan yang ada sangat dipengaruhi oleh keberadaan tempat tersebut terhadap toografi sungai yang ada . Secara rinci lahan yang ada di kiri kanan sungai dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Daerah bagian hulu sungai : hutan , kebun , galian golongan C (pasir), persawahan.
2. Daerah bagian tengah sungai : kebun, persawahan, pemukiman, galian golongan C (pasir), jaringan irigasi.
3. Daerah bagian hilir sungai : kebun, pemukiman, galian golongan C (pasir), industri, perkotaan dan tambak.

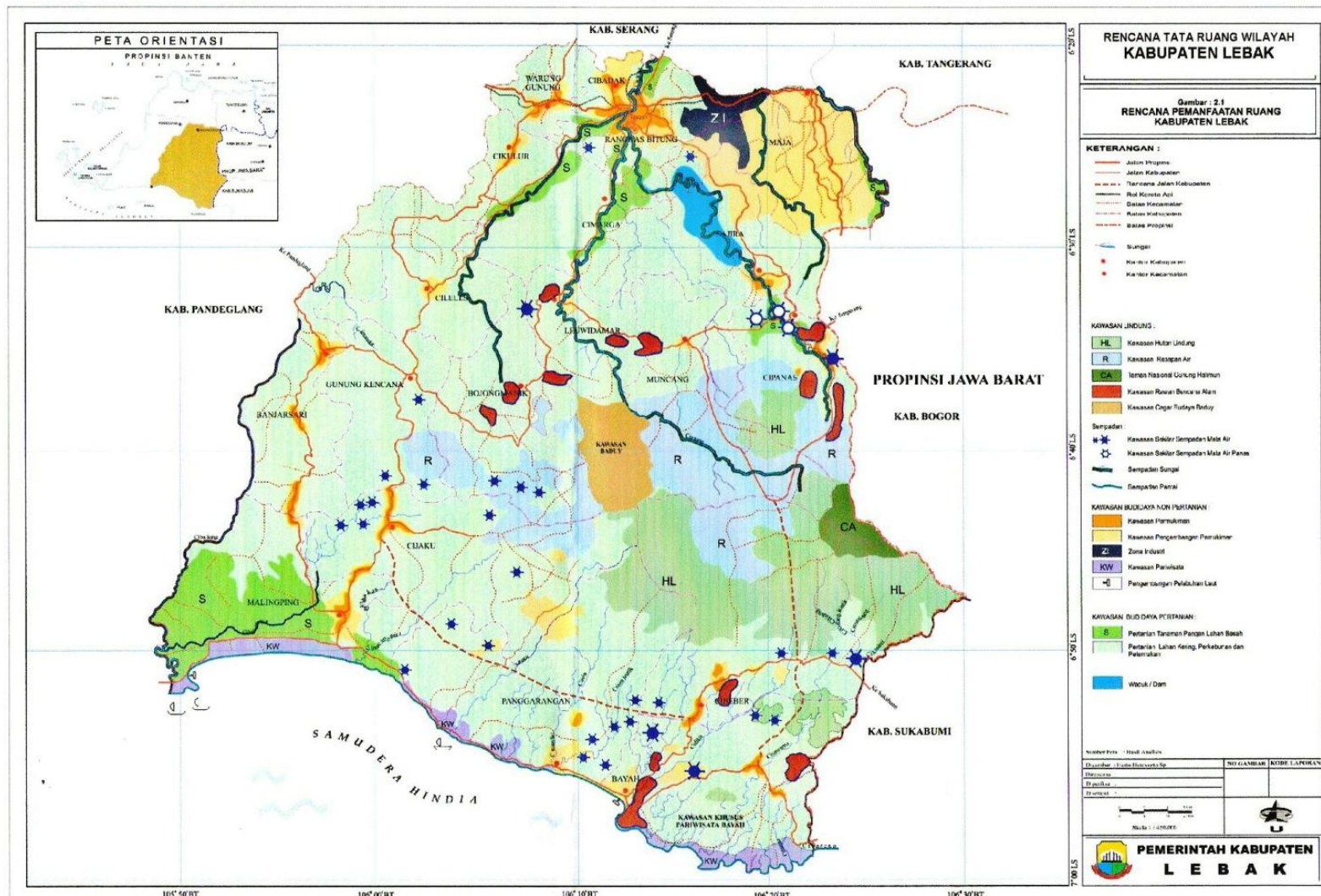
Berdasarkan pada peta RTRW Kabupaten Lebak tahun 2000, sebagian diperuntukkan untuk lahan kawasan pemukiman dan pengembangan perumahan terutama di kecamatan Maja dan Curug Bitung. Lahan pada kedua kecamatan tersebut merupakan lahan pertanian sawah dan lahan kering, sekitar 20% nya yang berada dikecamatan Maja telah dimiliki oleh pengembang perumahan. Untuk lebih jelasnya tataguna lahan Kabupaten Lebak pada tahun 2009 di perlihatkan pada Tabel III.1 dibawah ini.

### **III.2.5 Tata Ruang Kabupaten Lebak**

Untuk Rencana Bendungan Karian Sudah Masuk Dalam RTRW Kab. Lebak Rencana Tata Ruang Kabupaten Lebak ditunjukkan oleh Gambar III.3.



Gambar III.2 Peta sebaran bebatuan dan jenis tanah yang ada di daerah sekitar Karian Dam (KOICA, 2006)



Gambar III.2 Rencana Tata Ruang Kabupaten Lebak (BBWS-C3)



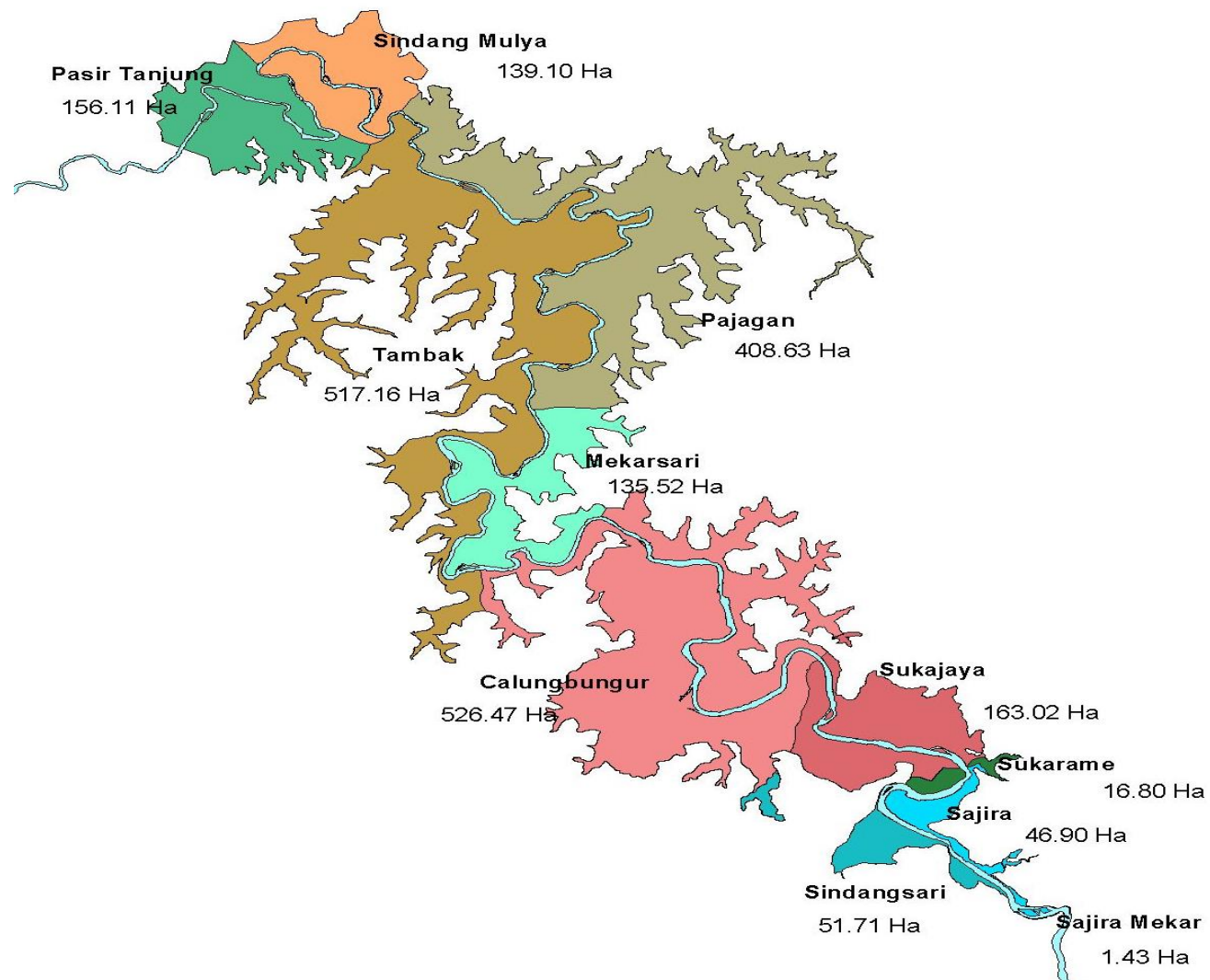
Tabel III.1 Tataguna Lahan di Kecamatan Wilayah Kab. Lebak (Pemda Kab. Lebak, 2008)

Kecamatan	Tata Guna Lahan (Ha)				Keterangan
	Kebun	Lahan	Sawah	Pemukiman	
Sajira	293,8	71,8	9,4	25	Pada Batas Daerah Studi
Curug Bitung	235,7	171,8	28,5	64,5	Pada Batas Daerah Studi
Maja	154,6	401,5	106,2	1093	Pada Batas Daerah Studi
Jumlah	684	645	144,1	1182	

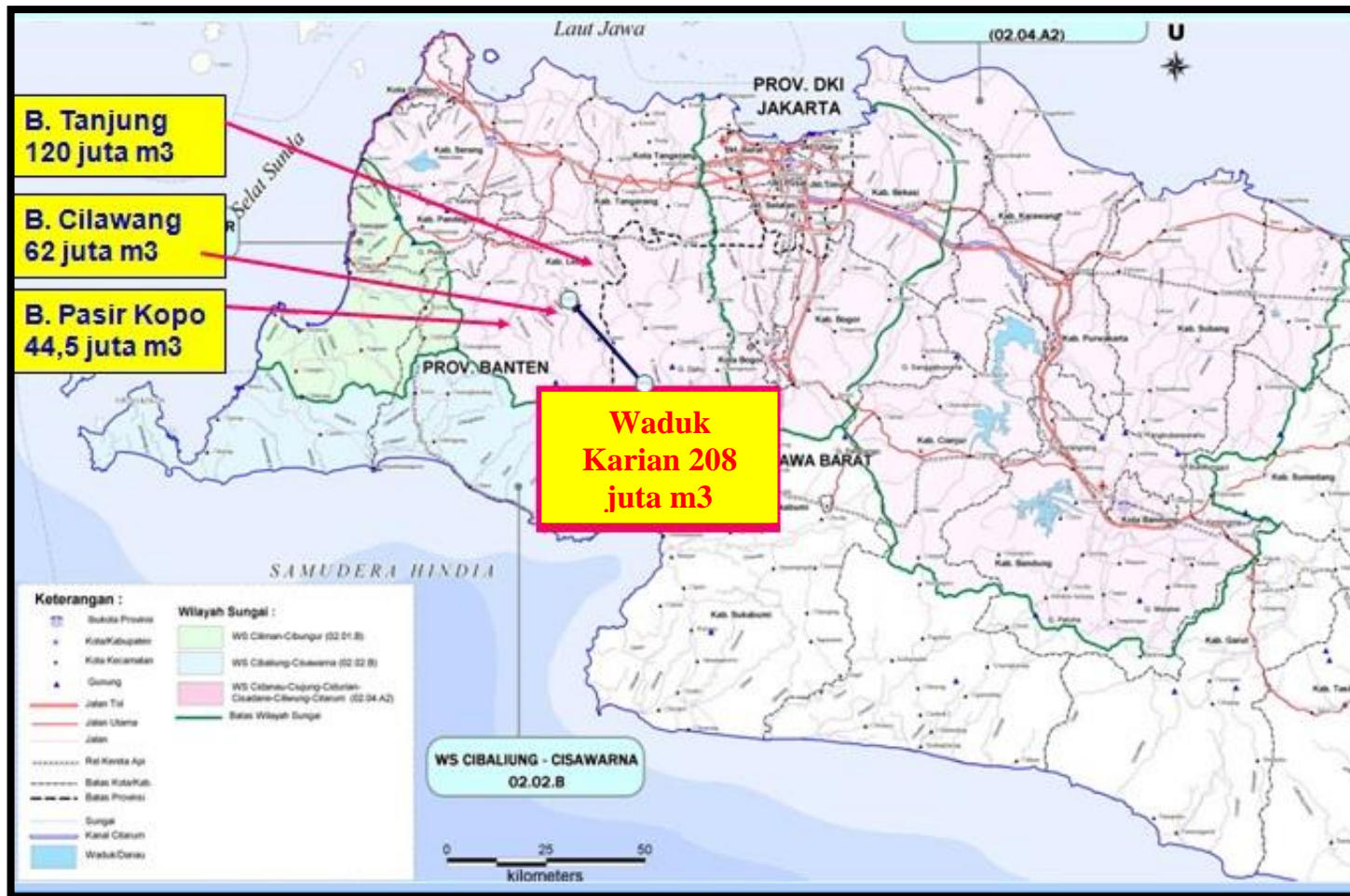
### III.3 Gambaran Umum Waduk Karian

Waduk Karian terletak di Kecamatan Sajira, Kabupaten Lebak Banten merupakan waduk yang akan dibangun di sub-DAS Ciberang anak sungai Ciujung. Daerah tangkapan air Waduk Karian seluas 288 km<sup>2</sup> dan daerah genangan seluas 1740 Ha Gambar III.4.

Waduk Karian merupakan salah satu waduk yang akan dibangun melalui proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau selain waduk pasir kopo, waduk Cilawang dan Tanjung Gambar III.5.



Gambar III.3 Luas Daerah Genangan Waduk Karian (BBWS-C3, 2011)



Gambar III.4 Rencana Pengembangan Prasarana Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau (KOICA, 2006)

### III.3.1 Manfaat

Pengembangan SPAM Regional Provinsi Banten dengan memanfaatkan Waduk Karian yang diterjemahkan dalam program jangka pendek dan jangka menengah-panjang.

a. Program Jangka Pendek (2010 -2015) Sumber air baku dipasok dari Bendung Pamarayan (Sungai Ciujung), Waduk Jatiluhur (Sungai Citarum), Sungai Ciliwung.

b. Program Jangka Menengah dan Jangka Panjang (2015-2030) Jangka menengah-panjang (2015-2030) : memanfaatkan potensi sumber air sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau dengan membangun 4 waduk yaitu Cilawang, Pasir Kopo, Tanjung dan Karian. Waduk Karian merupakan waduk yang akan pertama dibangun. Input Waduk Karian adalah sungai Ciberang anak sungai Ciujung.

Kebijakan strategis sumber air baku Regional Provinsi Banten meliputi 3 BBWS yaitu BBWS Ciujung-Cidurian-Cidanau, BBWS-Citarum, BBWS Ciliwung-Cisadane.

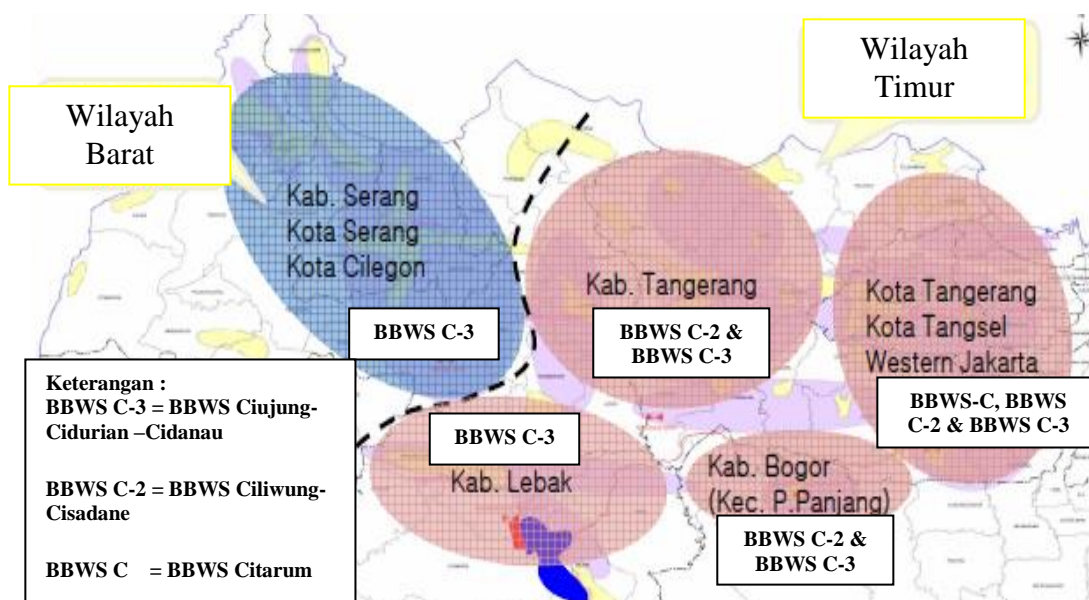
Alokasi Air Waduk Karian untuk suplai air baku DMI Regional Provinsi Banten diperlihatkan pada Tabel III.2 dibawah ini. Peta daerah pelayanan Waduk Karian ditunjukkan oleh Gambar III.6.

Tabel III.2 Alokasi Air Waduk Karian (KOICA, 2006)

Daerah Pelayanan		Desain Waktu Pendistribusian Air		Jalur distribusi
		fase 1 (2020)	fase 2 (2030)	
Wilayah Timur	Kab. Lebak, Kab. Tangerang, Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kec Parungpanjang, dan Jakarta Barat	4,55 m <sup>3</sup> /s	9,1 m <sup>3</sup> /s	Dari Waduk Karian Ke Serpong melalui sistem jaringan perpipaan tertutup
Wilayah Barat	Irigasi dan untuk pemeliharaan sungai	7,5 m <sup>3</sup> /s	1,5 m <sup>3</sup> /s	Melalui Sungai Ciujung
	Kota Serang, Kab. Serang, Kota Cilegon	9,3 m <sup>3</sup> /s	4,0 m <sup>3</sup> /s	

Daerah Pelayanan	Desain Waktu Pendistribusian Air		Jalur distribusi
	fase 1 (2020)	fase 2 (2030)	
Kapasitas Waduk Karian	14,6 m <sup>3</sup> /s	14,6 m <sup>3</sup> /s	

1. Perikanan darat, pariwisata dan lain-lain.
2. Pemeliharaan sungai Ciujung.

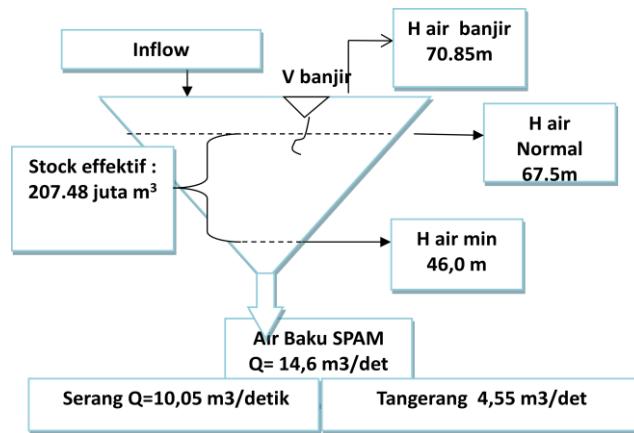


Gambar III.5 Daerah Pelayanan Waduk Karian Meliputi 3 BBSW dengan Modifikasi (KOICA, 2006)

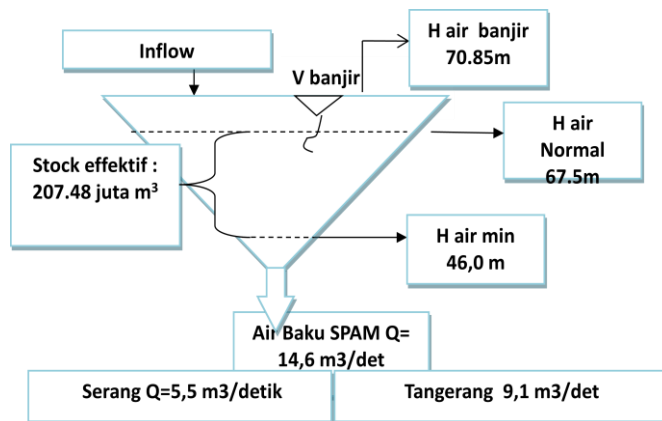
### III.3.2 Data Teknis Waduk Karian

1. Hidrologi (Luas Daerah Tangkapan Air)  
 Luas permukaan Genangan : 17,40 km<sup>2</sup>  
 Luas daerah pengaliran sungai : 288 km<sup>2</sup>  
 Total luas DTA : 305,4 km<sup>2</sup>

## 2. Data Fisik Waduk Karian



Gambar III.6. Lingkungan Ekonomi Waduk Karian Fase 1



Gambar III.7. Lingkungan Ekonomi Waduk Karian Fase 2

Obyektifitas : Pengelolaan optimum waduk menjamin pasokan air di downstream

Konstrain :

1. Hukum kekekalan masa air :  $S_{t+1} = S_t + Q_{in} - Q_{out} - E$
2. Batasan Volume Tampung :  $46 \text{ juta m}^3 < S < 254 \text{ juta m}^3$
3. Debit air masukan :  
 $Q_{in}$  (debit rencana : Kontinu & Markov / debit air acak)
4. Batasan Debit air keluaran :  
 $Q_{\text{Air minum}} + Q_{\text{irigasi}} : 14,6 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q_{\text{spillway}} : 1595 \text{ m}^3/\text{s}$

Keterangan :

S : variabel ditetapkan ( Volume waduk )

Q in : variabel acak ,

E : variabel ditetapkan

Qout : variabel ditentukan (dikomandokan )

t : waktu

#### Data Teknis Waduk Karian

Elevasi Muka Air Minimum : 46.0 m

Elevasi Muka Air Normal : 67.5 m

Elevasi Muka Air Banjir : 70.85 m

Tampungan Bersih : 207.48 jt m<sup>3</sup>

Pengendalian banjir : 60.8 jt m<sup>3</sup>

Tampungan Mati : 46.40 jt m<sup>3</sup>

Keandalan air baku R -20 tahun :  $Q_{20} = 14,6 \text{ m}^3/\text{det}$

- Bendungan

Tipe Bendungan : Urugan batu dengan inti kedap ditengahnya

Tinggi Pondasi : 72.5 m

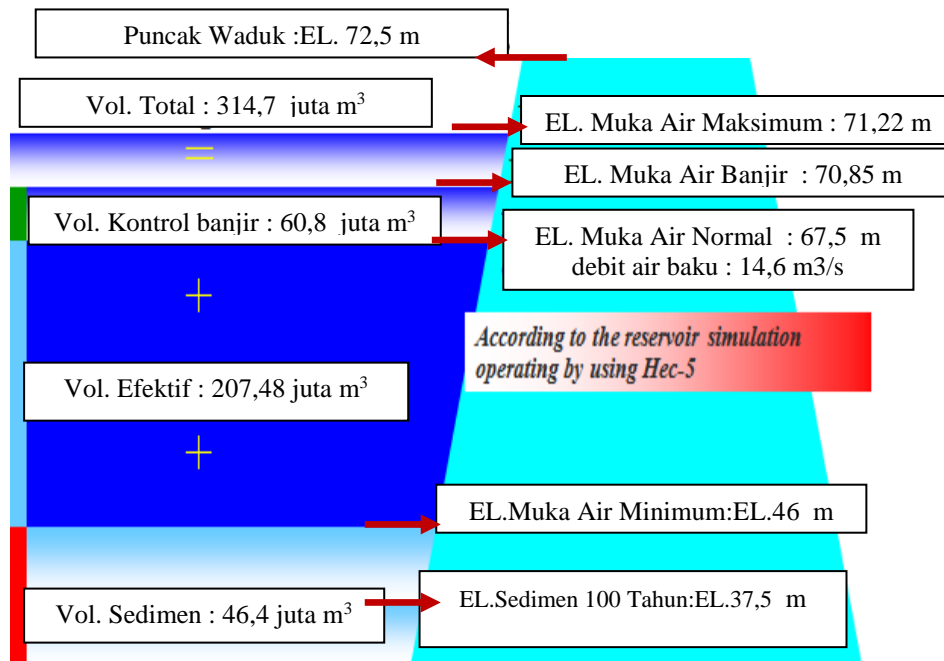
- *Spillway*

Design Debit Banjir (PMF)

a) *Inflow* : 3,672 m<sup>3</sup>/s

b) *Outflow* : 3,190 m<sup>3</sup>/s

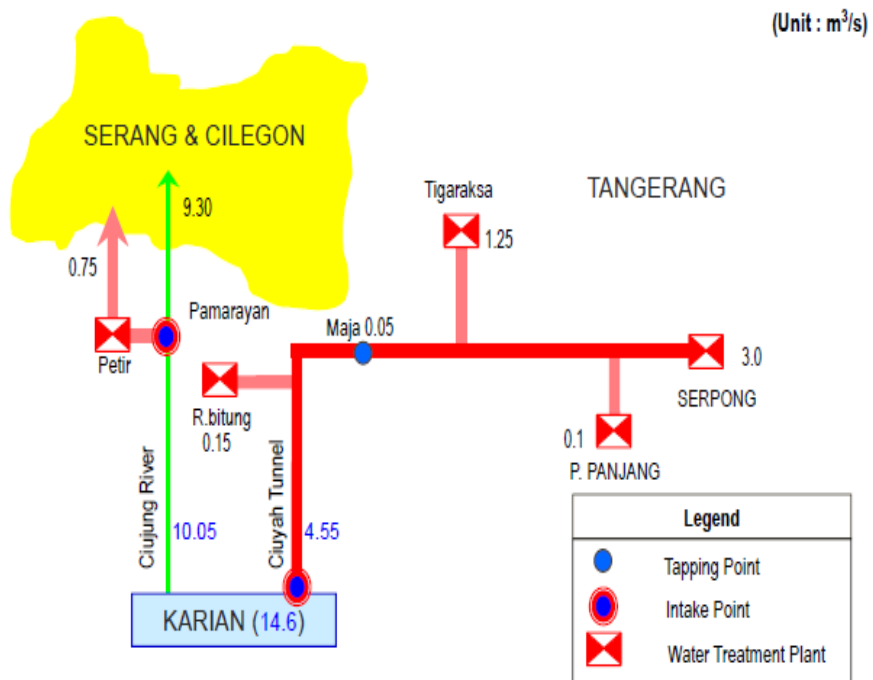
Data teknis jika digambar dalam bentuk sketsa dapat disajikan pada Gambar III.9 dibawah ini .



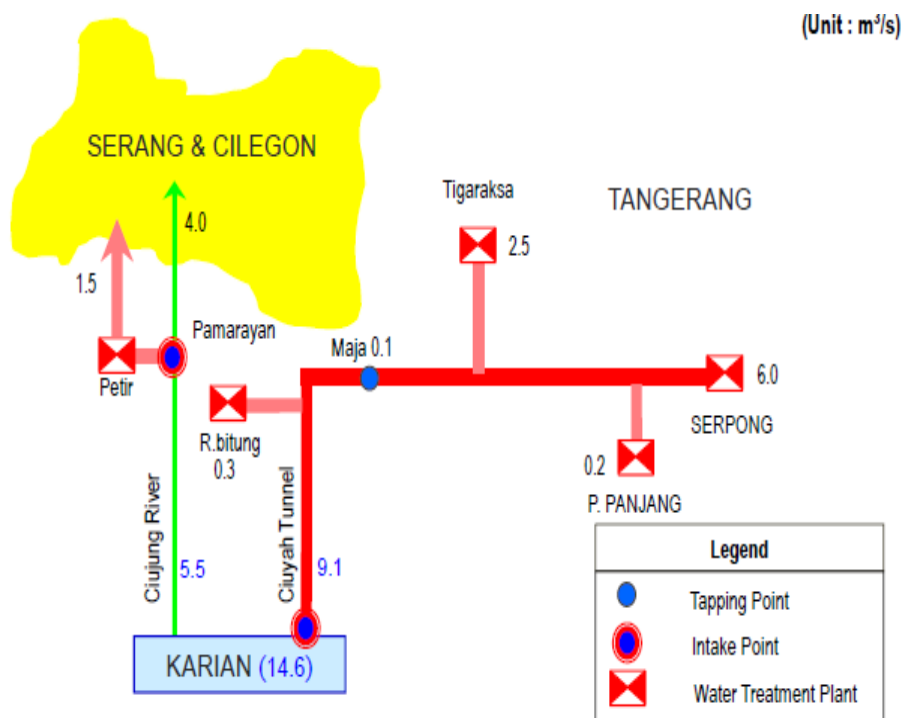
Gambar III.9 Data Teknis Waduk Karian (KOICA, 2006)

Untuk *Outflow* ke kota Serang melalui Sungai Ciujung debit  $Q=10,05 \text{ m}^3/\text{detik}$  sudah termasuk pemeliharaan sungai  $Q= 4 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Alokasi pada fase 1 ini didasarkan atas pertimbangan belum adanya kota Tiga Raksa yang membutuhkan air baku yang sangat tinggi sehingga suplai air ke Tangerang hanya  $4,55 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Sedangkan pada fase kedua diperkirakan kota Tiga Raksa sudah mengalami perkembangan yang cukup pesat sehingga suplai air baku ke kota Tangerang ditingkatkan menjadi  $9,1 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Untuk lebih jelas rencana pendistribusian alokasi air Waduk Karian fase 1 dapat dilihat pada Gambar III.10 Untuk desain alokasi air baku Waduk Karian diambil berdasarkan pertimbangan telah adanya kota Tiga Raksa yang mengalami perkembangan yang sangat pesat sehingga memerlukan pasokan sumber air baku yang tinggi sehingga alokasi air pada fase 2 untuk wilayah Tangerang meningkat menjadi  $9,1 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Sedangkan kekurangan air untuk irigasi Ciujung akan dipenuhi dari Waduk Pasir Kopo yang akan dibangun setelah pembangunan Waduk Karian. Untuk lebih jelasnya rencana pendistribusian alokasi air Waduk Karian fase 2 dapat dilihat pada Gambar III.11 dibawah ini.





Gambar III.10 Rencana Pendistribusian Alokasi Air Waduk Karian Fase 1  
(KOICA, 2006)

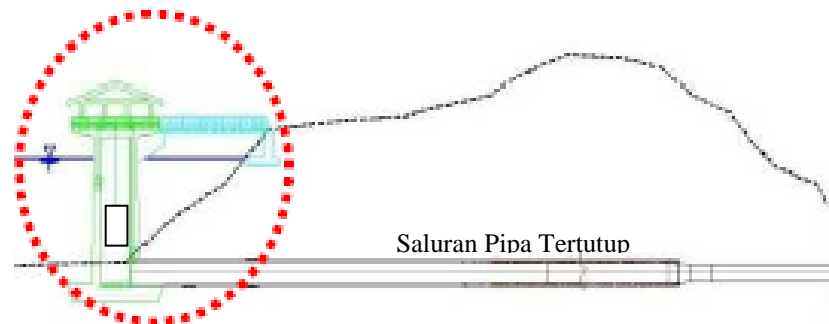


Gambar III.11 Rencana Pendistribusian Alokasi Air Waduk Karian Fase 2  
(KOICA, 2006)

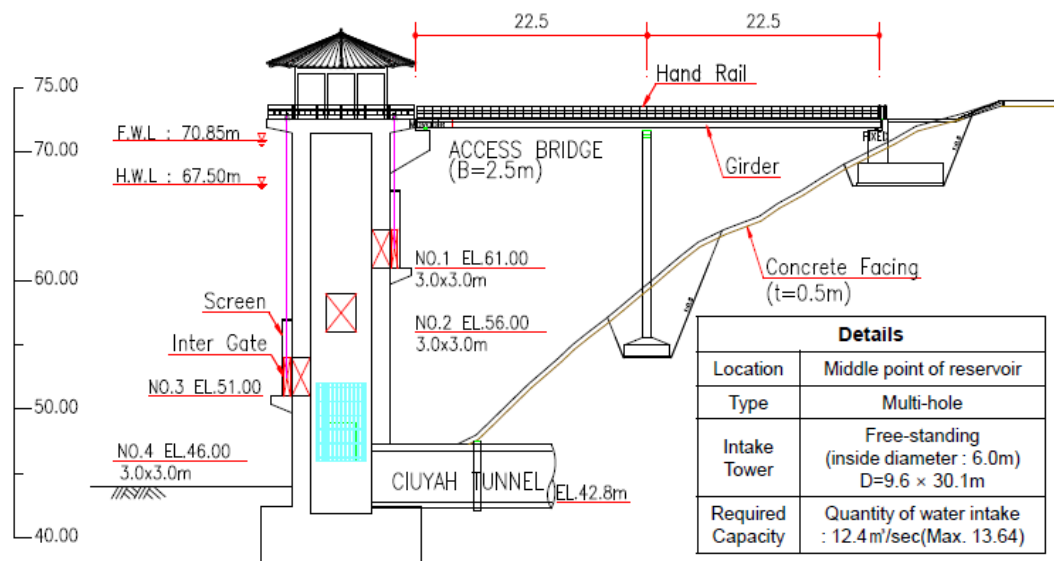
Bangunan *Intake* dan Saluran Pembawa :

Tabel III.3 Profil Bangunan Intake dan Saluran Pembawa (KOICA,2011)

Tipe Pengambilan Air	Tipe Tower (Gambar III.12 & III.13)
Rute	Karian-TigaRaksa-Parung Panjang-Serpong(melalui Provinsi Banten) (Gambar III.14)
Sistem Pendistribusian	Metode Gravitasi
Tipe saluran Pembawa	<i>Open + Closed Channel</i>
Material saluran pembawa	Pipa Baja
Kapasitas Saluran Pipa	10 m <sup>3</sup> /s
Tipe Air	Air yang sudah di <i>Treatment</i> , WTP (Gambar 15)
Ukuran Pipa	L=3.3 km (D=2.3m)
<i>Treated water supply pipeline</i>	L=48.9 km(D=2.3m x 2EA, ke Serpong) L=38.0 km (D=1.2m, to Serang)



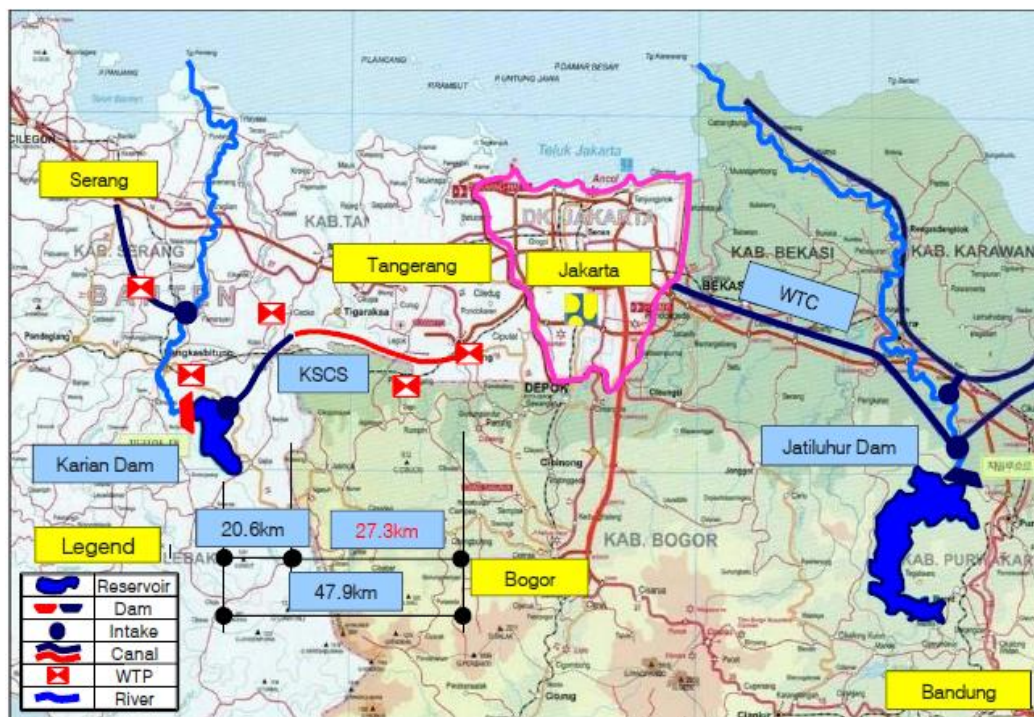
Gambar III.12 Gambaran Umum Intake Tipe Tower Untuk Pengambilan Air (KOICA, 2011)



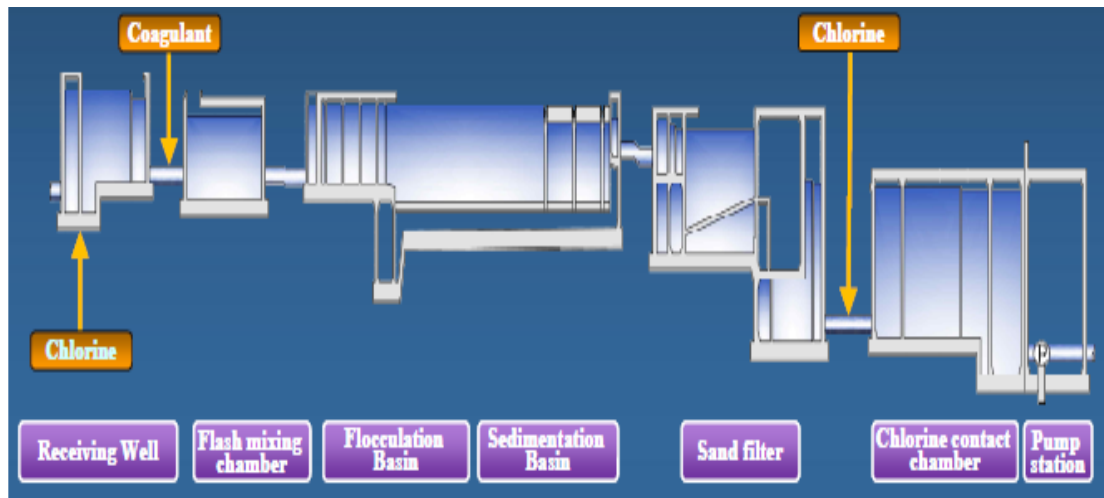
Gambar III.8 Detail Intake Tipe Tower Untuk Pengambilan Air (KOICA, 2011)

Keuntungan dari tipe tower dalam pengambilan air :

- Dapat lebih selektif dalam pengambilan air karena memiliki pintu air ke yang bisa bergerak
- Menghindari deposisi pasir dalam terowongan



Gambar III.9 Rute saluran pembawa (KOICA, 2011)



Gambar III.10 Rencana WTP Setiap Proses dan Setiap Tahap (KOICA,2011)

Penjelasan setiap proses pada rencana WTP di sistem distribusi Waduk Karian disajikan pada Tabel III.4 dibawah ini.

Tabel III.4 Penjelasan setiap proses yang terjadi dalam WTP (KOICA, 2011)

<i>Flash mix</i>	Proses terjadinya flok mikro
<i>Flocculation</i>	Untuk membuat flok mikro menjadi ukuran yang lebih besar
<i>Clarification</i>	Untuk menghilangkan flok dari air
<i>Sand filter</i>	Pemisahan padatan dari air dengan melewati air melalui pori-pori pasir
<i>Disinfection</i>	Untuk menghilangkan microorganic menggunakan klorinasi

### III.4 Data Hidrologi yang Digunakan

Data hidrologi yang digunakan adalah data curah hujan bulanan (mm) dari tahun 1982-2004. Peta lokasi pengambilan data hujan dan debit DAS Ciujung diperlihatkan oleh Gambar III.16 dan stasiun hujan yang digunakan dalam analisa penelitian ini dapat dilihat pada Tabel III.5 dibawah ini.

Tabel III.5 Stasiun Penakar Hujan (BBWSC3,2012)



Kode	Nama Stasiun	Lokasi		Data Yang Tersedia	
		Latitude	Longitude	1982-1997	1998-2009
44A (P1)	Banjar Irigasi	06° 34` 09``	106° 24` 40``		
42A	Sajira	06°29` 30``	106° 21` 14``		
43B (P3)	Jahe Cilaki	06° 32` 23`	106° 18` 29``		
37E (P4)	Cimarga	06° 25` 26``	106° 14` 07``		
3A (P5)	Pasir Ona	06° 22` 10``	106° 15` 57``		
38A (P6)	Sampang Peundeuy	06° 29` 40``	106° 11` 22``		
40 (P7)	Bojong Manik	06° 35` 18``	106° 10` 11``		

Data debit yang diperoleh adalah data debit rata-rata bulanan ( $m^3/detik$ ) dan harian ( $m^3/detik$ ) dari tahun 1970-2004. Peta lokasi pengambilan data debit dan hujan DAS Ciberang diperlihatkan oleh Gambar III.17 dan stasiun debit yang digunakan dalam analisa penelitian ini dapat dilihat pada Tabel III.6 dibawah ini :

Tabel III.6 Stasiun Pos Duga Air (BBWSC3,2012)

Kode	Nama Stasiun	Lokasi		Data Yang Tersedia
		Latitude	Longitude	1970-2004
12 (Q1)	Karian	06°47` 14``	106 32`33``	
07 (Q2)	Sabagi	06° 23` 47``	106° 15` 18``	
5 (Q3)	Jemb Rangkas	06° 20` 55``	106° 14` 50``	
11 (Q4)	Bd Pamarayan	06° 15` 39``	106° 16` 48``	

Keterangan :

-  = Data yang tersedia
-  = Data kosong

### III.5 Kondisi Eksisting Sistem Penyediaan Air Minum

#### III.5.1 Eksisting Penyediaan Air Minum DKI Jakarta

Instalasi Pengolah Air terpasang seluruh DKI Jakarta tersebar lima WTP di Wilayah Jakarta barat dan dua di wilayah Jakarta Timur, total produksi air minum 18.075 lps lihat Tabel III.7 Luas daerah terlayani oleh PAM di DKI Jakarta adalah 61,87% (6.184.062) sedangkan jumlah penduduk belum terlayani 38,11 % (3.361.955 Jiwa).

Tabel III.7 Kapasitas Produksi WTP di PAM Jaya (PAM Jaya, 2007)

No	WTP	Produksi (L/detik)	Sumber Air	Wil. Pelayanan	Pengelola
1	Pejompongan	5600	Tarum Barat,Waduk Jatiluhur -Citarum	Jakarta Barat	
2	Cisadane Serpong	- 2.800	Sungai Cisadane	Jakarta Barat	
3	Cilandak	400	Kali Krukut	Jakarta Barat	
4	Taman Kota	200	Saluran Drainase Cengkareng	Jakarta Barat	PT.Lyonna- ase PAM Jaya
5	Cengkareng	75		Jakarta Barat	
6	Pulo Gadung	4000	Tarum Barat,Waduk Jatiluhur-S.Citarum	Jakarta Timur	

No	WTP	Produksi (L/detik)	Sumber Air	Wil. Pelayanan	Pengelola
7	Buaran	5.000	Tarum Barat, Waduk Jatiluhur –S.Citarum	Jakarta Timur	
	Total	18.075		Jakarta Timur	

### III.5.2 Eksisting Penyediaan Air Minum Banten

Kondisi eksisting penyediaan air minum provinsi Banten secara keseluruhan yang diperoleh dari perpamsi Provinsi Banten disajikan pada Tabel III.8 dibawah ini. Sedangkan kondisi eksisting penyediaan air minum Tangeang secara khusus disajikan pada Tabel III.9.

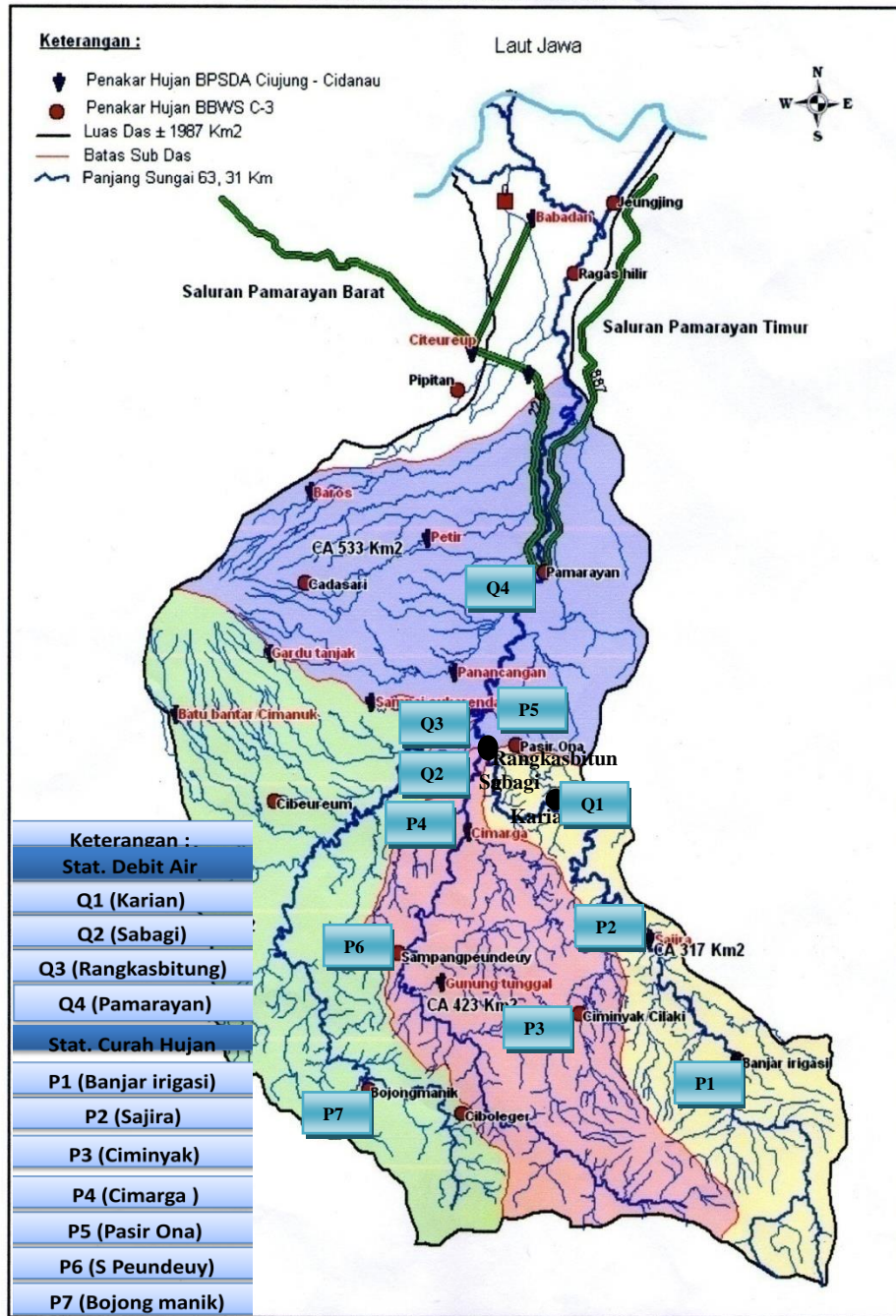
Tabel III.8 Produksi Air PDAM Provinsi Banten (Perpamsi, 2011)

Kabupaten	Kapasitas Produksi (lt/dt)	Sambungan Rumah(Unit)
Pandeglang	202,5	12.269
Lebak	240	15.568
Tangerang	5.040	107.574
Serang	393,5	46.997
Kota Tangerang	375	17.832
Kota Cilegon	0	12.149
Kota Serang	0	0
Kota Tangerang Selatan	0	0

Kabupaten	Kapasitas Produksi (lt/dt)	Sambungan Rumah(Unit)
Total	6251	212389



### DAERAH ALIRAN SUNGAI CIUJUNG



Gambar III.11 Peta Lokasi Stasiun Hujan dan Debit Daerah Aliran Sungai Ciujung (BBWSC3,2012)



Gambar III.12 Peta Lokasi Pengambilan Data Hujan dan Debit Daerah Aliran Sungai Ciberang (BBWSC3, 2012)

Tabel III.9 Kapasitas Produksi PDAM Tirta Kerta Raharja(Perpamsi, 2012)

No	WTP	Produksi (Lps)	Sumber Air	Wil. Pelayanan
1	Cikokol	1575	Sungai Cisadane	Jakarta
2	Serpong	3000	Sungai Cisadane	<i>BSD City</i>
3	Perumnas	120	Sungai Cisadane	Lippo

No	WTP	Produksi (Lps)	Sumber Air	Wil. Pelayanan
4	Babakan	80	Sungai Cidurian	Gading Serpong
5	Bojongrere d	100	Sungai Cidurian	Airport Soeta
6	Solear	100	Sungai Cidurian	Bintaro
7	IKK Kronjo	7,5	Sungai Cidurian	Kab Tangerang
8	IKK Pasar Kemis	2,5	Sungai Cidurian	Kota Tangerang
9	IKK Kresek	15	Sungai Cidurian	Kota Tangerang Selatan
10	IKK Mauk	115	Sungai Cidurian	Curah Lainnya
11	IKK Rajeg	25	Sungai Cidurian	Curah Lainnya

### III.5.3 Kebutuhan Air Minum Regional Provinsi Banten

Kebutuhan air dan produksi eksisting Regional Provinsi Banten dan dapat dilihat pada Tabel III.10 dibawah ini.

Tabel III.10 Kebutuhan Air Minum Regional Provinsi Banten (KOICA, 2008)

Daerah Pelayanan		Tahun		
		2015	2020	2030
Serang, Tangerang, Lebak, Bogor dan Jakarta	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /s)	24,91	33,53	51,79
	Ketersediaan Air (m <sup>3</sup> /s)	12,34	18,43	18,43
	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /s)	12,57	15,1	33,36

## Bab IV Metodologi

### IV.1 Umum

Penelitian ini akan membahas mengenai rencana pengembangan infrastruktur air minum sumber daya air (SDA) dengan memanfaatkan Waduk Karian sebagai Waduk Ekaguna untuk memenuhi kebutuhan air di Regional Provinsi Banten. Dilakukan beberapa tahapan yaitu *Survey*, *Investigation*, *Design* dan *Operation*. *Survey* dengan melihat langsung kondisi eksisting sumber daya air sebagai input Waduk Karian dan melakukan pengambilan data sekunder, kemudian

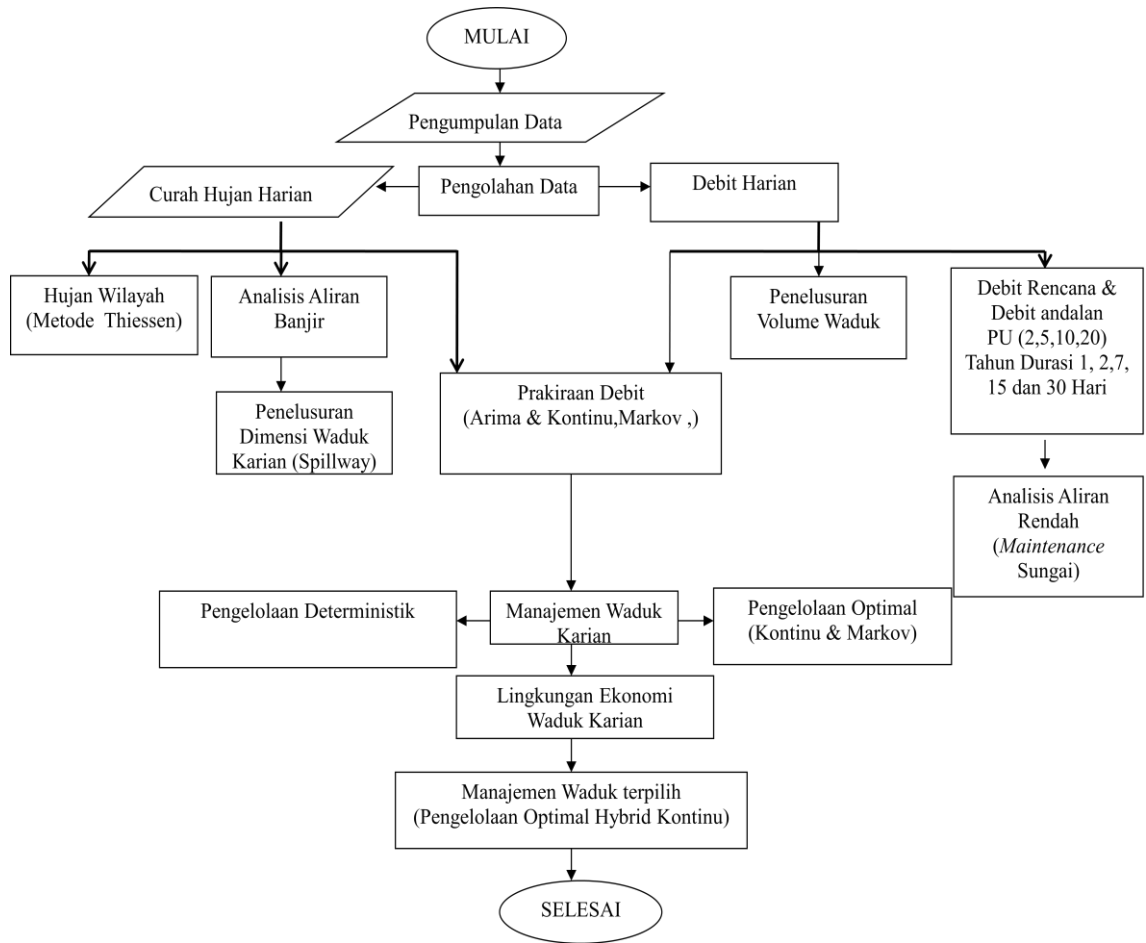
*Investigastion* dengan menghitung keandalan air baku sungai sumber daya air Waduk Karian. Tahapan *Design* dengan melakukan perhitungan penelusuran kapasitas Waduk Karian, kemudian tahap *Operation* dengan melakukan pengembangan model optimasi pola pengusahaan waduk ketidakpastian masa depan. Diagram alir metodologi penelitian ditampilkan pada Gambar IV.1.

## **IV.2 Desain Penelitian**

Secara garis besar, desain penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Penelitian dilakukan pada lokasi DAS Ciberang sub-DAS Ciujung;
- b) Pengumpulan data, terutama data curah hujan, debit, klimatologi, data profil sungai, dan data teknis waduk. Data yang dibutuhkan diambil dari beberapa pos pencatatan di DAS Ciberang dari bagian data Balai Besar Sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau (BBWSC-3), situs resmi Provinsi Banten, Jakarta dan Kabupaten Bogor, juga dari penelitian lain yang mendukung;
- c) Mengolah data curah hujan di wilayah DAS Ciberang mulai dari tahun 1982-2004;
- d) Melakukan perhitungan debit rencana periode ulang dan debit andalan dari sungai Ciberang dengan berbagai metode;
- e) Penelusuran Perencanaan Dimensi Waduk Karian;
- f) Analisis aliran banjir (debit rencana banjir) untuk mengetahui dimensi *Spillway*;
- g) Analisis aliran rendah untuk *maintenance* sungai;
- h) Perhitungan Prakiraaan debit masa depan dengan model Kotinu korelasi spasial hujan dan debit, Stokhastik Markov dan Arima.
- i) Manajemen Waduk, pengelolaan deterministik dan pengelolaan optimal dengan model Markov, Hybrid Markov dan model Kontinu. Model ini dipilih karena memiliki nilai koefisien korelasi yang tinggi dengan kondisi nyatanya (Arwin, 1992; Gandini, 2011; Marganingrum, 2013)

## **IV.3 Diagram Alir Penelitian**



Gambar IV.1 Diagram Alir Penelitian

#### IV.4 Pengolahan Data Hujan

Data curah hujan dan debit yang dipergunakan diambil dari pos-pos pencatatan hujan dan debit yang ada di DAS Ciberang diperoleh dari kantor (BBWSC-3) Serang-Banten.

##### IV.4.1 Perhitungan Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan sumber daya air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah yang dinyatakan dalam (mm). Perhitungan curah hujan wilayah dilakukan untuk curah hujan wilayah bulanan dan curah hujan wilayah tahunan. Perhitungan dilakukan dengan Metode Thiessen.

#### **IV.4.2 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi**

Perhitungan curah hujan maksimum boleh jadi menggunakan beberapa metode yaitu dengan statistik Teoritik (periode ulang) dengan, metode hersfiled dan dengan metode PMP Isohyet penjelasan lebih lengkap ada di Bab II. Perhitungan ini dimaksudkan untuk mencari kemungkinan curah hujan maksimum di daerah Waduk Karian yang kemudian curah hujan maksimum boleh jadi ini disubstitusikan ke persamaan Rasional untuk menghitung kemungkinan debit banjir di Waduk Karian. Informasi tentang kemungkinan debit banjir akan digunakan untuk menentukan dimensi *Spillway*.

#### **IV.5 Penentuan Debit Andalan, Debit Rencana, Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah**

Debit andalan adalah debit eksisting yang dimiliki suatu DAS sedangkan debit rencana adalah debit yang direncanakan akan terjadi pada periode ulang tertentu. Perhitungan debit andalan dalam penelitian ini dihitung dengan menggunakan metode statistik Historik dan debit rencana menggunakan metode statistik Teoritik. Sedangkan untuk penentuan tahun kering, normal dan basah digunakan metode Diskrit Markov.

Untuk perhitungan debit andalan sungai Ciberang dilakukan beberapa tahapan yaitu tahapan pertama yaitu pengumpulan data debit, setelah memperoleh data debit kemudian data tersebut disusun dari yang terbesar ke yang terkecil, kemudian dihitung *moving average* dari data debit durasi 1,2,7,15 dan 30 hari setelah itu dicari nilai paling minimum dari setiap durasi, selanjutnya tentukan probabilitas keandalan setiap datanya dan dilihat dari rerata setiap data yang dapat memenuhi kebutuhan *didownstream*, rerata debit yang mampu memenuhi kebutuhan air *didownstream* merupakan debit andalannya.

Untuk perhitungan debit andalan Waduk Karian dihitung dari debit bulanan sungai Ciberang. Data debit bulanan disusun dari besar kekecil kemudian dicari nilai probabilitas keandalan setiap datanya selanjutnya dihitung nilai rerata debit untuk setiap probabilitas, nilai rerata yang mampu memenuhi kebutuhan air *didownstream* merupakan debit andalannya.

Untuk perhitungan debit rencana sungai Ciberang dilakukan beberapa tahapan yaitu tahapan pertama yaitu pengumpulan data debit, setelah memperoleh data debit yang lengkap untuk metode statistik Teoritik data debit kemudian dibuat distribusi statistiknya untuk menganalisis probabilitas kejadian debitnya. Hal ini ditujukan untuk memperoleh nilai debit rencana dengan periode ulang tertentu. Analisis dilakukan dengan mempergunakan distribusi teoritis yaitu distribusi Log Normal, Normal, Log-Peron III dan Gumbel yang diuji normalitasnya dengan menggunakan Chi-Kuadrat dan Kolmogorov-Sminrnov. Penentuan debit rencana untuk alokasi air minum ditunjukkan oleh Gambar II.14 pada Bab II.

Untuk penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan metode Diskrit Markov, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menyusun data debit yang telah lengkap dari besar kekecil kemudian tahap selanjutnya membagi data debit tersebut kedalam tiga kelas kering, normal dan basah. Selanjutnya dibuat matriks transisi tiga kelas orde satu tahunannya untuk memprakirakan tahun kering, normal dan basah.

#### **IV.6 Perhitungan Ulang Kapasitas Tampungan, Kemungkinan Debit Banjir dan Aliran Rendah Untuk Pemeliharaan Sungai**

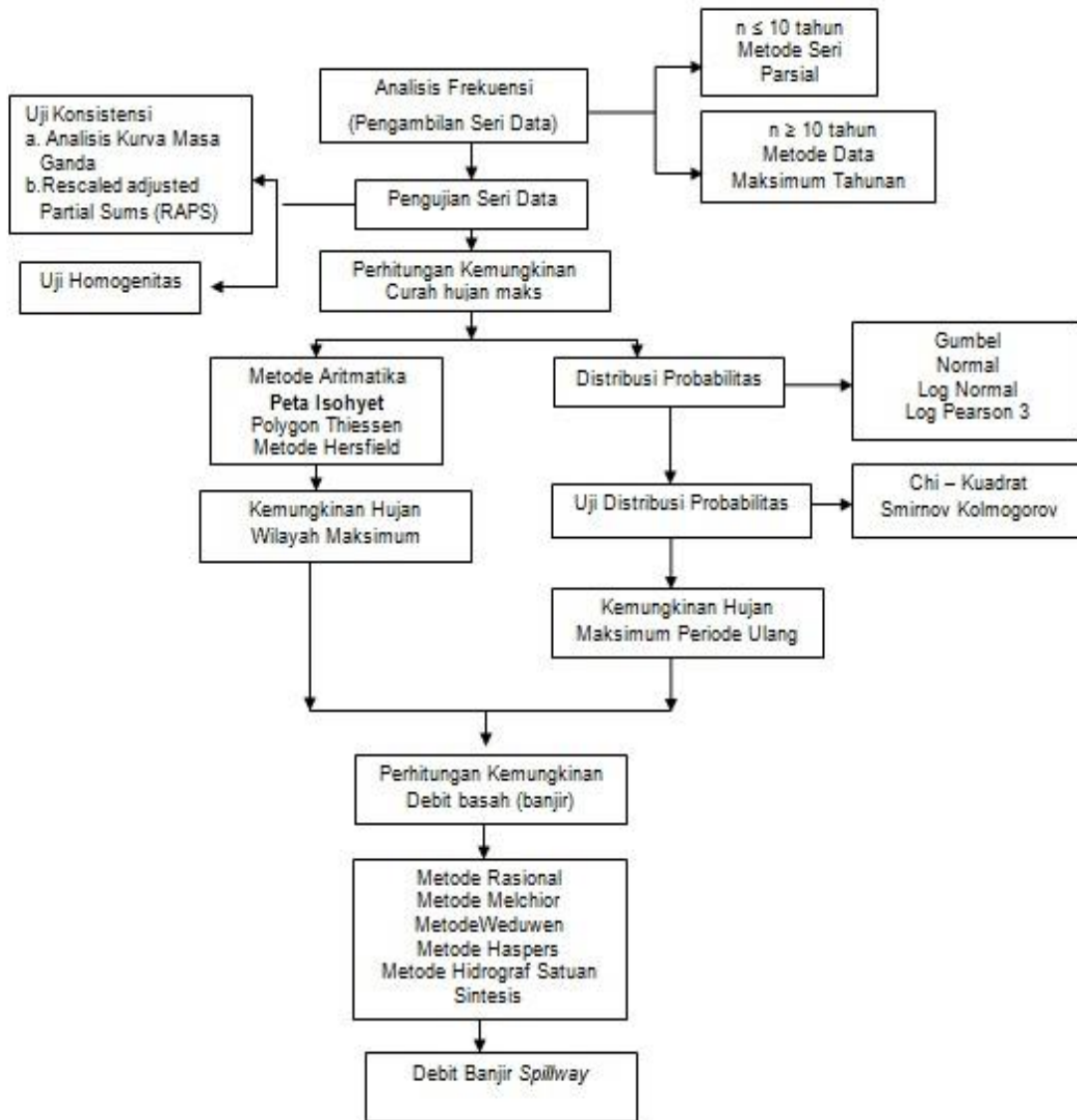
##### **IV.6.1 Perhitungan Ulang Kapasitas Tampungan Waduk**

Perhitungan ulang kapasitas tampungan waduk dilakukan dengan menggunakan metode Ripple. Volume waduk total dihitung dengan menggunakan debit bulanan periode ulang 20 tahun basah ( $Q-20$ ) sebagai debit masukan. Kemudian nilai yang diperoleh dicocokkan dengan hasil perhitungan KOICA 2006. Untuk volume waduk efektif dihitung dengan debit masukan merupakan debit bulanan normal ( $Q_r$ ) menggunakan metode Ripple dengan mencari nilai *storage* setiap tahun kemudian nilai *storage* yang diperoleh disusun dari nilai paling besar ke nilai yang paling kecil (Weibull) dan dihitung probabilitas kendalan setiap datanya. Dari Rerata setiap probabilitas data dapat dilihat *storage* yang menunjukkan volume efektif Waduk Karian yang sesuai dengan hasil perhitungan KOICA 2006.



#### IV.6.2 Perhitungan Ulang Debit Banjir untuk Dimensi *Spillway*

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan untuk menghitung besarnya debit banjir, langkah-langkah tersebut disajikan pada Gambar IV.2 dibawah ini.



Gambar IV.2 Diagram alir pedoman alokasi air sungai untuk irigasi dan DMI  
(Kamiana, 2011)

#### IV.6.3 Perhitungan Ulang Debit Aliran Rendah Harian Menggunakan Analisa Statistik Teoritik

Analisis aliran rendah ini dilakukan untuk menghitung debit minimum yang harus dikeluarkan oleh Waduk Karian untuk *maintenance* sungai. Langkah-langkah analisis aliran rendah adalah sebagai berikut :

- Dicari debit paling kering harian dalam satu tahun
- Kemudian dilakukan uji distribusi yang cocok dengan Chi-kuadrat dan Kolmogorov smirnov
- Setelah dilakukan pengujian distribusi kemudian dicari nilai debit ekstrim kering dengan mencari periode ulangnya sesuai dengan kriteria aliran rendah untuk *maintenance* sungai.

Dalam penelitian ini digunakan debit ekstrim kering pada periode ulang 355 tahun untuk *maintenance* sungai. Nilai debit ini sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan oleh KOICA 2006.

#### **IV.7 Model Prakiraan Debit Masa Depan**

##### **IV.7.1 Model Prakiraan Debit Masa Depan Korelasi Spasial Hujan-Debit (Kontinu)**

Model prakiraan debit korelasi *spasial*, dapat dilakukan dengan melakukan korelasi antara hujan dengan debit atau debit dengan debit dengan beberapa variabel penjelas, dengan 1 variabel penjelas biner, 2 variabel penjelas terner dan 3 variabel penjelas kuarterener kemudian dicari koefisien determinasi paling tinggi, jika koefisien determinasi nilainya semakin mendekati 1 maka model prakiraan debit semakin mendekati nilai debit aktualnya. Model ini telah terbukti mampu memprakirakan debit masa depan dengan baik (Arwin 1992 ; Azizah 2011; Marganingrum 2013)

##### **IV.7.2 Model Debit prakiraan Masa Depan Diskrit-Markov**

Konsep Diskrit Markov: Probabilitas kejadian pada suatu waktu tertentu bergantung/ditentukan hanya dari kejadian waktu sebelumnya. Perhitungan probabilitas dapat disajikan dalam bentuk Tabel lihat Tabel II.6 pada Bab II.

Perhitungan probabilitas dengan menggunakan matriks transisi 3 kelas bulanan dilakukan dengan untuk memprakirakan debit bulanan.

Prosedur untuk memperoleh matriks transisi adalah sbb :

1. Menentukan banyaknya pembagian kelas dalam penelitian ini dilakukan pembagian 3 kelas kering (0), normal (1) dan basah (2).

2. Memasukkan data debit historik ke dalam pembagian kelas sesuai dengan batas kelas yang ditentukan.
3. Mencari nilai probabilitas kejadian  $j$  pada waktu  $t_n$  terjadi bila kejadian  $i$  terjadi pada waktu  $t_{n-1}$ .
4. Membangun matriks transisi dengan elemen tiap baris dan kolom hasil perhitungan probabilitas transisi pada waktu yang ditinjau.

Setelah penentuan matriks kemudian dilakukan perhitungan nilai rata-rata kelas hasil pengklasifikasian.

Dari hasil matriks transisi tiga kelas diperkirakan debit masa depan sesuai dengan kelas yang telah ditentukan. Selanjutnya nilai rata-rata dari ketiga kelas disubstitusikan kedalam debit prakiraan. Hasil akhir berupa nilai debit prakiraan bulanan Markov.

#### **IV.7.3 Model Debit prakiraan Masa Depan Arima**

Langkah-langkah model ARIMA :

1. Tahap Identifikasi

Tahap identifikasi dilakukan tiga hal yaitu identifikasi terhadap pola data, kestasioneran data dan perilaku ACF dan PACF.

2. Estimasi Model.

Pada tahap estimasi, penentuan nilai estimasi awal untuk parameter-parameter dari model tentatif berdasarkan pola ACF dan PACF.

3. Evaluasi Model.

Melakukan uji diagnostik untuk menguji kedekatan model dengan data. Uji ini dilakukan dengan menguji nilai *residual* dan signifikansi.

4. Peramalan.

Peramalan dilakukan menggunakan perangkat lunak MINITAB 14. Nilai hasil peramalan disediakan dari perangkat tersebut.

#### **IV.8 Manajemen Waduk Karian**

Manajemen Waduk Karian terdiri dari lingkungan ekonomi *storage*, pengelolaan deterministik (*Certainty*), dan pengelolaan optimal (*Uncertainty*).

#### **IV.8.1 Lingkungan Ekonomi *Storage***

Lingkungan ekonomi berisi informasi mengenai *storage* maksimum, *storage* minimum dan *storage* efektif .

#### **IV.8.2 Pengelolaan Deterministik**

Pengelolaan Waduk Deterministik (*Avenir Certaine*) yaitu pengelolaan yang memperlakukan fenomena yang terjadi sebagai suatu yang bersifat pasti (deterministik). Dalam penelitian ini keacakan debit diantisipasi dengan menggunakan debit rencana kering, normal dan basah menggunakan metode teoritik, kemudian digunakan pedoman lintasan kering, normal dan basah untuk menghitung keluaran dari waduk. Penentuan penggunaan debit rencana dan pedoman lintasan menggunakan matriks transisi tiga kelas Diskrit Markov Tabel 1 (Arwin, 2009).

#### **IV.8.3 Pengelolaan Optimal**

Pengelolaan Optimal bertujuan untuk memanfaatkan air semaksimal mungkin untuk meminimalisir air yang terbuang. Pengelolaan Optimal ketidakpastian debit air masa depan (acak) dilakukan dengan menggunakan Model Markov, Hybrid Markov dan Hybrid Kontinu Pengelolaan optimal melakukan antisipasi keacakan debit dengan memprakirakan debit masa depan. Dalam penelitian ini model prakiraaan debit masa depan yang digunakan adalah model Diskrit Markov, Arima dan model Korelasi Spasial Hujan dan Debit. Kemudian Pengelolaan optimal juga dapat memprakiraan keacakan iklim dengan melakukan penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan matriks transisi markov 3 kelas. Selanjutnya dilakukan perhitungan lintasan pedoman (kering, normal, basah) yang digunakan dihitung dengan metode statistik teoritik dan metode diskrit Markov.

Kemudian setelah diketahui debit prakiraan dan lintasan pedoman yang digunakan kemudian nilai tersebut disubstitusikan kedalam persamaan hukum kekekalan masa untuk menghitung debit keluaran waduk Karian.

Pengelolaan optimal model Markov menggunakan debit prakiraan masa depan Diskrit Markov, lintasan pedoman hasil perhitungan model Diskrit Markov dan

penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan matriks transisi 3 kelas orde 1 Markov.

Pengelolaan optimal model Hybrid Markov menggunakan debit prakiraan masa depan korelasi spasial hujan dan debit, lintasan pedoman hasil perhitungan metode Diskrit Markov dan penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan matriks transisi 3 kelas orde 1 Markov.

Pengelolaan optimal model Hybrid Kontinu menggunakan debit prakiraan masa depan spasial hujan dan debit, Lintasan pedoman hasil perhitungan metode statistik Teoritik dan penentuan tahun kering, normal dan basah menggunakan matriks transisi 3 kelas orde 1 Markov.

## **Bab V Hasil dan Pembahasan**

### **V.1 Pengumpulan Data**

Data diambil dari 5 (lima) pos pencatatan data hujan dan debit di DAS Ciberang. Pos pencatatan hujan dan debit dapat dilihat Tabel V.1 dan Tabel V.2 di bawah ini. Tabel ketersediaan data terlampir.

Tabel V.1 Pos Pencatatan Hujan

Kode	Nama Stasiun	Lokasi	Data Yang Tersedia	
			1982-1997	1998-2009

		Latitude	Longitude		
(P1)44A	Banjar Irigasi	06°34'09``	106°24'40``		
(P2)42A	Sajira	06°29'30``	106°21'14``		
(P3)43B	Jahe Cilaki	06°32'23`	106°18'29``		
(P4)37E	Cimarga	06°25'26``	106°14'07``		
(P5)3A	Pasir Ona	06°22'10``	106°15'57``		
(P6)38A	S Peundeuy	06°29'40``	106°11'22``		

Tabel V.2 Pos Pencatatan Debit

Kode	Nama Stasiun	Lokasi		Data Yang Tersedia
		Latitude	Longitude	1970-2004
(Q1)12	Karian	06° 47' 14``	106°32'33``	
(Q2)07	Sabagi	06°23'47``	106°15'18``	
(Q3)11	Pamarayan	06°15'39``	106°16'48``	
(Q4) 05	Rangkasbitung	06°20'55``	106°14'50``	

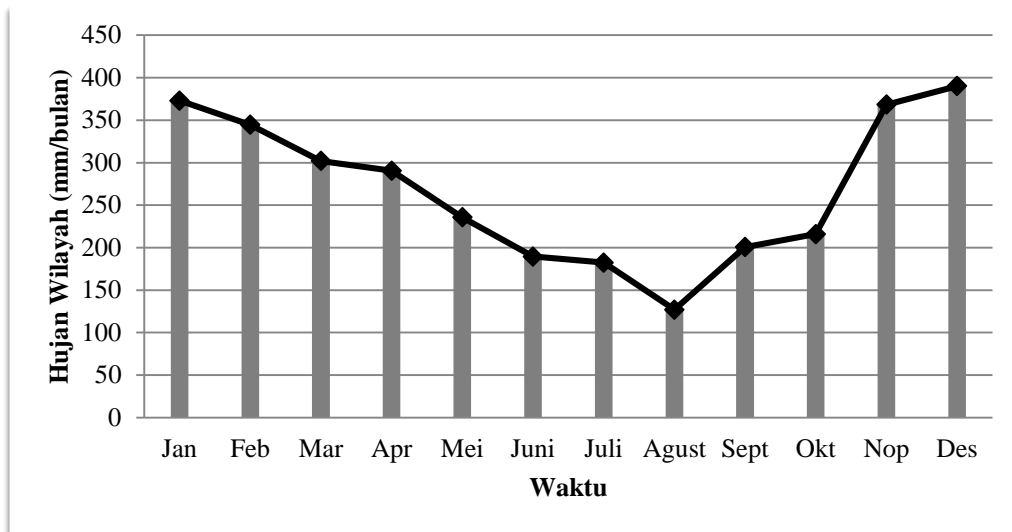
Keterangan :

- = Data yang tersedia
- = Data yang digunakan

## V.2 Pengolahan Data Hujan

### V.2.1 Perhitungan Distribusi Hujan Wilayah

Perhitungan hujan wilayah dilakukan dengan Metode Thiessen. Data hujan yang digunakan adalah data hujan bulanan setelah koreksi penanggalan, data terlampir. Jika digambarkan dalam grafik dapat dilihat pada Gambar V.1 bawah ini.



Gambar V.1 Grafik Curah Hujan Wilayah DAS Ciberang Metode Polygon Thiessen (1982-2004)

Wilayah Karian termasuk dalam zona tropis lembab yang khas dan pola cuaca yang dipengaruhi oleh angin Mosoon.

Berdasarkan distribusi data rata-rata curah hujan bulanan (Tabel V.3), hujan maksimum terjadi pada bulan Desember yaitu mencapai 290 mm dan terendah pada bulan Agustus yang mencapai 127 mm. Berdasarkan distribusinya, daerah Ciberang memiliki pola iklim Monsoon dimana angin Monsoon barat mendominasi daerah dengan curah hujan melimpah dari Desember sampai Maret. Pada kondisi ini matahari berada di belahan bumi selatan, mengakibatkan belahan bumi selatan khususnya Australia lebih banyak memperoleh pemanasan matahari dari pada benua Asia. Akibatnya di Australia bertemperatur tinggi dan tekanan udara rendah (minimum). Sebaliknya di Asia yang mulai ditinggalkan matahari temperaturnya rendah dan tekanan udaranya tinggi (maksimum).

Oleh karena itu terjadilah pergerakan angin dari benua Asia ke benua Australia sebagai angin Monsoon barat. Angin ini melewati Samudera Pasifik dan Samudera Indonesia serta Laut Cina Selatan. Karena melewati lautan tentunya banyak membawa uap air dan setelah sampai di kepulauan Indonesia turunlah hujan.

Monsoon timur muncul dengan curah hujan kurang dari Juni hingga September bersifat kering yang mengakibatkan wilayah sekitar Waduk Karian mengalami musim kering/kemarau, ketika matahari mulai bergeser ke belahan bumi utara. Di belahan bumi utara khususnya benua Asia temperaturnya tinggi dan tekanan udara rendah (minimum). Sebaliknya di benua Australia yang telah ditinggalkan matahari, temperaturnya rendah dan tekanan udara tinggi (maksimum). Terjadilah pergerakan angin dari benua Australia ke benua Asia melalui Indonesia sebagai angin Monsoon timur. Angin ini tidak banyak menurunkan hujan, karena hanya melewati laut kecil dan jalur sempit seperti Laut Timor, Laut Arafuru, dan bagian selatan Irian Jaya, serta Kepulauan Nusa Tenggara. Oleh sebab itu, di Indonesia sering menyebutnya sebagai musim kemarau.

Di antara kedua musim, yaitu musim penghujan dan kemarau terdapat musim lain yang disebut musim pancaroba (peralihan). Peralihan dari musim penghujan ke musim kemarau disebut musim kemareng untuk wilayah Waduk Karian musim kemareng yaitu bulan April dan Mei, sedangkan peralihan dari musim kemarau ke musim penghujan disebut musim labuh yaitu pada bulan Oktober dan Nopember. Rata-rata hujan tahunan wilayah Waduk Karian adalah 261 mm/bulan.

### **V.3 Debit Andalan**

Debit andalan merupakan debit yang tersedia di suatu DAS pada waktu tertentu diperhitungkan keberadaannya agar mampu memenuhi laju kebutuhan air. Besarnya debit andalan ini dapat ditentukan dengan metode ranking (Statistik Historik) / rasional.



Tabel V.3 Curah Hujan wilayah Menggunakan Metode Polygon Thiessen

Tahun	Hujan Wilayah (mm)												Rata-Rata (mm)
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nov	Des	
1982	527,1	378	193	592	186	108	160	40	127	190	309	371	265
1983	478,2	338	299	192	174	148	110	43	151	271	231	158	390
1984	229,5	315	251	226	181	151	18	152	151	139	292	201	192
1985	472,1	260	246	360	221	165	238	118	274	180	145	321	250
1986	515,9	224	692	476	335	322	206	243	422	235	323	434	369
1987	469,8	305	425	661	315	396	358	46	121	266	163	244	314
1988	266,6	368	374	373	466	66	156	255	182	168	241	240	263
1989	439,6	541	241	95	522	307	214	199	167	206	195	202	277
1990	540,9	158	262	140	189	55	127	175	634	268	300	307	263
1991	297,6	503	190	247	201	91	132	72	141	93	429	269	222
1992	309,2	680	540	581	465	188	318	58	295	450	553	228	389
1993	442,5	401	283	533	438	334	195	316	373	99	443	708	380
1994	479,4	382	252	565	193	93	81	52	68	222	208	206	234
1995	604,1	358	368	255	177	228	273	62	117	310	565	492	318
1996	283,6	401	510	412	396	278	236	334	151	312	356	584	355
1997	290,1	302	264	435	341	49	9	16	6	92	229	286	193
1998	469,3	454	572	559	401	367	302	313	257	354	207	168	369
1999	439,7	359	94	237	255	360	304	183	215	341	187	320	275
2000	323,1	373	380	233	268	347	266	86	235	209	267	171	263
2001	260,1	351	131	159	234	121	234	97	204	121	164	196	189
2002	199,2	195	118	210	151	56	54	18	2	24	185	113	110
2003	93,2	141	80	148	162	60	55	14	83	291	126	190	120
2004	149,7	136	182	325	211	69	149	29	241	124	270	265	179
Rerata	373	344	302	348	282	190	182	127	201	216	278	290	261

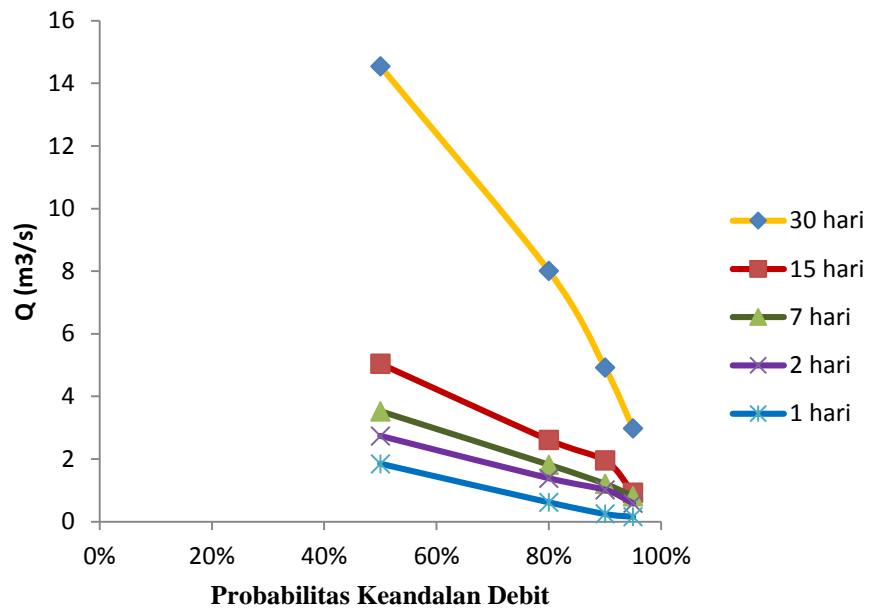
Perhitungan debit andalan sungai Ciberang dengan menggunakan metode statistik Historik. Langkah pertama yaitu dengan mencari nilai debit paling minimum dari *Moving Average* setiap durasi kemudian merangking dan mencari nilai probabilitas setiap datanya. Untuk debit andalan sungai Ciberang durasi 1,2,7,15 dan 30 hari dapat dilihat pada Tabel V.4.

Tabel V.4 Debit Andalan Sungai Ciberang (1970-2004)

Probabilitas Keandalan	Q (m <sup>3</sup> /s)				
	1 hari	2 hari	7 hari	15 hari	30 hari
50%	1,85	2,74	3,53	5,04	14,55
80%	0,62	1,39	1,82	2,61	8,01
90%	0,25	1,02	1,21	1,96	4,92
95%	0,16	0,59	0,81	0,92	2,98

Debit andalan untuk air baku minum yang dialokasikan menurut kriteria desain waduk adalah debit ekstrim suksesif kering (minimum) periode ulang 10 tahun yang analog dengan debit andalan Probabilitas 90% dan 20 tahun yang analog dengan debit Probabilits 95%. Kebutuhan air baku Regional Provinsi Banten sampai dengan tahun 2015 sebesar 12,57 m<sup>3</sup>/det sedangkan air yang tersedia di sungai Ciberang (*baseflow*) pada probabilitis 90% dan probabilitis 95% untuk setiap durasi memiliki nilai debit yang sangat kecil sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan air di *downstream*. Grafik V.2 menunjukkan tingkat ketersediaan *baseflow* sungai Ciberang untuk setiap durasi. Oleh karena itu diperlukan bendungan yang mampu menampung air dari suatu DAS, untuk selanjutnya digunakan dalam rangka pemenuhan kebutuhan air baku.

Perhitungan debit andalan waduk Karian idealnya dilakukan untuk setiap durasi 1,2,7, 15 dan 30 hari, namun dilihat dari perhitungan debit andalan sungai Ciberang, debit andalan durasi 1,2 dan 7 nilainya sangat kecil sehingga perhitungan debit andalan waduk Karian dilakukan untuk durasi 15 dan 30 hari saja.



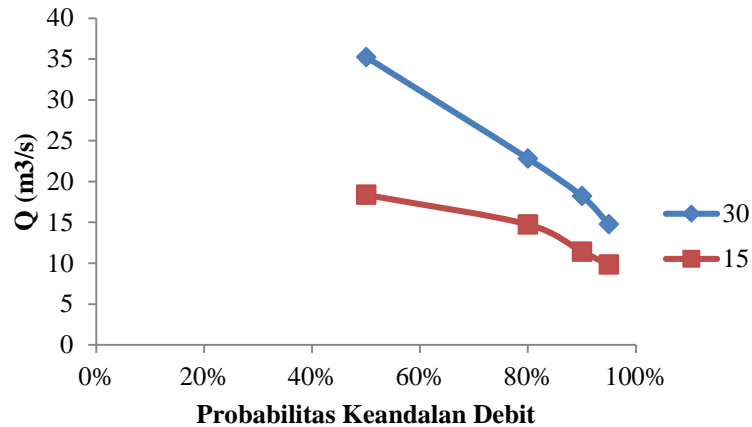
Gambar V.2 Grafik Keandalan Debit Sungai Ciberang Menggunakan Statistik Historik (1970-2004)

Hasil Perhitungan debit andalan Waduk Karian, dapat dilihat pada Tabel V.5 dibawah ini.

Tabel V.5 Debit Andalan Waduk Karian Untuk Durasi 15 dan 30 hari (1970-2004)

Probabilitas Keberhasilan	Q (m <sup>3</sup> /s)	
	15(Hari)	30(Hari)
50%	18,39	33,74
80%	14,76	20,22
90%	11,39	16,92
95%	9,86	14,45

Grafik keandalan debit waduk Karian durasi 15 dan 30 hari dapat dilihat pada Gambar V.3 dibawah ini.



Gambar V.3 Debit Andalan Waduk Karian durasi 15 dan 30 hari (1970-2004)

Kebutuhan air baku Regional Provinsi Banten sampai dengan tahun 2015 sebesar  $12,57 \text{ m}^3/\text{det}$  dan air yang tersedia (debit andalan) di Waduk Karian pada debit setengah bulanan Probabilitas 95% sebesar  $9,86 \text{ m}^3/\text{s}$  sedangkan untuk debit bulanan probabilitas 95% sebesar  $14,45 \text{ m}^3/\text{s}$  (Tabel V.5). Sehingga dapat disimpulkan dengan adanya pembangunan waduk dapat memenuhi kebutuhan air di *downstream*.

#### V.4 Debit Rencana Alokasi DMI Waduk Karian

Dari hasil perhitungan debit andalan waduk Karian terlihat debit andalan dengan durasi 30 hari dapat memenuhi kebutuhan air Regional Provinsi Banten. Untuk itu penentuan debit rencana waduk Karian digunakan dengan debit bulanan. Debit rencana periode ulang 10 dan 20 tahun ditentukan untuk menjamin keberlanjutan air dalam rangka pemenuhan kebutuhan air DMI, hal ini sesuai dengan ketentuan Dirjen Cipta Karya.

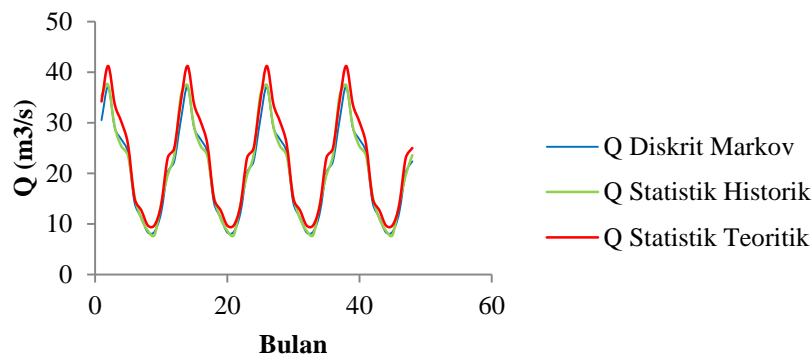
Hasil perhitungan debit rencana waduk Karian menggunakan metode statistik Teoritik Debit rencana kering periode ulang 20 tahun yaitu sebesar  $14,68 \text{ m}^3/\text{detik}$  dapat memenuhi kebutuhan air Regional Provinsi Banten hingga tahun 2015 yaitu sebesar  $12,57 \text{ m}^3/\text{detik}$ , untuk selanjutnya pemenuhan kebutuhan air Regional Provinsi Banten tahun 2020  $Q=15,1 \text{ m}^3/\text{s}$  dan tahun 2030  $Q=33,36 \text{ m}^3/\text{s}$  direncanakan dari waduk Pasir Kopo, Cilawang dan

Tanjung yang merupakan hasil pengembangan potensi sungai Ciujung-Cidurian-Cidanau setelah pembangunan Waduk Karian.

Debit rencana waduk Karian periode ulang 20 tahun analog dengan debit rencana hasil perhitungan dari KOICA 2006 sebesar  $14,6 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

### V.5 Perbandingan Debit Rencana Teoritik, Debit Andalan Historik dan Debit Diskrit Markov

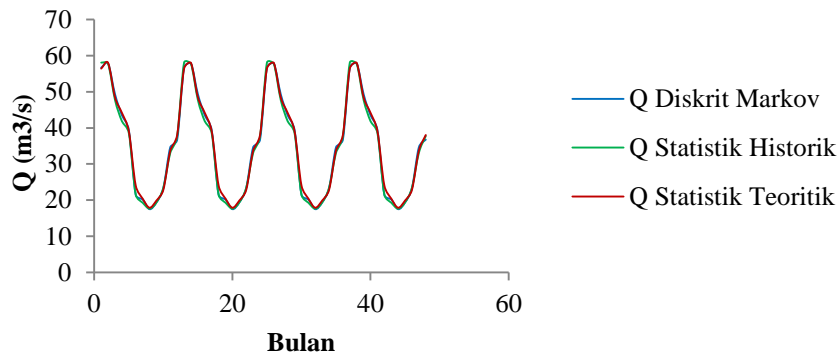
Perbandingan debit rencana Teoritik periode ulang 2 dan 5 tahun, debit andalan Historik probabilitas 50% dan 80% dan debit Diskrit Markov memiliki tujuan untuk mengetahui bahwa model Diskrit Markov tiga kelas analog konsep debit rencana 5 tahunan dalam penentuan pola pengusahaan waduk tahun kering, normal dan basah. Hasil perhitungan debit rencana Teoritik, debit andalan Historik dan debit Diskrit Markov dapat dilihat pada Tabel V.5. Grafik perbandingan debit dapat dilihat pada Gambar V.4, Gambar V.5 dan Gambar V.6.



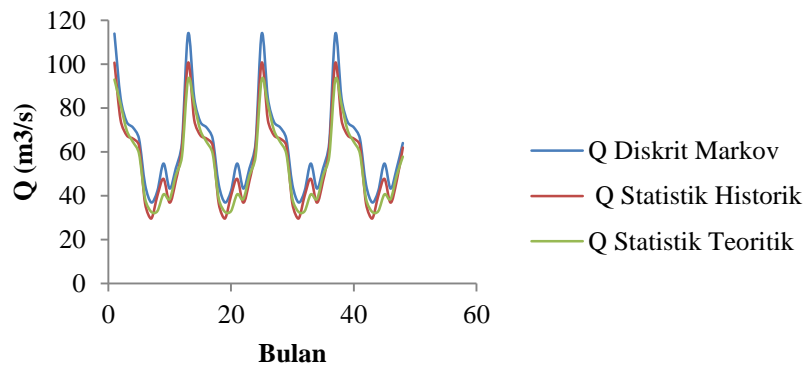
Gambar V.4 Perbandingan Debit Kering Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov

Tabel V.6 Debit Rencana Kering, Normal, Basah Statistik Teoritik, Debit Andalan Historik dan Debit Diskrit Markov Kering, Normal, Basah Waduk Karian (1970-2004)

Metode		Q jan	Q Feb	Q Mrt	Q April	Q Mei	Q Juni	Q Juli	Q Ags	Q Sept	Q Okt	Q Nov	Q Des	Rerata
Statistik Historik (m <sup>3</sup> /s)	20%	94	81	69	70	64	38	32	40	48	43	51	63	58
	50%	50	58	48	42	37	22	19	16	19	23	33	38	34
	80%	25	38	30	26	24	16	11	9	8	14	20	22	20
Diskrit Markov (m <sup>3</sup> /s)	Q2= Basah	111	90	78	74	67	47	38	42	52	44	54	67	64
	Q1= Normal	54	58	49	43	38	22	20	17	19	23	35	37	35
	Q0= Kering	27	39	30	26	24	16	11	9	8	14	21	23	21
Teoritik (m <sup>3</sup> /s)	Q Basah PU 5Thn	93	82	70	65	59	39	33	33	41	39	49	58	57
	Q Rata- rata	56	58	48	44	39	24	20	18	20	23	34	38	35
	Q Kering PU 5	34	41	34	30	26	15	13	10	10	14	23	25	23



Gambar V.5 Perbandingan Debit Normal Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov



Gambar V.6 Perbandingan Debit Basah Menggunakan Statistik Historik, Teoritik dan Diskrit Markov

### V.6 Perhitungan Aliran Rendah (*Maintenance Sungai*)

Perhitungan aliran rendah untuk *maintenance* sungai diperoleh dengan metode statistik Teoritik debit harian dengan periode ulang (PU) 355 Tahun Tabel V.7. Perhitungan aliran rendah ini untuk menjamin keseimbangan ekosistem sungai. Perhitungan debit rencana *maintenance* sungai PU 355 berarti dalam rentang

waktu 1000 tahun hanya 3 kali terjadi debit Waduk Karian memiliki nilai 4,1 m<sup>3</sup>/s kemudian debit ini digunakan untuk *maintenance* sungai.

Tabel V.7 Hasil Perhitungan Debit Ekstrim Kering Harian Menggunakan Statistik Teoritik

Periode Ulang (Tahun)	Statistik Teoritik Q Ekstrim Kering Harian (m <sup>3</sup> /s)
20	6,88
50	5,67
100	4,97
200	4,42
355	4,11
500	3,84
1000	3,48

Hasil perhitungan Tabel V.6 diatas menggunakan distribusi Log-Normal hasil uji ditribusi *goodness of fit Chi-Kuadrat*. Contoh perhitungan dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$\log Xt = \overline{\log x} - Kt * s \log x$$

$$\log_{Q_{355}} = 1,17 - 2,74 * 0,20$$

$$Q_{355} = 4,11 m^3 / s$$

Perhitungan aliran rendah Periode ulang 355 ditentukan berdasarkan jaminan Waduk Karian terhadap keseimbangan ekosistem sungai yang bisa ditentukan dari debit dengan rentang periode ulang 100 hingga 1000 tahun dan *catchment area* waduk. Hasil ini tidak menunjukkan perbedaan dengan nilai hasil perhitungan studi kelayakan yang dilakukan KOICA 2006.



## V.7 Penelusuran Dimensi Waduk

### V.7.1 Penelusuran Desain Kapasitas Waduk Menggunakan Metode Statistik Teoritik & Statistik Teoritik

Tujuan dari penelusuran desain kapasitas waduk adalah mengetahui kapasitas volume total dan volume efektif Waduk Karian. Perhitungan menggunakan metode *Ripple*. Debit input perhitungan waduk menggunakan debit rata-rata bulanan Periode ulang 20 tahun yang telah dihitung sesuai dengan distribusi terpilih dari tahun 1970-2004. Hasil perhitungan volume waduk total dapat dilihat di Tabel V.8

Tabel V.8 Perhitungan Volume Total Waduk dengan Q 20 Tahun sebagai Qin

Bulan	Jmlh Hari	Q In (m <sup>3</sup> /s)	Qin (hm <sup>3</sup> /bulan)	QOut (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Surplus (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Deficit (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Kum (hm <sup>3</sup> /bulan)
Jan	31	149,57	400,55	221,74	178,81		188,08
Feb	28	112,80	272,87	221,74	51,13		239,20
Mar	31	98,90	264,86	221,74	43,12		282,33
Apr	30	92,79	240,50	221,74	18,76		301,09
Mei	31	88,14	236,05	221,74	14,31		315,40
Jun	30	60,67	157,25	221,74		-64,49	250,91
Jul	31	51,23	137,19	221,74		-84,55	166,36
Agust	31	59,21	158,56	221,74		-63,18	103,18
Sep	30	80,50	208,66	221,74		-13,09	90,09
Okt	31	63,41	169,80	221,74		-51,94	38,15
Nop	30	70,83	183,59	221,74		-38,15	0,00
Des	31	86,26	231,01	221,74	9,27		9,27

Dari perhitungan tabel diatas dapat dilihat *time step* bulan Nopember memiliki nilai Q Kumulatif nol. Hal ini dikarenakan pada bulan Nopember nilai Qin masih lebih kecil dibandingkan Qout sedangkan pada bulan Desember nilai Qin lebih besar dari Qout (mulai pengisian waduk) sehingga pada bulan

Nopember ditetapkan waduk dalam keadaan masih kosong (belum terjadi pengisian waduk).

Perhitungan waduk efektif dilakukan dengan menggunakan metode Ripple dan Weibull, langkah pertama dengan mencari *storage* dari setiap tahun menggunakan metode Ripple kemudian *storage* hasil perhitungan setiap tahun diurutkan dari besar ke kecil dan dicari probabilitas setiap datanya. Hasil perhitungan waduk efektif dapat dilihat di Tabel V.9.

Tabel V.9 Perhitungan Volume Waduk Efektif Menggunakan Statistik Historik (1970-2004)

No. Urut	%	St (hm <sup>3</sup> )
1	2,78%	484,84
2	5,56%	457,02
3	8,33%	386,43
4	11,11%	377,06
5	13,89%	366,37
6	16,67%	357,44
7	19,44%	352,58
8	22,22%	342,44
9	25,00%	327,74
10	27,78%	315,57
11	30,56%	282,31
12	33,33%	252,13
13	36,11%	247,99
14	38,89%	238,77
15	41,67%	228,13
16	44,44%	227,86
17	47,22%	226,21
18	50,00%	220,47
19	52,78%	220,95
20	55,56%	216,45
21	58,33%	198,87
22	61,11%	186,47
23	63,89%	179,53
24	66,67%	175,46
25	69,44%	171,25
26	72,22%	166,73
27	75,00%	163,00
28	77,78%	158,76
29	80,56%	130,15

No. Urut	%	St (hm <sup>3</sup> )
30	83,33%	126,70
31	86,11%	120,10
32	88,89%	114,83
33	91,67%	95,89
34	94,44%	92,23
35	97,22%	81,22

Perhitungan desain kapasitas waduk total direncanakan dari debit masukan bulanan  $R_{20}$  basah diperoleh volume total Waduk Karian sebesar 315 juta m<sup>3</sup>. Sedangkan untuk perhitungan volume efektif Waduk Karian dengan menggunakan metode Weibull diambil skenario kebijakan debit normal atau probabilitas 50% nilainya adalah sebesar 220 m<sup>3</sup>/s.

Kebijakan yang diambil untuk perhitungan volume waduk efektif merupakan kebijakan debit normal, hal ini didasarkan pada fungsi utilitas dari Waduk Karian yaitu Waduk Ekaguna. Waduk Ekaguna adalah waduk yang hanya memiliki fungsi tunggal dalam hal ini untuk *supply* air baku Regional Provinsi Banten. Perhitungan volume waduk total didasarkan pada debit masukan rata-rata  $R_{20}$  bulanan basah hal ini disebabkan volume total waduk harus menampung air dan sedimen (volume mati) sehingga diperlukan volume yang lebih besar dari volume efektif.

Perhitungan ulang kapasitas waduk ini akan mempengaruhi langkah selanjutnya yaitu manajemen operasional waduk. Volume efektif akan menjadi batas atas dimana *storage* harus dibawah elevasi volume efektif agar meminimalisir air yang terbuang melalui *spillway*.

#### **V.7.2 Perhitungan Debit Banjir untuk Dimensi *Spillway***

Perhitungan debit banjir di daerah Waduk Karian dimaksudkan untuk penentuan dimensi *Spillway*. Perhitungan ini menggunakan beberapa metode yaitu dengan statistik Teoritik untuk mencari kemungkinan hujan maksimum boleh jadi periode ulang 10-1000 tahun kemudian mensubstitusikannya keadalm persamaan rasional untuk mebcari nilai kemungkinan debir banjirnya. Selain itu menggunakan metode Hersefiled untuk mengetahui kemungkin hujan wilayah paling maksimum.

Metode selanjutnya adalah PMP Isohyet untuk mencari kemungkinan curah hujan maksimum boleh jadi di kawasan Waduk Karian (Cat : untuk beberapa kawasan metode ini telah memiliki peta sebaran hujan wilayah PMP Isohyetnya). Hasil perhitungan kemungkinan curah hujan maksimum boleh jadi dapat dilihat pada Tabel V.10.

Tabel V.10 Kemungkinan Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi Menggunakan Statistik Teoritik, Hersfield dan PMP Isohyet (1982-2004)

Metode							
Stasiun	Statistik Teoritik					Hersfield (mm)	PMP Isohyet (mm)
	Kemungkinan Curah Hujan Dalam 24 Jam Untuk Beberapa Periode Ulang (mm)						
	10 Thn	25 Thn	50 Thn	100 Thn	1000 Thn		
Karian	133,11	160,66	181,47	202,53	275,71	569,63	687,9

Untuk mencari debit banjir di Waduk Karian dilakukan perhitungan debit banjir dengan mensubstitusikan nilai kemungkinan curah hujan maksimum boleh jadi semua metode ke persamaan rasional. Berdasarkan kurva hubungan antara luas daerah tangkapan dengan kemungkinan banjir maksimum (Lampiran 8) maka untuk Waduk Karian dengan luas daerah tangkapan 288 km<sup>2</sup> menggunakan debit maksimum banjir dengan curah hujan maksimum boleh jadi dihitung menggunakan metode PMP Isohyet. Hasil perhitungan debit banjir untuk setiap metode disajikan pada Tabel V.11.

Tabel V.11 Kemungkinan Debit Banjir dengan Menggunakan Persamaan Rasional

Metode Curah Hujan Maksimum							
Stasiun	Statistik Teoritik					Hersfield (m <sup>3</sup> /s)	PMP Isohyet (m <sup>3</sup> /s)
	Kemungkinan Debit Banjir (m <sup>3</sup> /s)						
	10 Thn	25 Thn	50 Thn	100 Thn	1000 Thn		
Karian	764,33	938,55	1055,87	1205,75	1701,1	3096,4	3710

*Spillway* berfungsi untuk menjaga bendungan agar tidak rusak ketika terjadi banjir maksimum. Dari studi kelayakan KOICA diperoleh debit banjir sebesar 3672 m<sup>3</sup>/s nilai ini tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil perhitungan yaitu 3710 m<sup>3</sup>/s. Dari data desain debit banjir studi kelayakan KOICA 2006 jika terjadi debit banjir maksimum sebesar 3672 m<sup>3</sup>/s maka Waduk Karian akan membuang kembali debit yang masuk sebesar 3190 m<sup>3</sup>/s, hal ini merupakan konsekuensi dari Waduk Karian yang memiliki fungsi hanya untuk *supply* air baku sehingga tidak dapat menampung banjir. Oleh sebab itu Waduk Karian harus memiliki *Spillway* dengan dimensi yang cukup besar untuk membuang air 3190 m<sup>3</sup> setiap detiknya dalam rangka menjamin keamanan waduk.

## **V.8 Manajemen Waduk Karian**

### **V.8.1 Debit prakiraan**

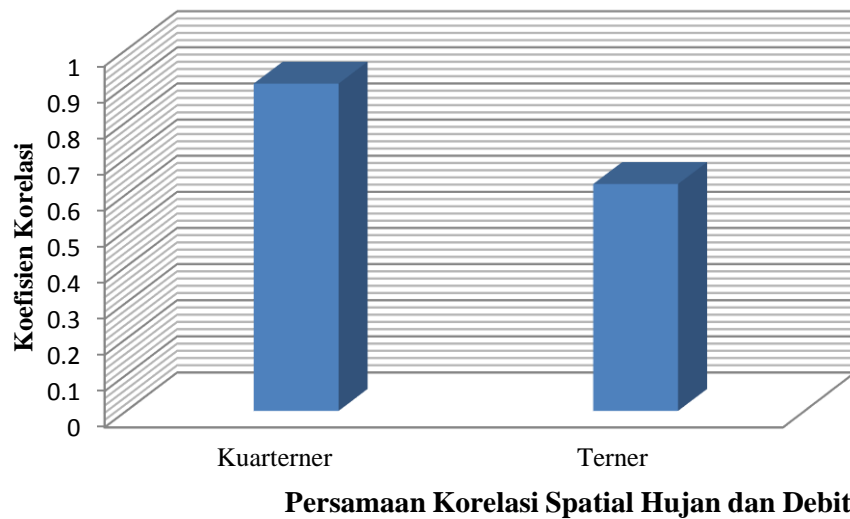
#### **V.8.1.1 Debit prakiraan Model Spasial Korelasi Hujan dan Debit**

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial kuarterner  $Q_t = a.Q_{t-1} + b.P_1 + c.P_2 + d$  karena persamaan kuarterner memiliki koefisien korelasi antara debit prakiraan dengan debit historis yang lebih besar dibandingkan model terner. Perbandingan tersebut terlihat pada Gambar V.7. Hasil ini diperoleh dari uji korelasi antara debit historis dengan debit prakiraan model kontinu dengan menggunakan SPSS hasilnya dapat dilihat pada Tabel V.12. Dari tabel dapat dilihat koefisien korelasi Pearson sebesar 0,906 dan nilai signifikansinya < 0,05, hal ini menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat antara keduanya. Jika nilai koefisien korelasinya mendekati 1 maka debit prakiraan yang diperoleh semakin mendekati kondisi nyatanya. Hasil Kalibrasi debit prakiraan kontinu dengan debit historis ditunjukkan oleh Gambar.V.8.

Tabel V.12 Korelasi Pearson Qkontinu dengan Qhistoris (1998-2004)

		Qkontinu	Qhistoris
Qkontinu	Pearson Correlation	1	.906**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	82	82
Qhistoris	Pearson Correlation	.906**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	82	82

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).



Gambar V.7 Perbandingan Koefisien Korelasi Model Ternern dan Model Kuarterner

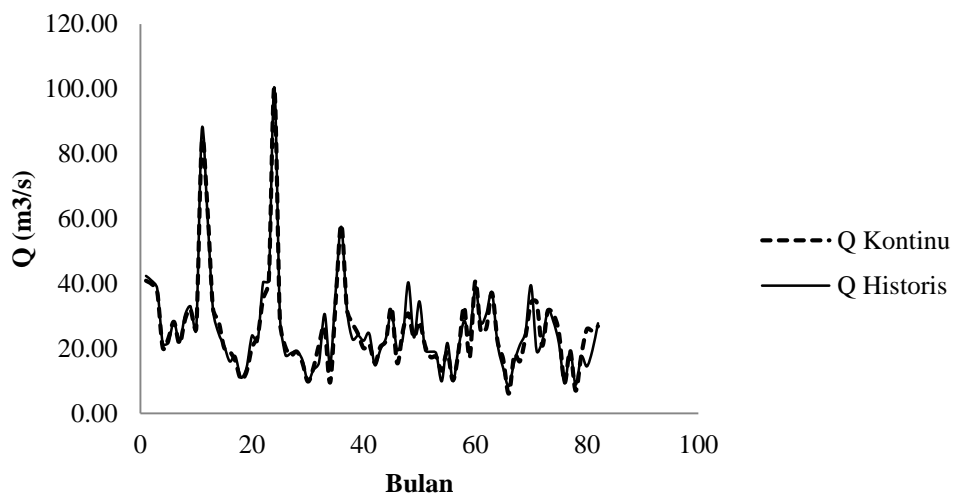
Persamaan regresi linier ganda untuk menentukan debit prakiraan bulanan disajikan dalam Tabel V.13.

Tabel V.13 Persamaan Regresi Linier Ganda Untuk Debit Prakiraan Waduk Karian

Bulan

Rumus

Bulan	Rumus
Jan	$Q = -0,223P2 + 0,213P3 + 1,193Qdes + 11,219$
Feb	$Q = 0,416P3 - 0,0396P2 - 0,962Qjan + 75,187$
Mar	$Q = 0,041P3 - 0,015P4 - 0,047Qfeb + 26,372$
Apr	$Q = 0,013P3 + 0,019P4 + 0,109Qmart + 20,833$
Mei	$Q = -0,023P3 - 0,089P4 + 2,030Qapr - 1,313$
Jun	$Q = -0,016P3 - 0,061P2 + 0,317Qmei + 20,393$
Jul	$Q = -0,11P3 + 0,035P4 + 0,388Qjuni + 8,751$
Agust	$Q = -0,310P3 + 0,044P2 + 2,673Qjuli + 34,042$
Sep	$Q = -0,034P3 - 0,016P4 + 0,819Qagst + 11,65$
Okt	$Q = 0,064P2 + 0,027P4 - 0,442Qsept + 18,551$
Nop	$Q = -0,021P3 + 0,037P4 + 0,542Qokt + 14,375$
Des	$Q = -0,213P3 + 0,085P4 - 1,969Qnov + 98,081$



Gambar V.8 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Kontinu dengan Debit Aktual Pos Karian Sungai Ciberang (1998-2004)

### V.8.1.2 Model Debit Prakiraan Masa Depan Diskrit Markov

Model debit prakiraan yang kedua dengan menggunakan model Diskrit Markov yaitu peramalan debit masa depan bulanan. Klasifikasi debit digunakan untuk menggolongkan kelas debit historis. Dalam pengklasifikasian data debit, data debit tersebut dibagi secara diskrit menjadi tiga kategori, dengan mengurutkan data debit dari yang paling besar ke kecil. Kemudian dicari nilai batas kelas debit bulanan DAS Ciberang (1970-2004) Tabel V.14.

Tabel V.14 Batas Kelas Debit Bulanan DAS Ciberang-Karian (1970-2004)

Bulan	Interval Debit (m <sup>3</sup> /s)					
	Debit Kering (0)		Debit Normal (1)		Debit Basah (2)	
Jan	19,26	- 37,81	37,82	- 79,66	79,67	- 188,4
Feb	22,19	- 43,41	43,42	- 69,7	69,71	- 132,9
Mar	22,35	- 32,06	32,07	- 62,59	62,6	- 108,3
Apr	17,96	- 33,61	33,62	- 53,36	53,37	- 107,9
Mei	8,9	- 30,12	30,13	- 44,94	44,95	- 93,16
Jun	6,21	- 18,37	18,38	- 28,22	28,23	- 73,36
Jul	6,14	- 15,4	15,5	- 24,62	24,64	- 56,09
Agust	4,39	- 11,05	11,06	- 25,97	25,98	- 73,77
Sep	2,92	- 13,43	13,44	- 24,6	24,61	- 89,77
Okt	4,45	- 16,89	16,9	- 30,37	30,38	- 54,2
Nop	12,83	- 25,05	25,06	- 41,37	41,38	- 79,23



Bulan	Interval Debit (m <sup>3</sup> /s)					
	Debit Kering (0)		Debit Normal (1)		Debit Basah (2)	
Des	14,55	- 27,78	27,79	- 44,48	44,49	- 100,2

Setelah diketahui batas kelas debit kering, basah, normal kemudian kemudian didapatkan nilai debit rata-rata bulanan setiap kelasnya dapat dilihat pada Tabel V.15 dibawah ini.

Tabel V.15 Nilai Debit Rata-Rata Bulanan Setiap Kelas DAS Ciberang-Karian (1970-2004)

Bulan	Debit Basah (2) m <sup>3</sup> /s	Debit Normal (1) m <sup>3</sup> /s	Debit Kering (0) m <sup>3</sup> /s
Jan	111	54	27
Feb	90	58	39
Mar	78	49	30
Apr	74	43	26
Mei	67	38	24
Jun	47	22	16
Jul	38	20	11
Agust	42	17	9
Sep	52	19	8
Okt	44	23	14
Nop	54	35	21
Des	67	37	23

Langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pengklasifikasian debit historis rata-rata bulanan untuk mencari probabilitas matriks transisi bulannya Tabel V.16.

Tabel V.16 Klasifikasi Debit Input Bulanan DAS Ciberang-Karian dengan Model Diskrit Markov (1970-2004)

Tahun	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
1970	0	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2

Tahun	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
1971	2	2	2	1	0	2	2	2	1	2	2	1
1972	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	1
1973	0	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
1974	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
1975	1	2	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2
1976	2	1	2	1	0	0	0	1	0	1	1	0
1977	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
1978	2	0	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1
1979	1	2	1	2	0	1	1	1	1	0	2	1
1980	2	1	0	2	2	1	1	2	2	2	2	2
1981	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1982	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
1983	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1
1984	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	0	0
1985	0	2	2	1	1	0	1	1	2	1	1	2
1986	2	1	1	2	1	2	0	1	1	1	1	2
1987	1	2	1	2	2	2	2	2	1	0	0	1
1988	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1	1	2
1989	0	2	1	0	1	1	1	2	2	1	1	2
1990	2	0	1	1	1	2	2	2	2	2	1	0
1991	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	1	0	1	1	1	1	0	1	1	2	2	1
1993	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1994	1	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0
1995	0	1	1	1	1	2	2	1	0	1	2	2
1996	1	0	1	1	0	1	1	1	1	2	1	1
1997	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1998	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0
1999	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
2000	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
2001	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
2002	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
2003	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
2004	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

Debit historis yang sudah diklasifikasikan kedalam 3 kelas (kering,basah, normal) kemudian dicari nilai probabilitas matriks transisi bulannya, salah satu contoh probabilitas matriks transisi bulanan dari bulan januari ke bulan februari diperlihatkan oleh Tabel V.17.

Tabel V.17 Matriks Transisi Markov Bulanan Orde 3 kelas

Kondisi Tahun Januari (t)	Kondisi Februari (t+1)				
	0	1	2		
0	0,44	0,11	0,44	1	P <sub>0N</sub>
1	0,21	0,43	0,36	1	P <sub>1N</sub>
2	0,17	0,58	0,25	1	P <sub>2N</sub>
	0,83	1,12	1,05		P <sub>NN</sub>
	P <sub>N0</sub>	P <sub>N1</sub>	P <sub>N2</sub>	P <sub>NN</sub>	

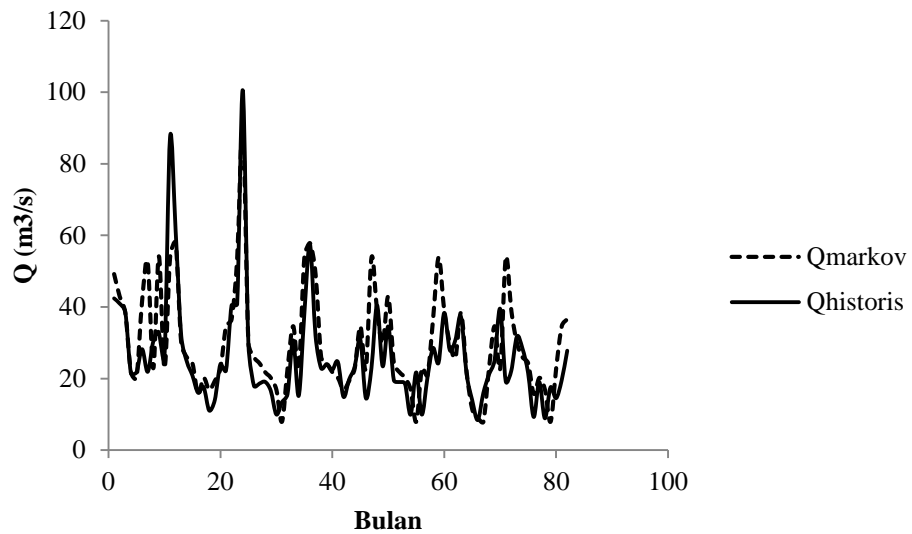
Setelah diketahui probabilitas matriks transisi setiap bulannya kemudian dicari debit prakiraan tiap bulannya. Debit bulanan yang sudah diprediksi menggunakan model Diskrit Markov ditunjukkan pada Tabel V.18.

Tabel V.18 Data Debit Bulanan DAS Ciberang – Karian Hasil Prakiraan Model Diskrit Markov (1970 – 2004)

Tahun	Q (m <sup>3</sup> /s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1970	27	90	78	74	67	47	38	17	19	23	54	67
1971	111	90	78	43	24	47	38	42	19	44	54	37
1972	111	58	78	43	38	16	11	9	8	14	21	37
1973	54	58	78	74	67	47	20	42	52	44	54	67
1974	111	58	78	74	67	47	38	42	52	44	35	37
1975	54	90	49	26	38	22	38	42	52	44	54	67
1976	111	58	78	43	24	22	11	17	8	23	35	23
1977	54	58	78	74	67	47	11	9	8	14	21	23
1978	111	39	78	43	38	47	38	42	52	44	54	37
1979	54	90	49	74	24	22	20	17	19	23	54	37
1980	111	58	49	74	38	22	20	42	52	44	54	67
1981	111	90	78	74	67	47	38	42	52	44	54	67
1982	111	39	30	43	24	16	11	9	8	14	35	67
1983	54	39	30	26	24	16	11	9	8	23	54	37
1984	54	58	78	74	67	22	38	42	52	44	21	23

Tahun	Q (m <sup>3</sup> /s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1985	27	90	78	43	38	16	38	17	52	23	35	67
1986	111	58	49	74	38	47	11	17	19	23	35	67
1987	54	90	49	74	67	47	38	42	19	23	21	37
1988	54	90	78	74	38	22	20	17	19	23	35	67
1989	27	90	49	26	38	22	20	17	52	44	35	67
1990	111	58	49	43	38	47	38	42	52	44	35	23
1991	27	90	49	26	24	16	11	9	8	23	21	37
1992	54	58	49	43	38	22	20	17	19	44	54	37
1993	111	90	49	74	67	47	38	42	52	44	54	67
1994	54	39	30	43	67	16	20	17	8	23	35	23
1995	54	58	49	43	38	47	38	17	19	23	54	67
1996	54	39	49	43	24	22	20	17	19	44	35	37
1997	27	58	30	43	38	16	11	17	8	14	21	23
1998	27	39	49	43	38	22	20	42	19	44	35	23
1999	111	58	30	26	24	16	20	17	19	23	21	37
2000	54	90	30	26	24	22	20	9	19	23	35	23
2001	54	58	49	26	24	22	20	17	19	23	35	23
2002	27	39	30	43	24	22	20	9	19	14	21	37
2003	27	39	30	26	38	22	11	9	19	23	35	37
2004	27	39	30	26	24	16	20	9	19	23	21	37

Kemudian hasil prediksi dikalibrasi dengan debit historik untuk melihat kesesuaian hasil prediksi dengan data historis. Hasil Kalibrasi tersebut ditunjukkan oleh Gambar V.9.



Gambar V.9 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Diskrit Markov dengan Debit Historis Pos Karian Sungai Ciberang (1998-2004)

Tabel V.19 Korelasi Pearson Qmarkov dengan Qhistoris (1998-2004)

		QMarkov	Qhistoris
QMarkov	Pearson Correlation	1	.775**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	82	82
Qhistoris	Pearson Correlation	.775**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	82	82

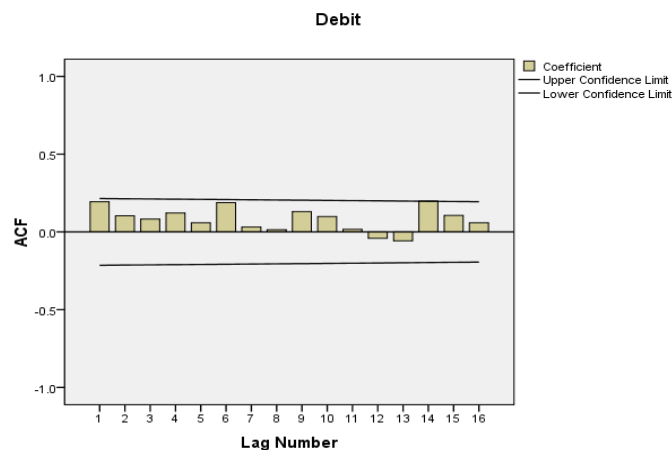
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Uji korelasi antara debit historik dengan debit prakiraan model Diskrit Markov dengan menggunakan SPSS hasilnya dapat dilihat pada Tabel V.19 . Dari tabel dapat dilihat koefisien korelasi Pearson sebesar 0,76 dan signifikansinya < 0,05, hal ini menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat antara keduanya. Semakin mendekati 1 nilai koefisien korelasinya maka debit prakiraan yang diperoleh semakin mendekati kondisi nyatanya.

### V.8.1.3 Model Debit Prakiraan Masa Depan Arima

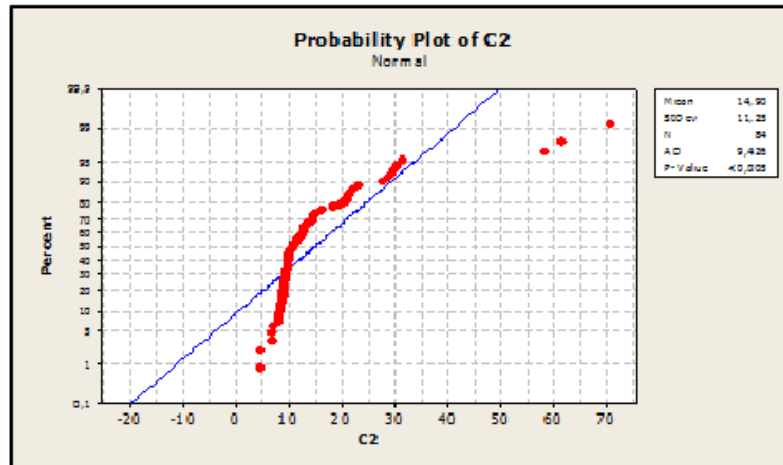
Model debit prakiraan bulanan Arima dalam membutuhkan bantuan perangkat lunak. Dalam penelitian ini menggunakan SPSS 17 dan Minitab.

Langkah pertama yang dilakukan pada model Arima adalah dengan melakukan uji stasioneritas menggunakan *software* SPSS 17 atau Minitab. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar V.10.



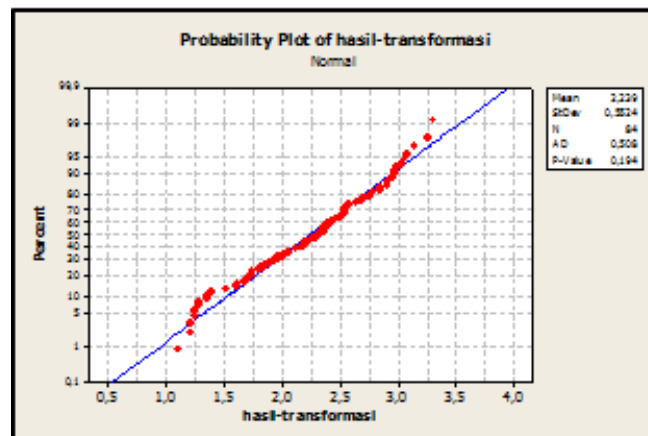
Gambar V.10 Uji Stasioneritas Rata-rata Data Debit Model Arima

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa data stasioner artinya datanya konstan pada nilai batas bawah dan batas atas (tidak ada data yang keluar dari batas tersebut), oleh karena itu tidak harus dilakukan *differencing* sehingga orde  $d$  nya = 0. Langkah selanjutnya adalah uji stasioner varians data dengan menggunakan Minitab. Diperoleh Variansi data debit input Waduk Karian 1970-2004 diperlihatkan pada Gambar V.11.



Gambar V.11 Variansi Data Debit Input Waduk Karian 1970-2004

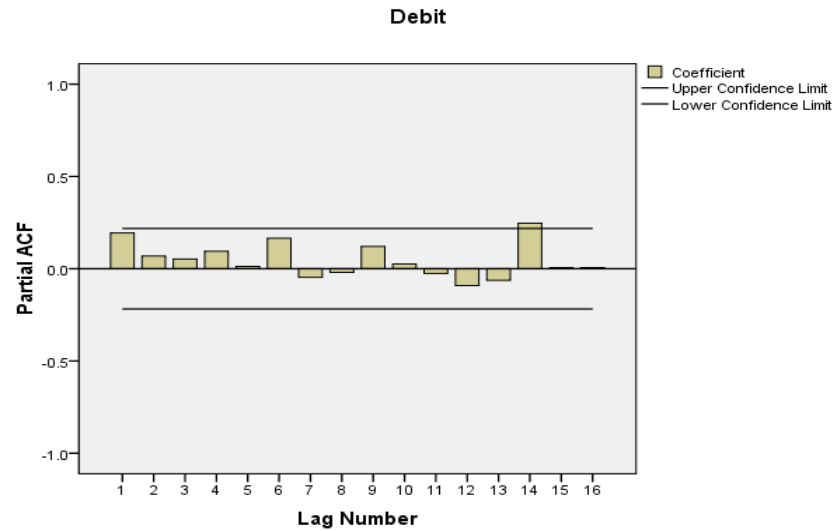
Terlihat pada Gambar V.10 distribusi data debit input Waduk Karian tidak tepat pada garis lurus sehingga harus dilakukan normalisasi data Variansi dengan menggunakan *Software* Minitab. Transformasi data dilakukan dengan menggunakan metode BOK COX dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar V.12.



Gambar V.12 Transformasi Data Dengan Menggunakan Metode BOK COX

Dari Grafik terlihat data sudah terdistribusi pada sekitar garis lurus maka data sudah normal dalam variansi selain itu data sudah normal dalam variansi jika nilai P value hasil perhitungan  $> 0,05$ . Dari data yang sudah ditransformasi diperoleh nilai P value 0,149 dan nilai ini lebih besar dai 0,05 artinya dapat dikatakan data sudah normal dalam variansi

Selanjutnya adalah menentukan Orde P dengan membuat *Autocorrelation function* data debit dengan menggunakan SPSS 17. Hasilnya bisa ditunjukkan oleh Gambar V.13.



Gambar V.13 *Autocorrelation* Data Debit Metode Arima

Dari grafik *Autocorrelation* terlihat hanya satu bar yang melewati batas bawah dan batas atas yang sudah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa orde P dari data debit prakiraan model Arima adalah 1. Langkah terakhir adalah dengan membuat model Arima dengan memasukkan parameter-parameter yang sudah diperoleh yaitu (p,d,q) kedalam software SPSS 17 atau Minitab. Maka diperoleh Hasil seperti ditunjukkan pada Tabel V.20.

Tabel V.20 ARIMA Model Parameters

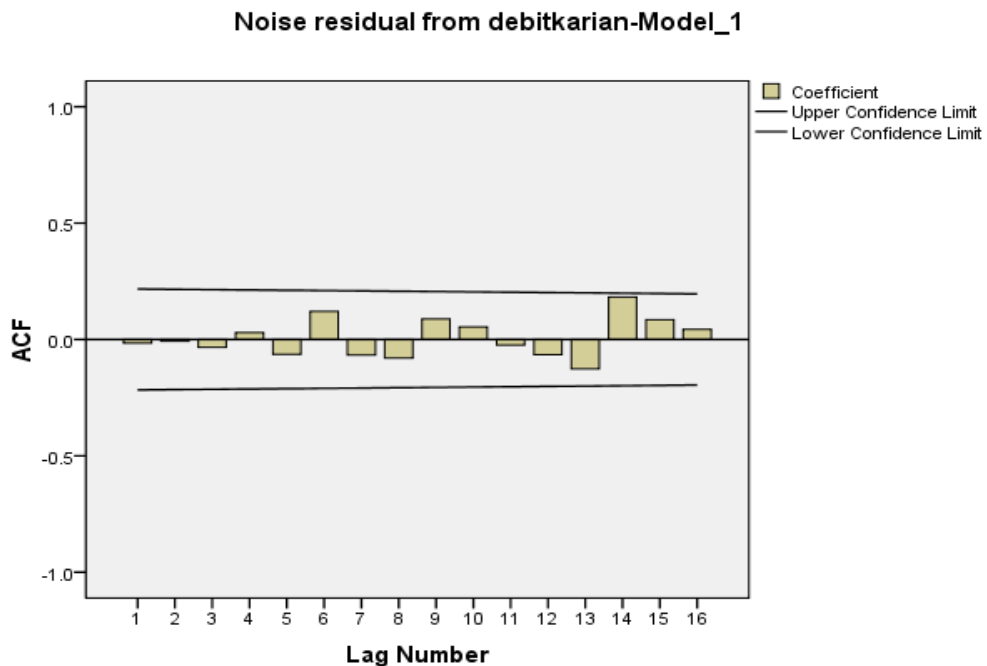
				Estimate	SE	t	Sig.
debit- Model_1	debit	Natural Log	Constant	.510	.057	9.015	.000
			AR Lag 1	.347	.104	3.331	.001



Dari Model parameter diatas diperoleh persamaan untuk menghitung debit prakiraan masa depan Waduk Karian sebagai berikut :

$$Y_t = 0,51 + 1,347 Y_{t-1} - 0,347 Y_{t-2}$$

Setelah diperoleh model debit prakiraan Kemudian dilakukan uji model. Pertama dilihat nilai signifikansinya di Tabel V.17 terlihat Semua koefisien Pada kolom signifikansi <0,05 sehingga syarat model yang baik terpenuhi. Selain itu model yang baik juga dilihat dari *error*nya jika *Error White Noise (pure random)*, artinya *error* tidak dipengaruhi oleh *error-error* waktu yang lalu. Artinya model yang dihasilkan baik hasil ini dapat dilihat pada Gambar V.13.



Gambar V.14 *Error White Noise (pure random)*

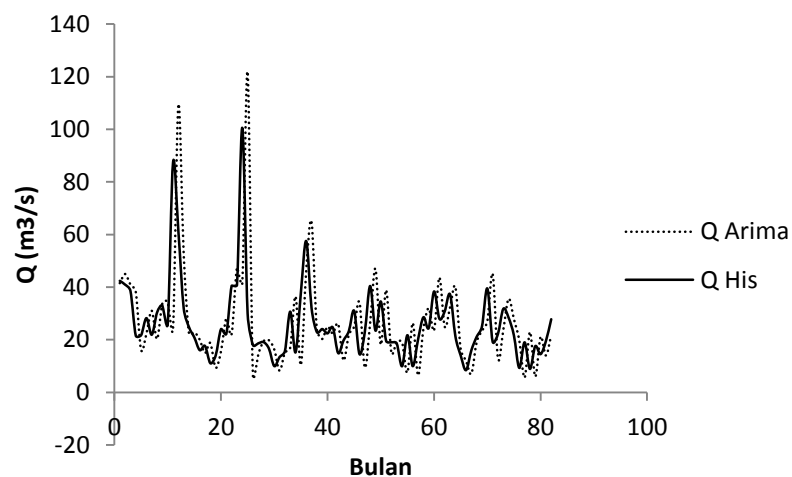
Pada Gambar V.14 terlihat *error*nya merupakan *Error White Noise (pure random)* artinya tidak adanya signifikansi *trend*, sehingga dalam hal ini model dikatakan memenuhi syarat model yang baik. Kemudian dilakukan perhitungan debit prakiraan input Waduk Karian yang selanjutnya dikalibrasi dengan debit historis. Kalibrasi debit prakiraan model Arima dengan debit historis dapat dilihat pada Gambar V.15. Kalibrasi antara debit historik dengan debit prakiraan model Arima

memiliki koefisien korelasi sebesar 0,501 (Tabel V.21), hal ini menunjukkan adanya hubungan positif antara keduanya namun hubungannya tidak terlalu kuat. Semakin mendekati 1 nilai koefisien korelasinya maka debit prakiraan yang diperoleh semakin mendekati kondisi nyata .

Tabel V.21 Korelasi Pearson QArima dengan Qhistoris(1998-2004)

		Qarima	Qhis
Qarima	Pearson Correlation	1	.529**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	82	82
Qhis	Pearson Correlation	.529**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	82	82

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).



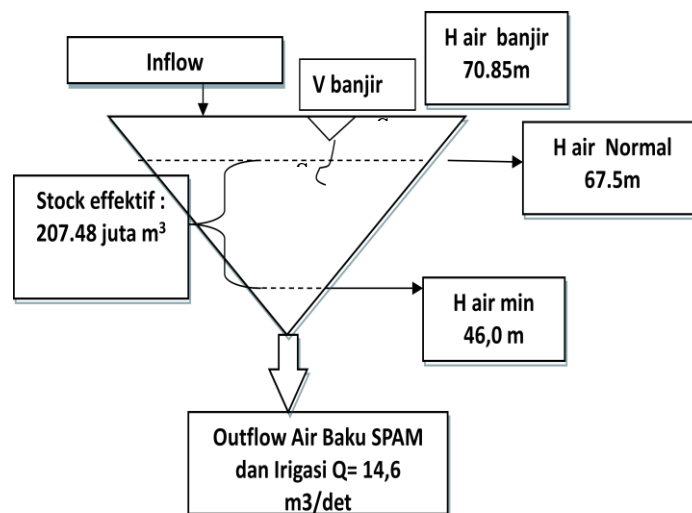
Gambar V.15 Kalibrasi Debit Prakiraan Model Arima dengan Debit Historis

Koefisien korelasi yang relatif kecil dari model markov dan kontinu ini diakibatkan oleh tidak tepatnya prediksi debit prakiraan, karena debit prakiraan model arima dilakukan tidak memasukkan pengaruh *seasonal* (musiman). Arima *seasonal* bisa memprediksi keberulangan data akibat adanya kejadian yang sering berulang pada musim tertentu. Misalnya debit tergantung pada musim hujan dan musim kemarau. Dimusim hujan

kemungkinan debit besar dan pada musim kemarau debit relatif kecil, pengaruh *seasonal* inilah yang tidak dilakukan pada model arima yang dibuat. Pada model ini memang masih perlu pengembangan lebih lanjut. Karena koefisien korelasi  $Q_{in}$  hasil prakiraan model Arima dengan  $Q_{in}$  aktual nilainya kecil maka untuk pengoperasian Waduk Karian debit hasil prakiraan Model Arima ini tidak digunakan.

### V.8.2 Lingkungan Ekonomi Waduk

Lingkungan ekonomi waduk memberikan informasi tentang batasan *storage* yang digunakan (konstrain) Fungsi dari Waduk Karian adalah untuk pemenuhan kebutuhan akan air minum (*fresh water*) dan irigasi. Lingkungan ekonomi *storage* dapat dilihat pada Gambar V.16.



Gambar V.16 Lingkungan Ekonomi Waduk Karian

Obyektifitas : Memenuhi kebutuhan air baku di *downstream*

Konstrain :

1. Hukum kekekalan masa air :

$$S_{t+1} = S_t + Q_{in} - Q_{out} - E$$

2. Batasan Volume Tampungannya :

$$46 \text{ juta m}^3 < S < 254 \text{ juta m}^3$$

3. Debit air masukan :

$Q_{in}$  ( debit rencana : Kontinu & Markov /debit air acak )

4. Batasan Debit air keluaran :

$$Q \text{ Air minum} + Q \text{ irigasi} : 14,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

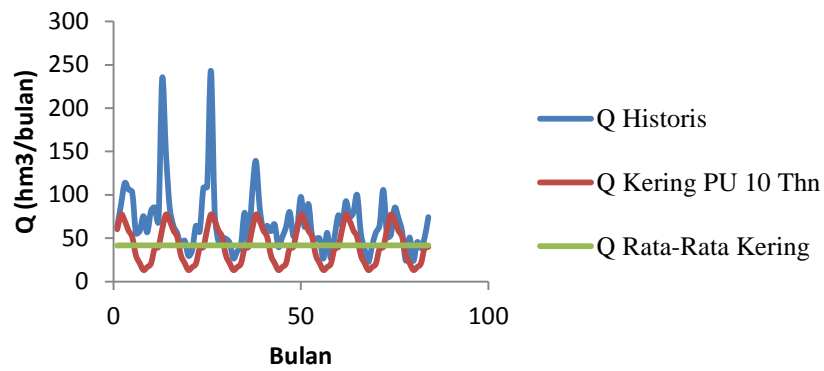
$$Q \frac{1}{2} \text{ PMF} : 1595 \text{ m}^3/\text{s}$$

### V.8.3 Pengelolaan Deterministik

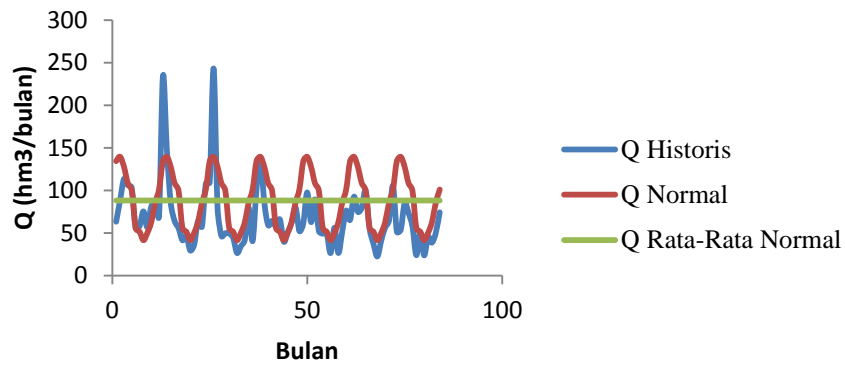
Dalam pengelolaan deterministik debit yang masuk bersifat acak diterjemahkan kedalam tiga kelas debit rencana kering, normal dan basah yang dihitung dengan menggunakan metode statistik teoritik. Tabel V.22 menyajikan debit rencana untuk pengelolaan deterministik Periode Ulang 10 Tahun. Hasil simulasi pengelolaan waduk deterministik dapat dilihat pada Gambar V.17 sampai Gambar V.19.

Tabel V.22 Debit Rencana PU 10 Tahun ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ ) Pengelolaan Deterministik

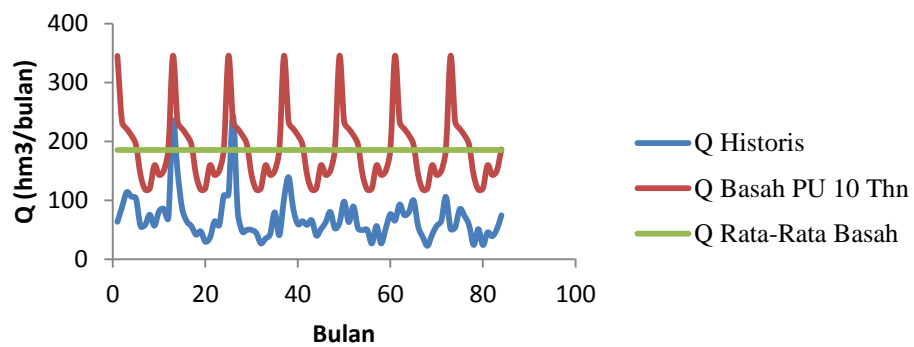
Bulan	Q ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ )		
	Kering	Normal	Basah
Januari	71	151,07	323
Februari	83	140,28	236
Maret	74	129,86	227
April	64	114,49	204
Mei	56	104,74	197
Juni	30	62,39	128
Juli	27	54,71	112
Agustus	19	47,96	122
September	17	51,55	154
Oktober	28	61,25	136
Nopember	49	87,3	156
Desember	54	101,9	193



Gambar V.17 Grafik Perbandingan Qinput aktual dengan Qrencana kering Waduk Karian (1970-2004)



Gambar V.18 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana normal Waduk Karian (1970-2004)



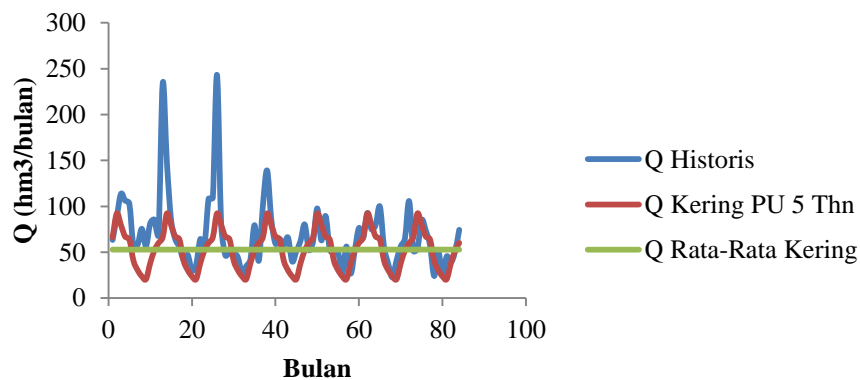
Gambar V.19 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana basah Waduk Karian (1970-2004)

Selain pengelolaan waduk deterministik menggunakan debit rencana periode ulang 10 tahun digunakan juga debit rencana periode ulang 5 tahun. Hal ini

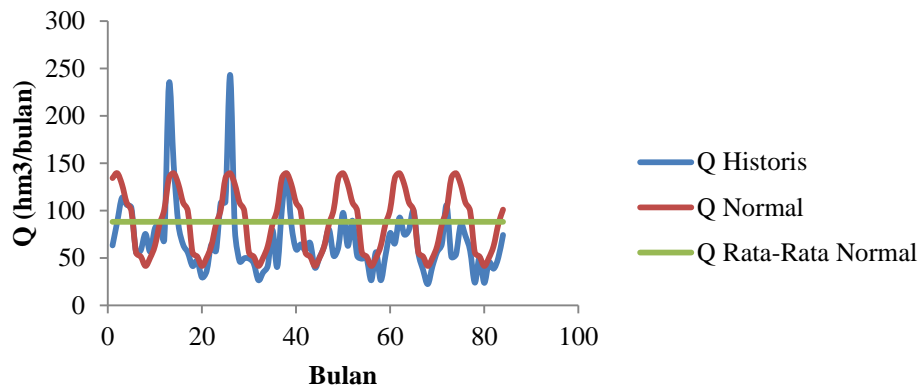
dimaksudkan untuk melihat debit rencana yang paling optimal dalam manajemen operasional waduk. Tabel V.23 menyajikan debit rencana untuk pengelolaan deterministik Periode Ulang 5 Tahun. Hasil simulasi pengelolaan deterministik dapat dilihat pada Gambar V.20 sampai Gambar V.22.

Tabel V.23 Debit Rencana PU 5 Tahun ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ ) Pengelolaan Deterministik

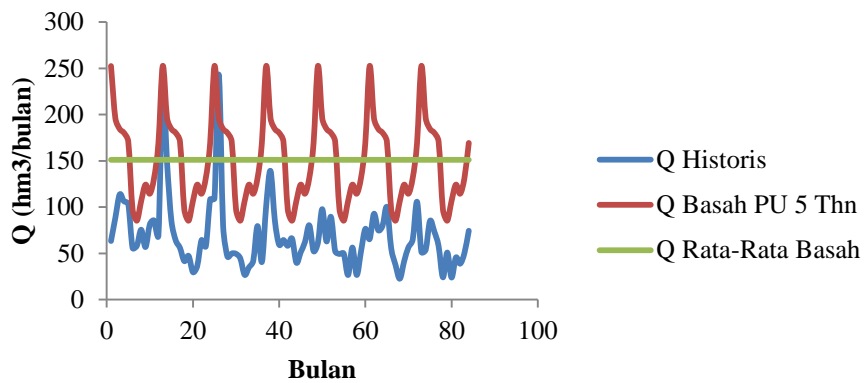
Bulan	Q ( $\text{hm}^3/\text{bulan}$ )		
	Kering	Normal	Basah
Januari	91,67	151,07	248,92
Februari	99,78	140,28	197,25
Maret	90,14	129,86	187,09
April	78,28	114,49	167,44
Mei	69,09	104,74	158,81
Juni	38,85	62,39	100,15
Juli	34,17	54,71	87,62
Agustus	26	47,96	88,48
September	25,19	51,55	105,49
Oktober	36,34	61,25	103,26
November	59,67	87,3	127,76
Desember	67	101,9	154,95



Gambar V.20 Grafik Perbandingan Qinput aktual dengan Qrencana kering Waduk Karian (1970-2004)



Gambar V.21 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana normal Waduk Karian (1970-2004)



Gambar V.22 Grafik Perbandingan Qinput Aktual dengan Qrencana basah Waduk Karian (1970-2004)

Secara umum hasil pengelolaan pengelolaan Waduk Karian dengan debit rencana kering, normal dan basah periode ulang 10 tahun dan 5 tahun menunjukkan hasil yang masih belum optimal dalam manajemen waduk karena masih banyak air yang terbuang dan sering terjadi kekurangan air. Dapat dilihat pada grafik jika manajemen operasional waduk menggunakan debit rencana kering, debit aktual berada diatas debit rencana kering sehingga Waduk Karian terjamin ketersediaan airnya tetapi air banyak terbuang. Kemudian ketika diterapkan debit rencana normal, dapat terlihat debit aktual yang datang dengan debit rencana normal sebagian dari debit ada yang sudah mendekati debit aktual sebagian masih berada di bawah dan diatas debit aktual, sehingga masih belum optimal. Jika diterapkan

debit rencana basah, maka debit rencana basah berada di atas debit rencana aktual, sehingga Waduk Karian berada dalam kondisi kekurangan air.

#### V.8.4 Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Diskrit Markov

Pola pengusahaan Waduk model Diskrit Markov menggunakan model prakiraan debit masa depan Diskrit Markov. Lintasan pedoman dihitung dengan menggunakan metode Diskrit Markov kering, normal dan basah. Penentuan tahun kering, normal dan basah dalam pengelolaan ini ditentukan dengan menggunakan matriks transisi 3 kelas orde satu metode Diskrit Markov Tabel V.24.

Hasil perhitungan pedoman lintasan Diskrit Markov yang analog dengan pedoman periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Tabel V.25 sampai dengan Tabel V.27. Grafik pedoman lintasan Periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Gambar V.23 sampai Gambar V.25.

Tabel V.24 Matriks Transisi Markov Tahunan Orde 3 kelas  
(kering, normal, basah)

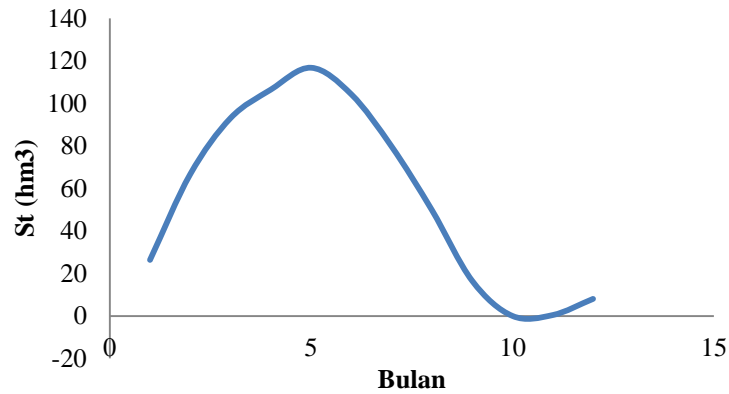
Kondisi Tahun Debit (t)	Kondisi Tahun Debit (t+1)				
	0	1	2		
0	0,73	0,09	0,18	1	P <sub>0N</sub>
1	0,1	0,4	0,5	1	P <sub>1N</sub>
2	0,18	0,36	0,45	1	P <sub>2N</sub>
	1,01	0,85	1,14		P <sub>NN</sub>
	P <sub>0N</sub>	P <sub>1N</sub>	P <sub>2N</sub>	P <sub>NN</sub>	

Tabel V.25 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering Diskrit Markov

Bulan	Q <sub>in</sub> (hm <sup>3</sup> /bln)	Q <sub>out</sub> (hm <sup>3</sup> /bln)	Q <sub>surplus</sub> (hm <sup>3</sup> /bln)	Q <sub>deficit</sub> (hm <sup>3</sup> /bln)	St (hm <sup>3</sup> )
Jan	72,31	53,99	18,31		26,35
Feb	94,34	53,99	40,35		66,69
Mar	80,34	53,99	26,35		93,04
Apr	67,39	53,99	13,40		106,44
Mei	64,27	53,99	10,28		116,71
Jun	41,47	53,99		-12,52	104,19
Jul	29,46	53,99		-24,54	79,65
Agust	24,10	53,99		-29,89	49,76
Sep	20,74	53,99		-33,26	16,50
Okt	37,49	53,99		-16,50	0,00



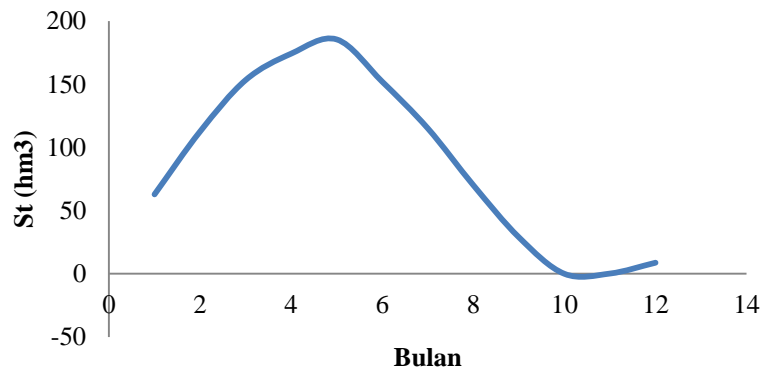
Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Nop	54,43	53,99	0,44		0,44
Des	61,59	53,99	7,60		8,04



Gambar V.23 Lintasan Pedoman Kering Diskrit Markov

Tabel V.26 Perhitungan Pedoman Lintasan Normal Diskrit Markov

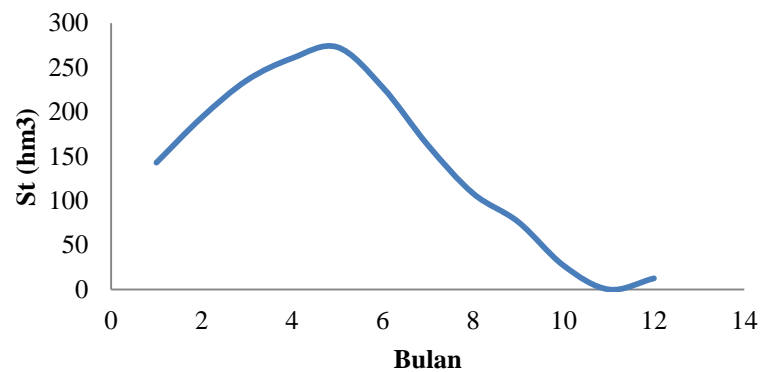
Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jan	144,61	90,51	54,10		62,89
Feb	140,30	90,51	49,79		112,68
Mar	131,22	90,51	40,71		153,39
Apr	111,46	90,51	20,95		174,34
Mei	101,76	90,51	11,25		185,60
Jun	57,02	90,51		-33,49	152,11
Jul	53,56	90,51		-36,95	115,16
Agust	45,53	90,51		-44,98	70,18
Sep	49,25	90,51		-41,26	28,92
Okt	61,59	90,51		-28,92	0,00
Nop	90,72	90,51	0,21		0,21
Des	99,09	90,51	8,58		8,79



Gambar V.24 Lintasan Pedoman Normal Diskrit Markov

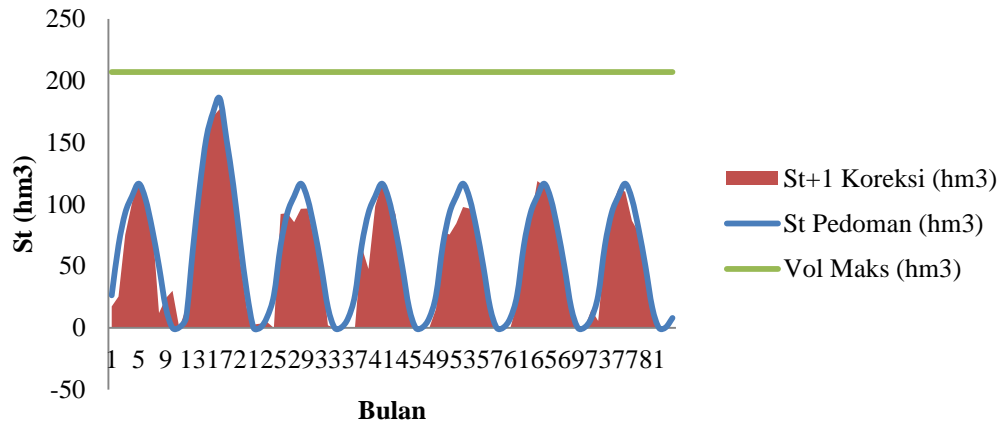
Tabel V.27 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah Diskrit Markov

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jan	297,26	166,93	130,33		142,82
Feb	217,71	166,93	50,78		193,60
Mar	208,88	166,93	41,95		235,56
Apr	191,81	166,93	24,88		260,44
Mei	179,43	166,93	12,50		272,93
Jun	121,82	166,93		-45,11	227,83
Jul	101,76	166,93		-65,17	162,66
Agust	112,48	166,93		-54,45	108,21
Sep	134,78	166,93		-32,15	76,06
Okt	117,83	166,93		-49,10	26,96
Nop	139,97	166,93		-26,96	0,00
Des	179,43	166,93	12,50		12,50



Gambar V.25 Lintasan Pedoman Basah Waduk Karian

Perhitungan pola pengusahaan waduk menggunakan model Diskrit Markov disajikan pada Tabel V.28. Selanjutnya Grafik optimasi pola pengusahaan waduk Diskrit Markov dapat dilihat pada Gambar V.26.



Gambar V.26 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Markov (1998-2004)

Dari Gambar V.26 dapat dilihat nilai  $st+1$  koreksi masih dibawah nilai volume maksimum waduk, hal ini menunjukkan bahwa waduk masih dalam kondisi ambang batas aman. Selain itu dari Tabel V.28 dapat dilihat hasil perhitungan simulasi pola pengusahaan waduk menggunakan pedoman lintasan Diskrit Markov kering, normal dan basah, tidak ada debit yang melewati  $\frac{1}{2}$  PMF (*Probable Maximum Flood*), hal ini menunjukkan bahwa debit yang melewati *spillway* masih dalam ambang batas aman waduk, debit ini dilewatkan melalui sungai Ciujung yang nantinya akan menjadi debit input untuk bendungan Pamarayan. Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat kebutuhan air *downstream* dapat dipenuhi, hal ini terlihat dari  $Q_{out}$  yang dikeluarkan waduk Karian lebih besar dari  $Q$  kebutuhan air baku, sehingga dapat disimpulkan bahwa simulasi pola pengusahaan waduk dengan menggunakan model Diskrit Markov telah optimal.

Tabel V.28 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Diskrit Markov (1998-1999)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998 Kering	Jan	26,35	17,38	8,04	72,31	63,33	39,10	14,90	0,00
	Feb	66,69	25,33	17,38	94,34	88,29	35,32	45,02	0,00
	Mar	93,04	75,36	25,33	131,22	113,55	39,10	24,41	0,00
	Apr	106,44	101,10	75,36	111,46	106,12	37,84	42,54	0,00
	May	116,71	118,21	101,10	101,76	103,26	39,10	47,05	0,00
	Jun	104,19	103,02	118,21	57,02	55,86	37,84	33,20	0,00
	Jul	79,65	84,21	103,02	53,56	58,11	39,10	37,83	0,00
	Aug	49,76	12,00	84,21	112,48	75,55	39,10	107,82	0,00
	Sep	16,50	23,99	12,00	49,25	56,74	37,84	6,90	0,00
	Oct	0,00	30,00	23,99	117,83	81,33	39,10	102,73	0,00
	Nov	0,44	0,00	30,00	90,72	85,46	37,84	82,44	0,00
	Dec	8,04	15,80	0,00	61,59	69,36	39,10	14,46	0,00
1999 Normal	Jan	62,89	59,85	15,80	217,26	234,22	39,10	131,07	0,00
	Feb	112,68	120,66	59,85	140,30	148,28	35,32	52,15	0,00
	Mar	153,39	158,54	120,66	80,34	85,48	39,10	8,51	0,00
	Apr	174,34	171,10	158,54	67,39	64,15	37,84	13,74	0,00
	May	185,60	177,16	171,10	64,27	55,84	39,10	10,68	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
	Jun	152,11	152,21	177,16	41,47	41,58	37,84	28,68	0,00
	Jul	115,16	108,81	152,21	53,56	47,21	39,10	51,51	0,00
	Aug	70,18	54,24	108,81	45,53	29,59	39,10	45,06	0,00
	Sep	28,92	15,88	54,24	49,25	36,21	37,84	36,73	0,00
	Oct	0,00	2,70	15,88	61,59	64,30	39,10	38,37	0,00
	Nov	0,21	3,45	2,70	54,43	57,67	37,84	19,08	0,00
	Dec	8,79	4,70	3,45	99,09	95,00	39,10	54,65	0,00

Selanjutnya untuk mengetahui model yang dibuat adaptif terhadap ketidakpastian debit dan perubahan iklim maka dilakukan uji korelasi antara lintasan pedoman ( $st = storage$ ) dengan pedoman lintasan aktual ( $st+1$  koreksi), hasilnya pedoman lintasan model Diskrit Markov memiliki koefisien korelasi antara  $st$  pedoman dengan  $st+1$  koreksi sebesar 0,876 dapat dilihat pada Tabel V.29. Jika nilai koefisien korelasi antara  $st$  pedoman dengan  $st+1$  semakin mendekati 1, maka model akan lebih mendekati kondisi aktualnya atau dengan kata lain model dapat menterjemahkan dengan baik (adaptif) ketidakpastian masa depan.

Tabel V.29 Korelasi Pearson St Pedoman Diskrit Markov dengan St koreksi (aktual) (1998-2004)

**Correlations**

		Stped	Stkor
Stped	Pearson Correlation	1	.876**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	84	84
Stkor	Pearson Correlation	.876**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	84	84

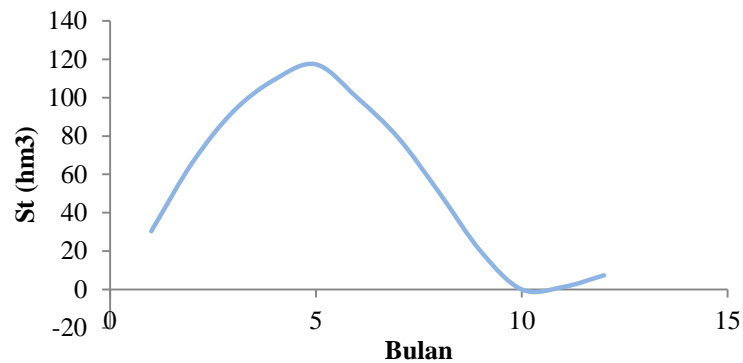
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

### V.8.5 Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Hybrid Kontinu

Pola Pengusahaan Waduk model Hybrid Markov menggunakan model debit prakiraan masa depan korelasi spasial hujan dan debit (kontinu) kemudian lintasan pedoman yang digunakan adalah lintasan pedoman kering, normal, basah Teoritik periode ulang 5 dan 10 tahun. Untuk penentuan tahun kering, normal dan basah digunakan matriks transisi tiga kelas orde 1 tahunan dapat dilihat pada Tabel V.24. Perhitungan pedoman lintasan periode ulang (PU) 10 tahun dapat dilihat pada Tabel V.30 hingga Tabel V.32. Grafik pedoman lintasan periode ulang 10 tahun dapat dilihat pada Gambar V.27 hingga Gambar V.29.

Tabel V.30 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering PU 10 Tahun

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	St ( $hm^3$ )
Jan	71,00	48,00	23,00		30,00
Feb	83,00	48,00	36,00		66,00
Mar	74,00	48,00	27,00		93,00
Apr	64,00	48,00	17,00		109,00
Mei	56,00	48,00	8,00		117,00
Jun	30,00	48,00		-17,00	100,00
Jul	27,00	48,00		-21,00	79,00
Agust	19,00	48,00		-29,00	50,00
Sep	17,00	48,00		-30,00	20,00
Okt	28,00	48,00		-20,00	0,00
Nop	49,00	48,00	1,00		1,00
Des	54,00	48,00	6,00		7,00

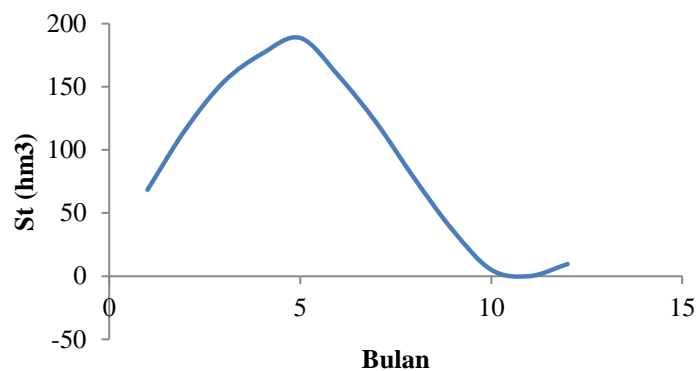


Gambar V.27 Lintasan Pedoman Kering PU 10 Tahun

Tabel V.31 Perhitungan Pedoman Lintasan Normal

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	St ( $hm^3$ )
Jan	151,00	92,00	59,00		68,00
Feb	140,00	92,00	48,00		116,00
Mar	130,00	92,00	38,00		154,00
Apr	114,00	92,00	22,00		176,00
Mei	105,00	92,00	12,00		189,00
Jun	62,00	92,00		-30,00	159,00

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jul	55,00	92,00		-38,00	121,00
Agust	48,00	92,00		-44,00	77,00
Sep	52,00	92,00		-41,00	36,00
Okt	61,00	92,00		-31,00	5,00
Nop	87,00	92,00		-5,00	0,00
Des	102,00	92,00	10,00		10,00

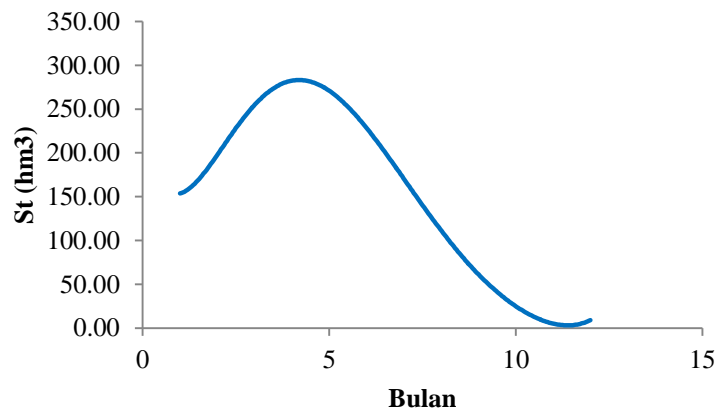


Gambar V.28 Lintasan Pedoman Normal

Tabel V.32 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah PU 10 Tahun

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jan	323,00	182,00	141,00		152,00
Feb	236,00	182,00	53,00		205,00
Mar	227,00	182,00	44,00		249,00
Apr	204,00	182,00	22,00		271,00
Mei	197,00	182,00	15,00		286,00
Jun	128,00	182,00		-54,00	232,00
Jul	112,00	182,00		-70,00	162,00
Agust	122,00	182,00		-60,00	102,00
Sep	154,00	182,00		-29,00	73,00
Okt	136,00	182,00		-47,00	26,00
Nop	156,00	182,00		-26,00	0,00
Des	193,00	182,00	11,00		11,00



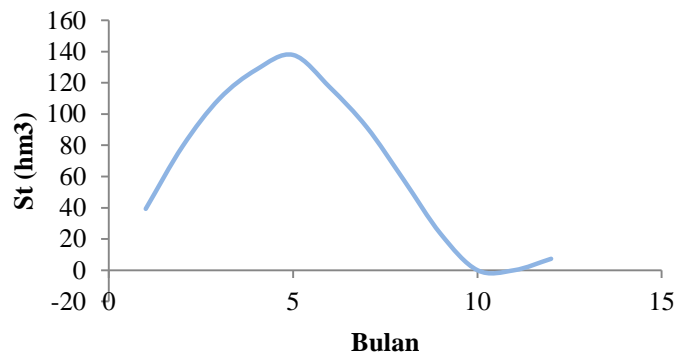


Gambar V.29 Lintasan Pedoman Basah PU 10 Tahun

Selain dengan menggunakan lintasan pedoman periode ulang 10 tahun digunakan juga pedoman lintasan dengan periode ulang 5 tahun. Hal ini dilakukan untuk menentukan pedoman lintasan yang paling optimal dan adaptif terhadap ketidakpastian debit dan iklim dalam pengelolaan waduk. Hasil perhitungan lintasan pedoman kering, normal, dan basah Periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Tabel V.33 sampai Tabel V.34. Grafik pedoman lintasan periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Gambar V.30 sampai Gambar V.31.

Tabel V.33 Perhitungan Pedoman Lintasan Kering PU 5 Tahun

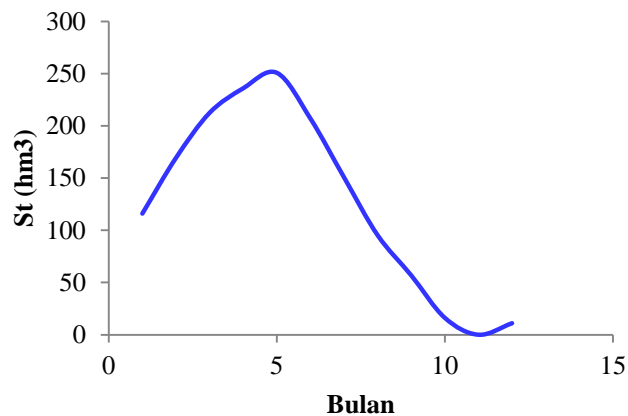
Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jan	92,00	59,67	32,33		40,00
Feb	100,00	59,67	40,33		80,33
Mar	90,00	59,67	30,33		110,67
Apr	78,00	59,67	18,33		129,00
Mei	69,00	59,67	9,33		138,33
Jun	39,00	59,67		-20,67	117,67
Jul	34,00	59,67		-25,67	92,00
Agust	26,00	59,67		-33,67	58,33
Sep	25,00	59,67		-34,67	23,67
Okt	36,00	59,67		-23,67	0,00
Nop	60,00	59,67	0,33	0,00	0,33
Des	67,00	59,67	7,33		7,67



Gambar V.30 Lintasan Pedoman Kering PU 5 Tahun

Tabel V.34 Perhitungan Pedoman Lintasan Basah PU 5 Tahun

Bulan	$Q_{in}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{out}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{surplus}$ ( $hm^3/bln$ )	$Q_{deficit}$ ( $hm^3/bln$ )	$St$ ( $hm^3$ )
Jan	249,00	144,00	105,00		116,00
Feb	197,00	144,00	53,00		169,00
Mar	187,00	144,00	43,00		212,00
Apr	167,00	144,00	24,00		236,00
Mei	159,00	144,00	15,00		251,00
Jun	100,00	144,00		-44,00	207,00
Jul	88,00	144,00		-56,00	151,00
Agust	88,00	144,00		-55,00	95,00
Sep	105,00	144,00		-38,00	57,00
Okt	103,00	144,00		-41,00	16,00
Nop	128,00	144,00		-16,00	0,00
Des	155,00	144,00	11,00		11,00



Gambar V.31 Lintasan Pedoman Basah PU 5 Tahun Waduk Karian

Pola pengusahaan waduk ini menggunakan metode kontinu  $t+1$ . Debit yang masuk diantisipasi sehingga meminimalkan air yang terbuang ke *spillway* dan selalu masuk ke fungsi utilitas Penyediaan Air Minum. Hasil Perhitungan simulasi pola pengusahaan waduk optimal model Hybrid Kontinu dengan pedoman lintasan 10 tahun dapat dilihat pada Tabel V.35 dengan pedoman lintasan 5 tahun dapat dilihat pada Tabel V.36. Grafik optimasi pola pengusahaan waduk dengan pedoman lintasan 10 tahun dapat dilihat pada Gambar V.32 dan dengan pedoman lintasan 5 tahun dapat dilihat pada Gambar V.33.

Tabel V.35 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan  
Periode Ulang 10 Tahun (1998-1999)

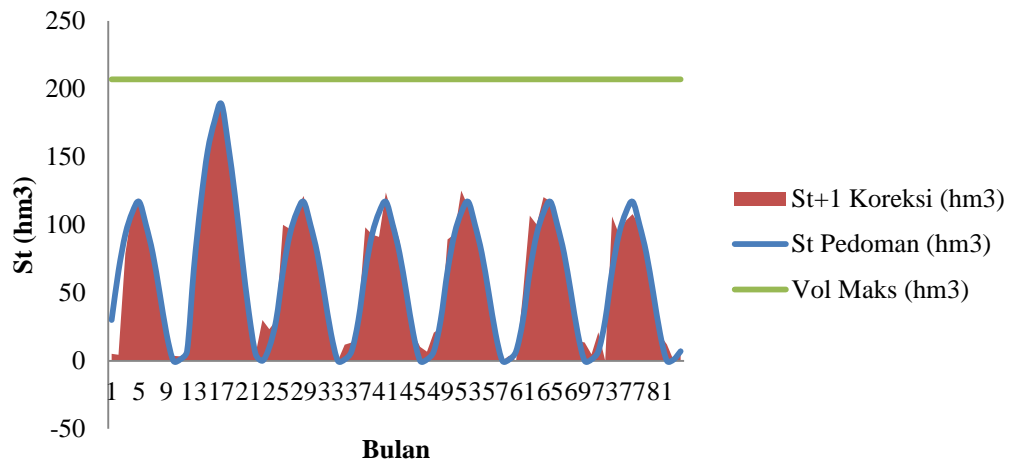
Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998	Jan	30	5,15	7,00	88,19	63,33	39,10	26,09	0,00
Kering	Feb	66	4,44	5,15	114,53	88,29	35,32	53,68	0,00
	Mar	93	78,89	4,44	109,59	113,55	39,10	0,00	0,00
	Apr	109	111,69	78,89	103,42	106,12	37,84	35,47	0,00
	May	117	119,56	111,69	100,71	103,26	39,10	56,30	0,00
	Jun	100	103,41	119,56	52,44	55,86	37,84	34,16	0,00
	Jul	79	75,14	103,41	61,97	58,11	39,10	47,29	0,00
	Aug	50	49,89	75,14	75,66	75,55	39,10	61,70	0,00
	Sep	20	21,04	49,89	55,69	56,74	37,84	47,74	0,00
	Oct	0	3,66	21,04	77,67	81,33	39,10	59,62	0,00
	Nov	1	3,25	3,66	83,21	85,46	37,84	48,02	0,00
	Dec	7	5,97	3,25	70,39	69,36	39,10	27,54	0,00
1999	Jan	68	78,68	5,97	223,54	234,22	39,10	122,41	0,00
Normal	Feb	116	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
	Apr	176	179,18	152,87	60,86	64,15	37,84	0,00	0,00
	May	189	190,60	179,18	54,24	55,84	39,10	5,32	0,00
	Jun	159	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121	125,03	158,87	43,18	47,21	39,10	41,95	0,00
	Aug	77	65,17	125,03	41,42	29,59	39,10	50,35	0,00
	Sep	36	60,54	65,17	32,98	36,21	37,84	3,00	0,00
	Oct	5	80,74	60,54	54,64	64,30	39,10	5,00	0,00
	Nov	0	92,56	80,74	61,87	57,67	37,84	8,00	0,00
	Dec	10	23,25	92,56	95,24	108,49	39,10	138,71	0,00

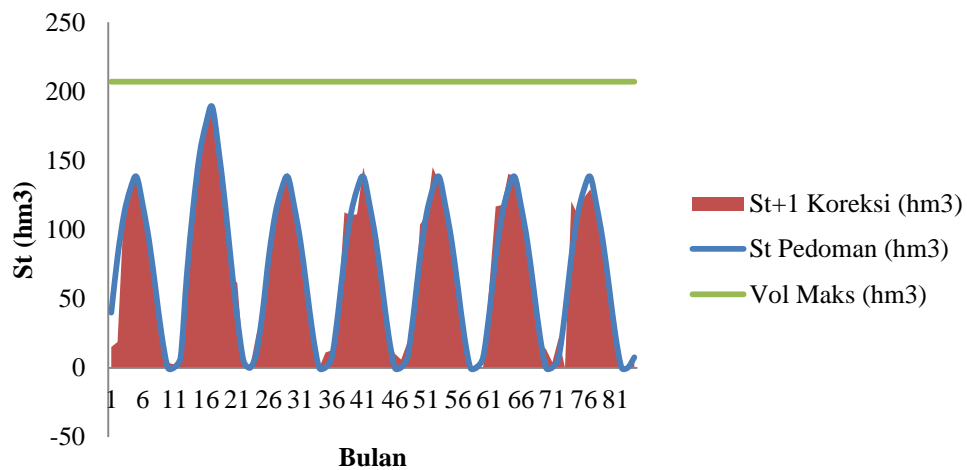
Tabel V.36 Hasil Perhitungan Simulasi Pola Pengusahaan Waduk dengan Menggunakan Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan  
Periode Ulang 5 Tahun (1998-1999)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998	Jan	40	15,15	7,67	88,19	63,33	39,10	16,76	0,00
Kering	Feb	80,33	18,77	15,15	114,53	88,29	35,32	49,35	0,00
	Mar	110,67	114,63	18,77	109,59	113,55	39,10	0	0,00
	Apr	129	131,69	114,63	103,42	106,12	37,84	51,21	0,00
	May	138,33	140,89	131,69	100,71	103,26	39,10	54,97	0,00
	Jun	117,67	121,08	140,89	52,44	55,86	37,84	37,82	0,00
	Jul	92	88,14	121,08	61,97	58,11	39,10	51,96	0,00
	Aug	58,33	58,22	88,14	75,66	75,55	39,10	66,37	0,00
	Sep	23,67	24,71	58,22	55,69	56,74	37,84	52,40	0,00
	Oct	0	3,66	24,71	77,67	81,33	39,10	63,29	0,00
	Nov	0,33	2,58	3,66	83,21	85,46	37,84	48,69	0,00
	Dec	7,67	6,64	2,58	70,39	69,36	39,10	26,20	0,00
1999	Jan	68	78,68	6,64	223,54	234,22	39,10	123,08	0,00
Normal	Feb	116	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
	Apr	176	179,30	152,87	60,86	64,15	37,84	0	0,00
	May	189	190,60	179,30	54,24	55,84	39,10	5,44	0,00
	Jun	159	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121	125,03	158,87	43,18	47,21	39,10	41,95	0,00
	Aug	77	65,17	125,03	41,42	29,59	39,10	50,35	0,00
	Sep	36	61,54	65,17	32,98	36,21	37,84	2,00	0,00
	Oct	5	82,74	61,54	54,64	64,30	39,10	4,00	0,00
	Nov	0	97,56	82,74	61,87	57,67	37,84	5,00	0,00
	Dec	10	23,25	97,56	95,24	108,49	39,10	123,71	0,00



Gambar V.32 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 10 Tahun (1998-1999)



Gambar V.33 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Metode Hybrid Kontinu dengan Pedoman Lintasan Periode Ulang 5 Tahun (1998-1999)

Dari Gambar V.32 dan Gambar V.33 dapat dilihat nilai  $st+1$  koreksi masih dibawah nilai vol maksimum waduk, hal ini menunjukkan bahwa waduk masih



dalam kondisi aman. Kemudian dari hasil perhitungan simulasi pola pengusahaan waduk menggunakan pedoman lintasan periode ulang 10 tahun dan 5 tahun (Tabel V.35 dan V.36) dapat dilihat tidak adanya debit yang melewati debit spillway  $\frac{1}{2}$  PMF (*Probable Maximum Flood-PMF*) sehingga dapat dikatakan waduk masih dalam ambang batas aman. Debit yang dibuang melalui *spillway* kemudian akan masuk ke sungai Cijung sebagai debit input untuk bendung Pamarayan. Selain itu dari hasil simulasi terlihat  $Q_{out}$  dari Waduk Karian dapat menjamin pemenuhan kebutuhan air di *downstream* ( $Q_{out} \geq Q_{out}$  air baku). Sehingga dapat disimpulkan model pola pengusahaan waduk hybrid Kontinu telah optimal.

Selanjutnya untuk mengetahui model yang dibuat adaptif terhadap ketidakpastian debit dan perubahan iklim maka dilakukan uji korelasi antara lintasan pedoman dengan lintasan aktual ( $st+1$  koreksi), hasilnya pedoman lintasan model Hybrid Kontinu dengan pedoman lintasan periode ulang 10 tahun memiliki koefisien korelasi antara  $st$  pedoman dengan  $st+1$  koreksi sebesar 0,903 dapat dilihat pada Tabel V.37. Sedangkan pola pengusahaan waduk menggunakan pedoman lintasan periode ulang 5 tahun nilai korelasinya sebesar 0,936 dapat dilihat pada Tabel V.38.

Tabel V.37 Korelasi Pearson  $St$  Pedoman Periode Ulang 10 Tahun dengan  $St+1$  koreksi (aktual) (1998-2004)

		Stped	Stkor
Stped	Pearson Correlation	1	.903**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	84	84
Stkor	Pearson Correlation	.903**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	84	84

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Tabel V.38 Korelasi Pearson St Pedoman Periode Ulang 5 Tahun dengan St+1 koreksi (aktual) (1998-2004)

**Correlations**

		St+1 Pedoman	St+1 Koreksi
St+1 Pedoman	Pearson Correlation	1	.936**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	82	82
St+1 Koreksi	Pearson Correlation	.936**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	82	82

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Dari hasil optimasi pola pengusahaan waduk dapat dilihat koefisien korelasi st pedoman lintasan periode ulang 5 tahun dengan st+1 koreksi lebih besar dibandingkan dengan koefisien korelasi dengan pedoman lintasan periode ulang 10 tahun (Tabel V.37 dan Tabel V.38). Sehingga pola pengusahaan waduk model hybrid kontinu dengan pedoman lintasan 5 tahun lebih adaptif terhadap ketidakpastian masa depan jika dibandingkan dengan menggunakan pedoman periode ulang 5 tahun.

Dari hasil simulasi dapat dilihat koefisien korelasi st pedoman dengan st+1 koreksi model pola pengusahaan waduk hybrid kontinu dengan pedoman lintasan periode ulang 5 tahun lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan model Diskrit Markov. Sehingga model kontinu merupakan model yang lebih adaptif terhadap ketidakpastian masa depan jika dibandingkan dengan model Diskrit Markov.

#### **V.8.6 Pola Pengusahaan Waduk Optimal Model Hybrid Markov**

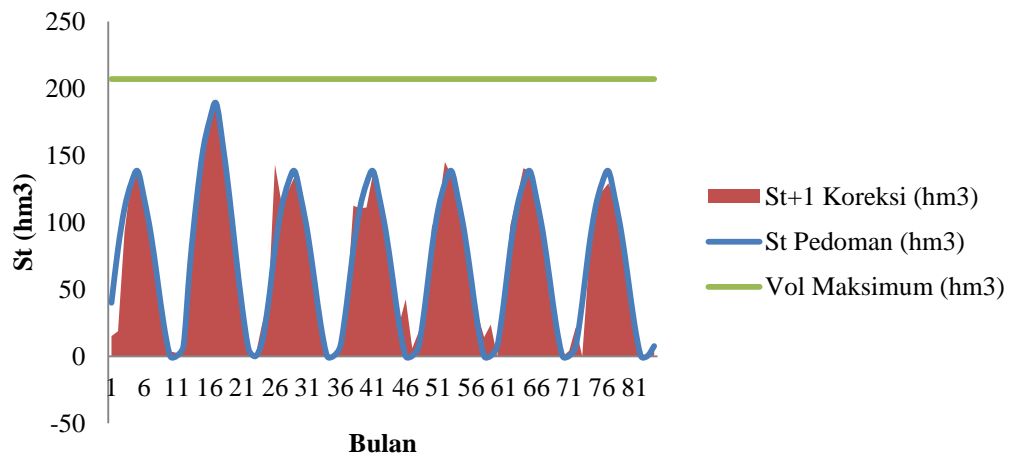
Pola pengusahaan waduk model Hybrid Markov menggunakan model prakiraan debit input korelasi spasial hujan dan debit (kontinu) kemudian lintasan pedoman yang digunakan adalah pedoman kering, normal, basah Diskrit Markov Tabel V.25 hingga Tabel V.27. Untuk penentuan tahun kering, normal dan basah digunakan matriks transisi 3 kelas orde 1 tahunan dapat dilihat pada Tabel V.24.

Hasil perhitungan simulasi pola pengusahaan waduk Karian menggunakan model Hybrid Markov dengan pedoman lintasan kering, normal dan basah dapat dilihat pada Tabel V.39. Grafik simulasi pola pengusahaan waduk model Hybrid Markov dapat dilihat pada Gambar V.34.

Tabel V.39 Hasil Perhitungan Pola Pengusahaan Model Hybrid Markov dengan Lintasan Pedoman Kering, Normal dan Basah Diskrit Markov (1998-1999)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998	Jan	40	15,15	7,67	88,19	63,33	39,10	16,76	0,00
Kering	Feb	80,33	18,77	15,15	114,53	88,29	35,32	49,35	0,00
	Mar	110,67	114,63	18,77	109,59	113,55	39,10	0	0,00
	Apr	129	131,69	114,63	103,42	106,12	37,84	51,21	0,00
	May	138,33	140,89	131,69	100,71	103,26	39,10	54,97	0,00
	Jun	117,67	121,08	140,89	52,44	55,86	37,84	37,82	0,00
	Jul	92	88,14	121,08	61,97	58,11	39,10	51,96	0,00
	Aug	58,33	58,22	88,14	75,66	75,55	39,10	66,37	0,00
	Sep	23,67	24,71	58,22	55,69	56,74	37,84	52,40	0,00
	Oct	0	3,66	24,71	77,67	81,33	39,10	63,29	0,00
	Nov	0,33	2,58	3,66	83,21	85,46	37,84	48,69	0,00
	Dec	7,67	6,64	2,58	70,39	69,36	39,10	26,20	0,00
	1999	Jan	68	78,68	6,64	223,54	234,22	39,10	123,08

Tahun	Bulan	St Pedomannya (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
Normal	Feb	116	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00
	Apr	176	179,30	152,87	60,86	64,15	37,84	0	0,00
	May	189	190,60	179,30	54,24	55,84	39,10	5,44	0,00
	Jun	159	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121	123,21	158,87	45,00	47,21	39,10	43,77	0,00
	Aug	77	77,59	123,21	29,00	29,59	39,10	36,11	0,00
	Sep	36	26,21	77,59	46,00	36,21	37,84	49,75	0,00
	Oct	5	7,30	26,21	62,00	64,30	39,10	44,11	0,00
	Nov	0	0	7,30	61,87	57,67	37,84	31,33	0,00
	Dec	10	23,25	-4,20	95,24	108,49	39,10	41,94	0,00



Gambar V.34 Grafik Optimasi Pola Pengusahaan Waduk Karian Model Hybrid Markov dengan Pedoman Lintasan Diskrit Markov (1998-2004)

Dari Gambar V.34 dapat dilihat nilai  $s+1$  koreksi masih dibawah nilai volume maksimum waduk, sehingga waduk masih dalam keadaan dibawah ambang batas aman waduk (terhindar dari jebolnya waduk).

Dari Tabel V.39 dapat dilihat hasil perhitungan simulasi pengelolaan waduk menggunakan pedoman lintasan kering, normal dan basah Diskrit Markov, tidak ada debit yang melewati  $\frac{1}{2}$  PMF. Hal ini berarti debit yang melewati *spillway* masih dalam ambang batas aman waduk, debit ini dilewatkan melalui sungai Ciujung yang nantinya akan menjadi debit input untuk bendungan Pamarayan. Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat kebutuhan air baku *downstream* dapat dipenuhi sehingga dapat disimpulkan pola pengusahaan waduk optimal dengan menggunakan model Hybrid Markov telah optimal.

Selanjutnya untuk mengetahui model yang dibuat adaptif terhadap ketidakpastian debit dan perubahan iklim maka dilakukan uji korelasi antara  $s_t$  pedoman dengan lintasan  $s_{t+1}$  koreksi, hasilnya koefisien korelasi antara  $s_t$  pedoman dengan  $s_{t+1}$  koreksi yaitu 0,916 dapat dilihat pada Tabel V.40. Nilai koefisien korelasi ini lebih besar dibandingkan dengan koefisien korelasi model Markov, namun lebih kecil jika dibandingkan dengan model hybrid kontinu.

Tabel V.40 Korelasi Pearson St Pedoman Diskrit Markov dengan St+1 koreksi  
(1998-2004)

**Correlations**

		Stped	Stkor
Stped	Pearson Correlation	1	.916**
	Sig. (1-tailed)		.000
	N	84	84
Stkor	Pearson Correlation	.916**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	
	N	84	84

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

Model lebih adaptif terhadap ketidakpastian masa depan jika nilai koefisien korelasinya semakin mendekati 1 (satu). Dari ketiga model pengembangan pola perusahaan waduk optimal model hybrid kontinu yang paling tinggi nilai koefisien korelasinya, sehingga model hybrid kontinu yang paling adaptif terhadap ketidakpastian masa depan. Walaupun begitu model hybrid Markov memiliki kelebihan dibandingkan dengan model Markov dan Model Hybrid Kontinu, yaitu lebih praktis digunakan jika dibandingkan dengan model Hybrid Kontinu. Karena dalam perhitungan pedoman lintasan waduk, jika model Hybrid kontinu harus melakukan uji distribusi data hingga 4 uji distribusi, sedangkan perhitungan lintasan pedoman model Hybrid Markov hanya dengan meranking debit historik menggunakan Weibull kemudian membaginya kedalam tiga kelas dan meratakannya. Sehingga dapat disimpulkan model Hybrid Markov adaptif terhadap ketidakpastian masa depan dan lebih praktis digunakan.

## Bab VI Kesimpulan dan Saran

### VI.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Model prakiraan debit korelasi spasial hujan dan debit kuarterner lebih baik dibandingkan dengan model perkiraan debit masa depan dengan menggunakan model Diskrit Markov dan Arima. Nilai koefisien korelasi debit model Diskrit Markov dengan debit historis  $R = 0,775$  dan koefisien korelasi Arima  $R = 0,501$  sedangkan koefisien korelasi model spasial hujan dan debit  $R = 0,909$ .

Debit andalan waduk Karian probabilitas 95 % sebesar  $14,45 \text{ m}^3/\text{detik}$  dapat memenuhi kebutuhan di *downstream* air hingga tahun 2015 sebesar  $12,57 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Debit rencana waduk Karian periode ulang 20 tahun sebesar  $14,68 \text{ m}^3/\text{detik}$  dapat memenuhi kebutuhan di *downstream* hingga tahun 2015 sebesar  $12,57 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Debit rencana ini nilainya hampir sama dengan nilai hasil perhitungan KOICA 2011.

Perbandingan debit rencana kering, normal dan basah metode Teoritik periode ulang 5 tahun dengan debit Diskrit Markov dan debit andalan Historik menunjukkan nilai yang hampir sama, sehingga dapat disimpulkan model Diskrit Markov tiga kelas analog konsep debit rencana 5 tahunan dalam penentuan pola pengusahaan waduk tahun kering, normal dan basah.

Pola pengusahaan waduk model deterministik masih kurang optimal. Hal ini dapat terlihat dari terganggunya fungsi utilitas waduk. Dalam pola pengusahaan waduk deterministik, jika digunakan debit antisipasi, debit rencana PU 10 dan 5 tahun basah maka debit input aktual memiliki nilai dibawah nilai debit antisipasi sehingga waduk mengalami kekeringan, sedangkan jika digunakan debit antisipasi, debit rencana PU 5 dan 10 tahun kering maka debit input aktual



memiliki nilai lebih besar dari debit rencana kering sehingga air terbuang melalui *spillway*, sedangkan jika digunakan debit rencana normal maka nilai input aktual nilainya mendekati nilai debit rencana, namun masih ada nilainya yang lebih besar atau lebih kecil dari debit rencana sehingga masih belum optimal.

Pola pengusahaan waduk model Markov memiliki nilai koefisien korelasi  $S_t$  (*storage*) pedoman dengan  $S_{t+1}$  koreksi sebesar  $R= 0,876$ . Pola pengusahaan waduk model Hybrid Markov memiliki nilai koefisien korelasi  $S_t$  pedoman dengan  $S_{t+1}$  koreksi  $R= 0,916$ . Kemudian Pola pengusahaan waduk Hybrid memiliki nilai koefisien  $S_t$  pedoman dengan  $S_{t+1}$  koreksi  $R= 0,936$ . Dari ketiga model tersebut dapat disimpulkan bahwa model Hybrid Kontinu lebih optimal dan adaptif terhadap ketidakpastian masa depan. Tetapi dalam penggunaannya model Hybrid Markov lebih praktis dari pada model Hybrid Kontinu.

## **VI.2 Saran**

- Pola pengusahaan waduk optimal ketidakpastian debit masa depan model Hybrid kontinu dapat digunakan untuk Manajemen Operasional Waduk Karian.

## Daftar Pustaka

- Afshin Jahangirzadeh., ShatirahAkib., BabakKamali., Sadia Rahman.(2012).Optimal Water Allocation: Sustainable Management of Dam Reservoir. *World Academy of Science, Engineering and Technology*.Vol.72.
- Arafat. (2010) : Studi Sumber Air Dan Pengembangan Infrastruktur Air Minum Perkotaan Di Indonesia Slides, Unpublished. Bandung, 43 mins.
- Asdak C.(1995) : Hidrologi dan pengolahan air sungai. Gajah Mada Univesity Press, Yogyakarta.
- Benjamin Renard., Dmitri Kavetski., George Kuczera1. (2009) : Comment On “An Integrated Hydrologic Bayesian Multimodel Combination Framework: Confronting Input, Parameter, And Model Structural Uncertainty In Hydrologic Prediction”. *Water Resources Research*, Vol. 45.
- Bruce JP & Clark RH. (1966): *Introduction to Hydrometereology*. California: Pergamon Press.
- Br. Sri Harto.(1993) : Analisis Hidrologi, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- David Keith Todd.(1980) : *Groundwater Hydrology*, New Jersey, John Wiley and Sons
- Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Perencanaan Teknis. (1986) : Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Jaringan Irigasi Kp-01, Bandung, C.V. Galang Persada.
- Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Perencanaan Teknis. (1986) : Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama Kp-02. Bandung, C.V. Galang Persada.
- Fetter CW. (1994) : *Applied Hydrogeology*. 3rd Ed. Merrill Publishing Company, Ohio, USA.
- Hadi Memarian., Siva Kumar Balasundram., Jamal Bin Talib., Christopher Teh Boon Sung., Alias Mohd Sood., Karim Abbaspour.(2012) : Validation of CA-Markov for Simulation of Land Use and Cover Change in the Langat Basin, Malaysia. *Journal of Geographic Information System* Vol 4 :542-554.

- I.G. Pechlivanidis., B.M. Jackson., N.R. McIntyre., H.S. Wheater. (2011) : Catchment Scale Hydrological Modelling: A Review Of Modeltypes, Calibration Approaches And Uncertainty Analysis Methodsin The Context Of Recent Developments In Technology And Applications. *Global NEST Journal* Vol. 13No. 3 : 193-214.
- IWACO-WASECO.(1991) : West Java provincial water sources master plan for water supply, Bandung hydrological study, Main report annex 1 - surface water resources. Pp. 109.
- Kashef AAI.(1987): *Ground water Engineering*, Me Graw – Hill Book Co, Singapore.
- Kamiana, I made. (2011) : Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Graha Ilmu.Jakarta.
- KOICA. (2006) : Karian Multi Porpose Dam Report. KOICA inc.
- LW.(2005) : *Groundwater Hydrology*. Third Edition. John Wiley & Sons, Singapore.
- Linsley, Ray K., & Fransini, Joseph B.(1989): Hidrologi Untuk Insinyur, Erlangga, Jakarta.
- Linsley, Ray K., & Fransini, Joseph B.(1991): Teknik Sumber Daya Air, PT. Gelora Aksara
- Linsley Jr., R. K., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H. (1986): Hidrologi Untuk Insinyur. Edisi ketiga. Terjemahan oleh Yandi Hermawan. Jakarta: Erlangga.Pratama, Jakarta.
- Linsley, R. K. Jr., Max A. Kohler, Joseph L. H. Paulhus.(1949) : Applied Hidrology. McGraw-Hill Book Company Inc. New York.
- M.Lilly Padmaja Joshi., K. Rammohan Reddy.(2012) : System Approach to the Optimal Operation of Srisailam Reservoir.*International Journal of Civil Engineering applications Research*.Vol. 03 Issue 03.
- Marganingrum D. (2013) : Manajemen Air Terpadu Dalam Rangka Pengembang Air Baku SPAM Regional Di KSN Cekungan Bandung, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, 19-25
- Newsha K., Ajami., George M. Hornberger., David L.(2008): Sunding.Sustainable water resource management under hydrological uncertainty.*Water Resources Research* Vol. 44.
- Pan Liu., Jingfei Zhao., Liping Li., Yan Shen.(2012) : Optimal Reservoir Operation Using Stochastic Dynamic Programming. *Journal of Water Resource and Protection*Vol 4: 342-345.

- Paul W. Seelbach., Leon C. Hinz., Michael J. Wiley., R. Cooper.(2011): Use of Multiple Linear Regression to Estimate Flow Regimes for All Rivers Across Illinois, Michigan, and Wisconsin. *Fisheries Research Report 2095*.
- Republik Indonesia. (2004) : Undang-Undang Republik Indonesia No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air. Lembaran Negara RI Tahun Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia. (2010) : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan. Lembaran Negara RI. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia.(2005) : Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 16 Tahun 2005 Tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. Lembaran Negara RI. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Soemarto, C. D. (1987) : Hidrologi Teknik. Usaha Nasional, Surabaya.
- Suripin. (2001) : Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Sosrodarsono, Suyono.(2002) : Bendungan Type Urugan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Soewarno.(1995) : Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data. Jilid 1&2, Nova. Bandung.
- Sabar, Arwin (1992) : Modelisasi Sumber air dan Eksploatasi Energi Waduk Citarum-Saguling. Seminar Nasional Lingkungan & Tantangan Masa Depan, KLH,IATPI-ITB. Bandung.
- Sabar, Arwin (1993) : *Rainfall Runoff Watershed Model by Multiple Regression Method for Optimizing Hydroelectric Power Saguling an uncertain future*. 4th IAWQ Asian Regional Conference on water conservation and pollution control. Jakarta.
- Sabar, Arwin (1993) : Menuju Optimisasi Eksploitasi Energi air Studi Kasus PLTA Citarum-Saguling. Symposium Permasalahan air Nasional kerjasama Kantor Menteri Lingkungan Hidup-ITB. Bandung.
- Sabar, Arwin (1997) : *Condition and Problem of Groundwater Bandung Basin & Its Solutions. Australia -Indonesian Water Quality R & D Project Australian Departement of Education, Employment, Training & Youth Affair-PPSL PDK-PPLH UNPAD*. Bandung.
- Sabar, Arwin (1996) : Pengelolaan Optimal Stokhastik Aktual dengan Methode Bellman ( Kasus PLTA saguling), Makalah Seminar Ekonomi Sumber Air Baku untuk Mendukung Program Penyediaan Air Bersih. Yogyakarta.

- Sabar, Arwin (1999), Permasalahan Hidrologi Perkotaan di Indonesia Studi Kasus Daerah Bandung Raya, Seminar Tata Air di Indonesia Menghadapi Millenium III, Prosiding HATHI, Bandung 4 Desember 1999
- Sabar, Arwin (1999) : *The Impacts of Landuse change on waterborne Diseases Pattern Case Study : Upper Citarum Watershed. The First International Symposium on Southeast Asian Water Environment.*
- Sabar, Arwin (2002) : Tren Global Pembangunan Infrastruktur Sumber Daya Air yang Berkelanjutan Dalam rangka Diskusi Pakar Perumusan Kebijakan *Eco-Efficient Water Infrastructure* Indonesia. Direktorat Pengairan dan Irigasi.
- Sabar, Arwin. (2008) Tinjau Hidrologi & Pengembangan Infrastruktur Sumber Daya Air, Pidato Ilmiah Guru Besar. Bandung
- Sabar, Arwin (2009) : Pembahas Roadmap perubahan Iklim dalam Pembangunan Nasional sektor Focus Group Discussion Perubahan Iklim Sektor Sumber daya air & Limbah Sumber Daya Air & Limbah Bappenas. Jakarta.
- Sabar, Arwin., dan Ridwan, L.M. (2009) : Sumber air baku & peningkatan pelayanan Air Minum Perkotaan Kawasan Pesisir Pantai: Kasus PAM Kota Pontianak. Semiloka Nasional Peningkatan Pelayanan Air Minum Menuju MDGs 2015. Pontianak.
- Sabar, Arwin. (2009) : Tren Global Pembangunan Infrastruktur Sumber Daya Air yang Berkelanjutan. Makalah disajikan dalam Diskusi Pakar Perumusan Kebijakan *Eco-Efficient Water Infrastructure* Indonesia, Direktorat Pengairan dan Irigasi-Bappenas. Jakarta.
- Sabar, Arwin. (2011) : Perubahan Iklim, Manajemen Air Dan Degradasi Infrastruktur Sumber Daya Air Perkotaan Di Zona Monsoon Indonesia Ihwal Pantura Metropolitan, Peringatan Hari Air Dunia Ke XIX Tahun 2011. Jakarta.
- Sabar, Arwin (2011) : Degradasi Kualitas Air Tarum Barat dan Peningkatan Infrastruktur Air Minum DKI Jakarta. Materi Kuliah FTSL ITB. Bandung.
- Soewarno.(1991) : Hidrologi Pengukuran Dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri), Nova, Bandung.
- Sosrodarso S, Takeda K. (1993) : Hidrologi untuk pengairan. Pradnya Paramita. Jakarta.

- Sudjarwadi. (1992) : Dasar-dasar Teknik Irigasi. Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah mada
- Tamin M. Zakaria Amin. (2008) : Kebijakan Strategis Pengembangan Air Minum di Kawasan Andalan Kasus Jagodetabek. Peringatan Hari Air Sedunia Kerma Dirjen CK –ITB.
- Todd DK. (1995) : Groundwater Hydrology. Second Edition. John Wiley & Sons, Singapore. Todd DK, Mays.
- Ward. (1967) : Principles of Hydrology. Mc-Graw Hill Publishing Company. England.

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Debit Rata-Rata Bulanan Sungai Ciberang-Stasiun Karian (1970-2004)

Tahun	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
1970	35,77	95,38	102,64	107,88	71,72	66,21	43,64	15,55	25,70	24,44	55,48	100,22
1971	84,60	125,27	81,75	44,50	30,12	30,56	29,94	37,36	24,60	54,20	58,86	43,94
1972	127,45	67,30	91,96	39,37	50,52	11,80	6,64	10,11	3,03	4,45	16,62	30,21
1973	79,66	54,12	66,19	84,27	93,16	51,66	23,69	30,97	60,84	52,77	49,22	63,44
1974	94,48	69,70	68,95	56,16	62,34	28,37	32,32	44,26	89,77	47,22	39,02	43,51
1975	50,20	78,92	51,53	26,99	34,08	20,65	29,84	44,41	65,96	36,29	61,98	97,06
1976	132,71	49,15	63,01	46,26	28,90	18,37	11,49	11,80	7,30	21,75	37,07	24,69
1977	66,85	53,91	76,47	70,51	65,33	36,64	14,64	7,63	7,55	8,68	13,66	22,57
1978	87,60	43,29	68,00	41,85	36,51	34,48	29,72	40,53	36,03	37,15	46,12	37,77
1979	64,31	73,64	59,32	80,27	31,15	19,98	21,84	13,01	15,92	16,22	47,14	39,18
1980	110,47	58,31	35,31	55,90	48,73	22,97	24,00	46,10	47,50	35,55	45,85	65,44
1981	104,55	71,18	66,39	55,60	63,91	73,36	55,58	37,72	48,05	52,88	79,23	64,86
1982	128,32	42,24	22,35	41,10	29,44	12,55	8,08	4,39	2,92	7,56	41,37	51,54
1983	44,41	32,51	26,68	23,14	33,41	15,75	11,02	5,04	6,55	16,89	51,15	37,69
1984	58,27	59,48	68,86	70,25	67,03	21,83	38,05	40,30	58,08	35,17	23,78	24,15
1985	36,20	71,54	70,04	36,31	36,86	12,82	25,72	20,12	32,68	24,43	38,97	62,39
1986	101,31	57,71	60,35	74,09	46,43	50,73	11,40	12,48	15,30	24,47	31,33	70,18
1987	58,06	75,02	53,94	65,68	63,36	64,07	39,65	28,39	18,48	18,41	24,96	29,38
1988	73,11	89,40	108,26	104,06	44,84	19,00	20,67	22,05	22,48	23,45	31,89	59,73
1989	37,06	132,90	44,36	25,97	41,98	23,06	19,31	25,97	31,20	26,33	33,08	49,07

Tahun	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
1990	188,38	48,25	62,59	41,16	41,41	35,29	56,09	49,63	59,72	44,14	37,72	26,54
1991	19,78	87,35	36,64	24,59	8,90	6,21	6,14	4,84	7,99	14,21	15,03	27,85
1992	38,98	43,54	39,29	52,50	41,24	24,48	15,40	19,39	19,39	50,28	54,89	33,28
1993	91,45	80,93	47,73	66,51	85,83	54,50	28,78	73,77	72,01	53,74	57,20	68,81
1994	42,05	28,75	27,47	53,36	80,52	17,86	16,37	13,11	8,83	17,21	27,66	14,98
1995	37,81	68,91	59,88	41,90	44,94	37,86	46,08	17,66	12,32	18,95	43,36	52,31
1996	45,11	36,48	46,71	43,42	29,23	28,22	19,15	21,85	24,53	30,98	36,79	44,48
1997	37,39	43,41	29,95	33,61	35,37	16,17	9,40	11,30	8,99	7,81	12,83	21,71
1998	23,65	36,50	42,40	40,94	38,56	21,55	21,70	28,21	21,89	30,37	32,97	25,90
1999	87,46	61,30	31,92	24,75	20,85	16,04	17,63	11,05	13,97	24,01	22,25	40,51
2000	40,82	100,53	29,91	17,96	18,62	19,08	16,62	9,97	13,43	15,66	30,68	15,18
2001	37,93	57,51	32,06	22,90	24,06	22,42	24,62	14,91	19,70	23,24	30,98	14,55
2002	22,92	40,43	23,46	34,54	19,56	19,03	18,54	9,91	21,73	9,93	20,12	28,53
2003	24,44	38,34	27,98	30,77	37,28	21,38	14,02	8,41	15,94	21,11	25,05	39,49
2004	19,26	22,19	31,73	28,37	21,58	9,27	19,02	8,89	17,53	14,50	19,47	27,78



Lampiran 2 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Banjar Irigasi (1982-2004)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1982	523	383	188	611	181	108	165	42	131	196	309	382
1983	494	348	307	193	173	152	109	45	155	275	2438	152
1984	223	323	245	220	171	154	11	155	146	140	298	202
1985	488	261	245	370	218	166	240	119	276	182	147	324
1986	521	227	721	492	340	334	211	254	436	241	330	450
1987	483	310	441	689	324	415	378	49	130	283	170	252
1988	269	371	378	385	476	67	162	264	184	170	244	242
1989	453	540	249	94	549	319	219	200	168	208	197	204
1990	546	159	265	141	186	56	128	181	665	269	307	310
1991	297	504	184	245	196	95	139	77	142	96	436	275
1992	308	703	555	599	475	191	328	54	303	459	569	223
1993	447	399	290	550	456	349	201	322	375	94	448	714
1994	481	388	254	581	190	94	86	54	71	232	214	214
1995	608	368	367	257	163	229	274	66	115	312	558	499
1996	286	422	529	416	407	291	250	350	152	317	367	599
1997	284	293	272	459	354	53	10	17	5	97	224	293
1998	487	472	587	573	404	372	317	325	267	361	194	153
1999	437	363	90	241	262	374	318	189	212	356	184	307
2000	319	359	387	240	268	364	277	78	245	208	263	176
2001	235	343	127	154	236	120	234	100	198	121	164	197
2002	181	186	114	191	149	56	54	18	0	26	187	110

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2003	92	131	81	142	168	63	58	15	86	302	125	177
2004	149	136	180	329	211	59	150	31	248	122	269	263

Lampiran 3 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Pasir Ona(1982-2004)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1982	589	294	267	309	267	100	95	15	74	101	313	210
1983	249	190	188	185	188	94	113	23	94	214	436	248
1984	322	199	332	323	332	111	130	101	222	123	208	181
1985	246	243	252	224	252	141	204	101	235	154	125	275
1986	442	192	262	239	262	147	140	84	210	140	222	201
1987	283	232	183	248	183	118	72	0	0	29	49	129
1988	228	315	317	193	317	57	72	124	156	144	207	206
1989	241	557	117	112	117	122	147	170	143	176	167	173
1990	464	135	225	120	225	47	108	88	179	249	197	264
1991	303	486	277	276	277	32	20	5	129	46	330	184
1992	326	345	319	318	319	154	182	122	174	318	329	305
1993	371	436	178	291	178	105	110	235	352	173	380	606
1994	460	305	234	325	234	80	0	21	30	68	125	88
1995	553	217	386	224	386	213	245	10	152	275	672	391
1996	242	86	230	360	230	84	33	101	141	242	202	357
1997	373	429	145	82	145	0	0	0	18	10	300	184
1998	217	183	356	348	356	289	89	139	112	254	404	386

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1999	485	314	155	181	155	151	101	96	256	119	240	509
2000	386	578	274	132	274	104	109	191	90	224	327	111
2001	627	467	198	226	198	147	221	55	291	129	158	174
2002	473	318	178	489	178	56	49	13	32	0	167	164
2003	107	292	74	233	74	12	9	0	32	122	142	381
2004	158	136	211	267	211	220	139	0	135	162	287	292

Lampiran 4 Tabel Curah Hujan Rata-Rata Bulanan Pos Sajira (1998-2004)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1998	524	264	164	98	97	180	83	8	202	181	259	187
1999	263	226	121	73	61	35	17	34	36	126	139	186
2000	230	188	58	62	48	51	36	44	31	63	75	116
2001	233	234	161,5	112	68	75	78	25	66	214	135	205
2002	246	211	128,5	131	112	81	59	12	20	22	55	195
2003	74	270	137	215	120	40	18	0	35	200	122	353
2004	247	347	240	404	235	219	142	0	132	167	276	296

Lampiran 5 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Cimarga (1982-2003)

STASIUN CIMARGA						
Tahun	1 Hari		2 Hari		3 Hari	
	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan
1982	10/01	68	13/01 - 14/01	115	13/01 - 15/01	180
1983	30/03	75	01/05 - 02/05	102	27/12 - 29/12	J 145
1984	12/01	75	07/03 - 08/03	92	07/03 - 09/03	122
1985	06/01	65	01/01 - 02/01	90	04/09 - 06/09	i 115
1986	14/12	45	13/12 - 14/12	71	12/12 - 14/12	96
1987	10/11	58	09/12 - 10/12	80	09/12 - 11/12	82
1988	30/01	51	06/02 - 07/02	85	07/03 - 09/03	118
1989	23/02	100	22/02 - 23/02	140	21/02 - 23/02	210
1990	10/01	65	24/03 - 25/03	90	23/03 - 25/03	125
1991	29/01	62	22/02 - 23/02	92	21/02 - 23/02	117
1992	10/11	60	31/10 - 01/11	90	30/10 - 01/11	133
1993	24/12	82	25/12 - 26/12	106	24/12 - 26/12	188
1994	17/01	58	17/01 - 18/01	98	19/01 - 21/01	125
1995	18/01	75	17/01 - 18/01	110	31/01 - 02/02	145
1996	14/05	110	26/11 - 27/11	125	26/11 - 28/11	125
1997	10/11	54	09/11 - 10/11	54	10/11 - 12/11	82
1998	12/05	84	12/05 - 13/05	89	26/03 - 28/03	100,5
1999	04/01	124	04/01 - 05/01	127	27/02 - 01/02	128
2000	17/01	133	17/01 - 18/01	136	17/01 - 19/01	158
2001	08/02	48,76	06/02 - 07/02	82,87	06/02 - 08/02	131,63
2002	26/11	86	09/04 - 10/04	113	08/04 - 10/04	126
2003	01/01	83	29/12 - 30/12	131	27/12 - 29/12	131

Lampiran 6 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Pasir Ona (1982-2003)

STASIUN CIMARGA						
Tahun	1 Hari		2 Hari		3 Hari	
	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan
1982	14/01	48,53	15/01 - 16/01	73,75	10/01 - 12/01	106
1983	27/11	48,74	27/11 - 28/11	89,44	27/11 - 29/11	114,01
1984	29/04	37,31	05/03 - 06/03	57,68	01/01 - 03/01	81,48
1985	03/12	97,22	03/12 - 04/12	124,61	03/12 - 05/12	142,74
1986	14/12	36,36	13/12 - 14/12	66,88	22/01 - 24/01	90,69
1987	05/12	45	05/12 - 06/12	50	03/12 - 05/12	62
1988	14/12	42,57	14/12 - 15/12	65,8	28/03 - 30/03	74,32
1989	22/02	46,96	22/02 - 23/02	72,64	21/02 - 23/02	98,48
1990	22/11	73	05/01 - 06/01	77,3	21/11 - 23/11	105
1991	09/11	150	08/11 - 09/11	160	07/11 - 09/11	163
1992	01/01	48,39	01/01 - 02/01	80,47	01/01 - 03/01	88,15
1993	24/12	85,56	23/12 - 24/12	99,22	24/12 - 26/12	162,86
1994	07/01	74	11/01 - 12/01	89,5	13/04 - 15/04	139
1995	24/11	96	07/12 - 08/12	153,8	06/12 - 08/12	178,8
1996	19/05	100,6	22/04 - 23/04	141,6	21/04 - 23/04	154,6
1997	12/02	77	12/02 - 13/02	132,4	12/02 - 14/02	136,4
1998	29/05	99	29/12 - 30/12	149,6	27/12 - 29/12	174,6
1999	23/01	95	01/01 - 02/01	132.	01/01 - 03/01	182
2000	17/05	85	16/05 - 17/05	110	06/02 - 08/02	141
2001	19/07	105	06/02 - 07/02	158	06/02 - 08/02	195

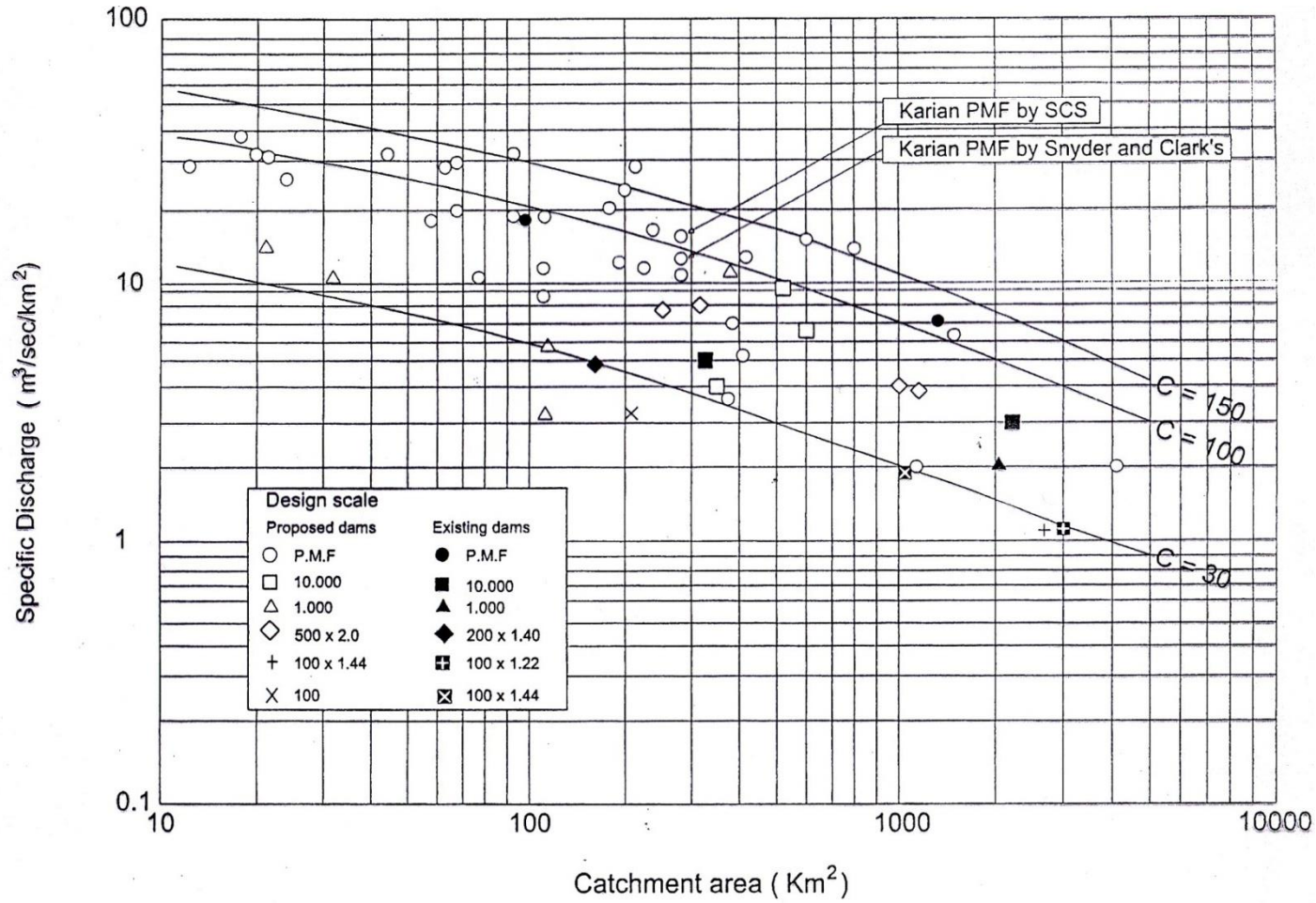
STASIUN CIMARGA						
Tahun	1 Hari		2 Hari		3 Hari	
	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan	Tgl	Curah Hujan
2002	09/04	135	09/04 - 10/04	147	07/04 - 09/04	219
2003	17/11	88	25/04 - 26/04	140	25/04 - 27/04	144

Lampiran 7 Tabel Curah Hujan Harian Maksimum Stasiun Sampang Peundeuy (1982-2003)

SAMPANG PEUNDEUY STATION (38A)						
Tahun	1 Hari		2 Hari		3 Hari	
	Tgl	Curah Hujan	Tgl		Tgl	Curah Hujan
1982	02/11	137	05/11 - 06/11	202	03/11 - 05/11	242
1983	27/11	100	27/11 - 28/11	142	27/11 - 29/11	162
1984	28/03	100	27/03 - 28/03	123	28/03 - 30/03	218
1985	02/12	120	02/03 - 03/03	131	30/11 - 02/12	163
1986	21/04	130	21/04 - 22/04	147	19/04 - 21/04	160
1987	04/01	125	04/01 - 05/05	140	04/01 - 06/01	154
1988	29/01	85	04/02 - 05/02	97	28/03 - 30/03	117
1989	31/10	85	11/08 - 12/08	92	31/10 - 02/11	135
1990	05/01	110	22/09 - 23/09	129	22/01 - 24/01	150

SAMPANG PEUNDEUY STATION (38A)						
Tahun	1 Hari		2 Hari		3 Hari	
	Tgl	Curah Hujan	Tgl		Tgl	Curah Hujan
1991	17/02	39,11	04/02 - 05/02	59,53	15/02 - 17/02	87,87
1992	01/01	56,31	01/01 - 02/01	93,65	01/01 - 03/01	102,59
1993	24/12	99,57	23/12 - 24/12	115,47	24/12 - 26/12	189,52
1994	16/12	80	03/04 - 04/04	133	03/04 - 05/04	136
1995	02/03	152	12/02 - 13/02	157	12/02 - 14/02	157
1996	13/12	61,85	12/12 - 13/12	86,63	11/12 - 13/12	116,76
1997	12/02	48,64	12/02 - 13/02	72,64	12/02 - 14/02	83,05
1998	16/01	109	26/10 - 27/10	198	27/12 - 29/12	293
1999	04/11	102	03/01 - 04/01	146	28/03 - 30/03	218
2000	23/04	134	22/04 - 23/04	168	22/04 - 24/04	172
2001	07/02	98	06/02 - 07/02	188	06/02 - 08/02	261
2002	21/03	72	21/03 - 22/03	102	21/03 - 23/03	144
2003	22/03	87	21/03 - 22/03	104	20/03 - 22/03	137

Lampiran 8 Kurva hubungan antara luas daerah tangkapan dengan debit



Data source : Guideline for dam flood safety, DGWRD, Ministry of Public Works



Lampiran 9 Hasil Perhitungan Simulasi Model Markov dengan Lintasan Diskrit Markov (1998-2004)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
1998	Jan	26,35	17,38	8,04	72,31	63,33	39,10	14,90	0,00
Kering	Feb	66,69	25,33	17,38	94,34	88,29	35,32	45,02	0,00
	Mar	93,04	75,36	25,33	131,22	113,55	39,10	24,41	0,00
	Apr	106,44	101,10	75,36	111,46	106,12	37,84	42,54	0,00
	May	116,71	118,21	101,10	101,76	103,26	39,10	47,05	0,00
	Jun	104,19	103,02	118,21	57,02	55,86	37,84	33,20	0,00
	Jul	79,65	84,21	103,02	53,56	58,11	39,10	37,83	0,00
	Aug	49,76	12,00	84,21	112,48	75,55	39,10	107,82	0,00
	Sep	16,50	23,99	12,00	49,25	56,74	37,84	6,90	0,00
	Oct	0,00	30,00	23,99	117,83	81,33	39,10	102,73	0,00
	Nov	0,44	0,00	30,00	90,72	85,46	37,84	82,44	0,00
	Dec	8,04	15,80	0,00	61,59	69,36	39,10	14,46	0,00
1999	Jan	62,89	59,85	15,80	237,26	234,22	39,10	151,07	0,00
Normal	Feb	112,68	120,66	59,85	140,30	148,28	35,32	52,15	0,00
	Mar	153,39	158,54	120,66	80,34	85,48	39,10	8,51	0,00
	Apr	174,34	171,10	158,54	67,39	64,15	37,84	13,74	0,00
	May	185,60	177,16	171,10	64,27	55,84	39,10	10,68	0,00
	Jun	152,11	152,21	177,16	41,47	41,58	37,84	28,68	0,00
	Jul	115,16	108,81	152,21	53,56	47,21	39,10	51,51	0,00
	Aug	70,18	54,24	108,81	45,53	29,59	39,10	45,06	0,00

Tahun	Bulan	St Pedomam (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Sep	28,92	15,88	54,24	49,25	36,21	37,84	36,73	0,00
	Oct	0,00	2,70	15,88	61,59	64,30	39,10	38,37	0,00
	Nov	0,21	3,45	2,70	54,43	57,67	37,84	19,08	0,00
	Dec	8,79	4,70	3,45	99,09	95,00	39,10	54,65	0,00
2000	Jan	26,35	0,00	4,70	144,61	109,32	39,10	83,87	0,00
Kering	Feb	66,69	92,17	0,00	217,71	243,18	35,32	115,70	0,00
	Mar	93,04	92,80	92,17	80,34	80,10	39,10	40,37	0,00
	Apr	106,44	85,60	92,80	67,39	46,55	37,84	15,91	0,00
	May	116,71	96,36	85,60	64,27	49,86	39,10	0,00	0,00
	Jun	104,19	96,62	96,36	57,02	49,46	37,84	11,35	0,00
	Jul	79,65	70,60	96,62	53,56	44,51	39,10	31,43	0,00
	Aug	49,76	52,36	70,60	24,10	26,70	39,10	5,84	0,00
	Sep	16,50	2,07	52,36	49,25	34,81	37,84	47,26	0,00
	Oct	0,00	0,00	2,07	61,59	41,94	39,10	24,56	0,00
	Nov	0,44	0,00	0,00	90,72	79,52	37,84	52,44	0,00
	Dec	8,04	0,00	0,00	61,59	40,65	39,10	14,46	0,00
2001	Jan	26,35	0,00	0,00	144,61	101,58	39,10	79,17	0,00
Kering	Feb	66,69	65,51	0,00	140,30	139,12	35,32	38,29	0,00
	Mar	93,04	47,67	65,51	131,22	85,86	39,10	64,59	0,00
	Apr	106,44	69,19	47,67	67,39	59,36	37,84	0,00	0,00
	May	116,71	116,87	69,19	64,27	64,43	39,10	-22,35	0,00

Tahun	Bulan	St Pedomam (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Jun	104,19	105,28	116,87	57,02	58,11	37,84	31,86	0,00
	Jul	79,65	92,03	105,28	53,56	65,93	39,10	40,09	0,00
	Aug	49,76	44,16	92,03	45,53	39,93	39,10	48,69	0,00
	Sep	16,50	18,32	44,16	49,25	51,06	37,84	39,07	0,00
	Oct	0,00	0,64	18,32	61,59	62,24	39,10	40,81	0,00
	Nov	0,44	0,00	0,64	90,72	80,30	37,84	53,08	0,00
	Dec	8,04	0,00	0,00	61,59	52,35	39,10	14,46	0,00
2002	Jan	26,35	15,42	0,00	72,31	61,38	39,10	6,86	0,00
Kering	Feb	66,69	77,90	15,42	94,34	97,80	35,32	0,00	0,00
	Mar	93,04	75,53	77,90	80,34	62,83	39,10	26,11	0,00
	Apr	106,44	84,51	75,53	111,46	89,53	37,84	42,70	0,00
	May	116,71	97,79	84,51	64,27	52,38	39,10	0,00	0,00
	Jun	104,19	96,49	97,79	57,02	49,33	37,84	12,78	0,00
	Jul	79,65	75,74	96,49	53,56	49,65	39,10	31,30	0,00
	Aug	49,76	52,20	75,74	24,10	26,54	39,10	10,99	0,00
	Sep	16,50	23,58	52,20	49,25	56,32	37,84	47,10	0,00
	Oct	0,00	0,00	23,58	37,49	26,59	39,10	21,97	0,00
	Nov	0,44	0,00	0,00	54,43	52,15	37,84	16,15	0,00
	Dec	8,04	0,00	0,00	99,09	76,40	39,10	51,95	0,00
2003	Jan	26,35	19,49	0,00	72,31	65,45	39,10	6,86	0,00
Kering	Feb	66,69	76,92	19,49	94,34	92,74	35,32	0,00	0,00

Tahun	Bulan	St Pedomam (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Mar	93,04	87,63	76,92	80,34	74,93	39,10	25,12	0,00
	Apr	106,44	118,80	87,63	67,39	79,76	37,84	10,74	0,00
	May	116,71	114,79	118,80	101,76	99,84	39,10	64,75	0,00
	Jun	104,19	102,58	114,79	57,02	55,42	37,84	29,78	0,00
	Jul	79,65	87,74	102,58	29,46	37,55	39,10	13,29	0,00
	Aug	49,76	48,18	87,74	24,10	22,52	39,10	22,98	0,00
	Sep	16,50	8,57	48,18	49,25	41,32	37,84	43,08	0,00
	Oct	0,00	0,00	8,57	61,59	56,53	39,10	31,07	0,00
	Nov	0,44	0,00	0,00	90,72	64,93	37,84	52,44	0,00
	Dec	8,04	14,70	0,00	99,09	105,75	39,10	51,95	0,00
2004	Jan	26,35	5,62	14,70	72,31	51,58	39,10	21,56	0,00
Kering	Feb	66,69	60,98	5,62	94,34	90,68	35,32	0,00	0,00
	Mar	93,04	97,67	60,98	80,34	84,97	39,10	9,18	0,00
	Apr	106,44	112,58	97,67	67,39	73,54	37,84	20,78	0,00
	May	116,71	110,23	112,58	64,27	57,79	39,10	21,04	0,00
	Jun	104,19	86,75	110,23	41,47	24,03	37,84	9,67	0,00
	Jul	79,65	77,03	86,75	53,56	50,94	39,10	21,55	0,00
	Aug	49,76	49,47	77,03	24,10	23,81	39,10	12,27	0,00
	Sep	16,50	12,69	49,47	49,25	45,44	37,84	44,37	0,00
	Oct	0,00	0,00	12,69	61,59	38,83	39,10	35,19	0,00
	Nov	0,44	0,00	0,00	54,43	50,47	37,84	16,15	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Dec	8,04	0,00	0,00	99,09	74,39	39,10	51,95	0,00

Lampiran 10 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Markov dengan Lintasan Diskrit Markov (1998-2004)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
1998	Jan	40,00	15,15	7,67	88,19	63,33	39,10	16,76	0,00
Kering	Feb	80,33	18,77	15,15	114,53	88,29	35,32	49,35	0,00
	Mar	110,67	93,22	18,77	109,59	113,55	39,10	0,00	0,00
	Apr	129,00	131,69	93,22	103,42	106,12	37,84	29,80	0,00
	May	138,33	140,89	131,69	100,71	103,26	39,10	54,97	0,00
	Jun	117,67	121,08	140,89	52,44	55,86	37,84	37,82	0,00
	Jul	92,00	88,14	121,08	61,97	58,11	39,10	51,96	0,00
	Aug	58,33	58,22	88,14	75,66	75,55	39,10	66,37	0,00
	Sep	23,67	24,71	58,22	55,69	56,74	37,84	52,40	0,00
	Oct	0,00	3,66	24,71	77,67	81,33	39,10	63,29	0,00
	Nov	0,33	2,58	3,66	83,21	85,46	37,84	48,69	0,00
	Dec	7,67	6,64	2,58	70,39	69,36	39,10	26,20	0,00
1999	Jan	68,00	78,68	6,64	223,54	234,22	39,10	123,08	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
Normal	Feb	116,00	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154,00	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00
	Apr	176,00	179,18	152,87	60,86	64,15	37,84	0,00	0,00
	May	189,00	190,60	179,18	54,24	55,84	39,10	5,32	0,00
	Jun	159,00	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121,00	123,21	158,87	45,00	47,21	39,10	43,77	0,00
	Aug	77,00	77,59	123,21	29,00	29,59	39,10	36,11	0,00
	Sep	36,00	26,21	77,59	46,00	36,21	37,84	49,75	0,00
	Oct	5,00	7,30	26,21	62,00	64,30	39,10	44,11	0,00
	Nov	0,00	0,00	7,30	61,87	57,67	37,84	31,33	0,00
	Dec	10,00	23,25	0,00	95,24	108,49	39,10	46,14	0,00
	2000	Jan	40,00	39,88	23,25	109,43	109,32	39,10	53,58
Kering	Feb	80,33	143,31	39,88	180,20	243,18	35,32	104,43	0,00
	Mar	110,67	114,60	143,31	76,17	80,10	39,10	69,71	0,00
	Apr	129,00	123,31	114,60	45,05	46,55	37,84	0,00	0,00
	May	138,33	134,08	123,31	47,91	49,86	39,10	0,00	0,00
	Jun	117,67	117,66	134,08	49,47	49,46	37,84	28,03	0,00
	Jul	92,00	94,26	117,66	42,25	44,51	39,10	28,81	0,00
	Aug	58,33	54,03	94,26	31,00	26,70	39,10	27,83	0,00
	Sep	23,67	18,48	54,03	40,00	34,81	37,84	32,52	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Oct	0,00	0,00	18,48	62,00	41,94	39,10	41,38	0,00
	Nov	0,33	1,85	0,00	78,00	79,52	37,84	39,83	0,00
	Dec	7,67	3,41	1,85	41,71	40,65	39,10	0,00	0,00
2001	Jan	40,00	42,86	3,41	98,72	101,58	39,10	23,02	0,00
Kering	Feb	80,33	112,50	42,86	106,94	139,12	35,32	34,16	0,00
	Mar	110,67	110,52	112,50	86,01	85,86	39,10	48,74	0,00
	Apr	129,00	111,15	110,52	77,21	59,36	37,84	20,89	0,00
	May	138,33	136,48	111,15	57,60	64,43	39,10	0,00	0,00
	Jun	117,67	123,71	136,48	52,07	58,11	37,84	33,04	0,00
	Jul	92,00	100,95	123,71	56,99	65,93	39,10	49,60	0,00
	Aug	58,33	56,47	100,95	41,79	39,93	39,10	45,31	0,00
	Sep	23,67	23,98	56,47	50,75	51,06	37,84	45,70	0,00
	Oct	0,00	42,62	23,98	51,97	62,24	39,10	4,50	0,00
	Nov	0,33	6,05	42,62	74,58	80,30	37,84	79,03	0,00
	Dec	7,67	18,41	6,05	41,62	52,35	39,10	0,90	0,00
2002	Jan	40,00	33,97	18,41	67,41	61,38	39,10	6,72	0,00
Kering	Feb	80,33	96,45	33,97	74,53	97,80	35,32	0,00	0,00
	Mar	110,67	110,81	96,45	62,69	62,83	39,10	9,37	0,00
	Apr	129,00	145,19	110,81	73,34	89,53	37,84	17,30	0,00
	May	138,33	134,67	145,19	56,04	52,38	39,10	23,80	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Jun	117,67	121,96	134,67	45,04	49,33	37,84	24,20	0,00
	Jul	92,00	94,86	121,96	46,79	49,65	39,10	37,65	0,00
	Aug	58,33	49,51	94,86	35,36	26,54	39,10	32,79	0,00
	Sep	23,67	30,89	49,51	49,10	56,32	37,84	37,10	0,00
	Oct	0,00	14,38	30,89	27,39	26,59	39,10	4,00	0,00
	Nov	0,33	23,69	14,38	49,36	52,15	37,84	5,00	0,00
	Dec	7,67	0,00	23,69	88,24	76,40	39,10	65,16	0,00
2003	Jan	40,00	26,35	0,00	65,00	65,45	39,10	0,00	0,00
Kering	Feb	80,33	83,78	26,35	98,53	92,74	35,32	9,24	0,00
	Mar	110,67	117,89	83,78	67,71	74,93	39,10	1,72	0,00
	Apr	129,00	140,37	117,89	68,38	79,76	37,84	19,43	0,00
	May	138,33	138,61	140,37	99,56	99,84	39,10	62,50	0,00
	Jun	117,67	115,53	138,61	57,56	55,42	37,84	40,65	0,00
	Jul	92,00	89,55	115,53	40,00	37,55	39,10	24,43	0,00
	Aug	58,33	44,85	89,55	36,00	22,52	39,10	28,12	0,00
	Sep	23,67	15,99	44,85	49,00	41,32	37,84	32,34	0,00
	Oct	0,00	0,00	15,99	65,00	56,53	39,10	41,89	0,00
	Nov	0,33	4,11	0,00	61,15	64,93	37,84	22,98	0,00
	Dec	7,67	21,68	4,11	91,75	105,75	39,10	49,09	0,00
2004	Jan	40,00	0,00	21,68	91,99	51,58	39,10	34,57	0,00



Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
Kering	Feb	80,33	55,36	0,00	102,00	90,68	35,32	0,00	0,00
	Mar	110,67	101,23	55,36	84,77	84,97	39,10	0,00	0,00
	Apr	129,00	123,01	101,23	79,53	73,54	37,84	13,92	0,00
	May	138,33	129,20	123,01	66,92	57,79	39,10	12,50	0,00
	Jun	117,67	115,38	129,20	24,69	24,03	37,84	0,00	0,00
	Jul	92,00	90,98	115,38	51,96	50,94	39,10	36,24	0,00
	Aug	58,33	48,14	90,98	34,00	23,81	39,10	27,55	0,00
	Sep	23,67	22,81	48,14	46,30	45,44	37,84	32,92	0,00
	Oct	0,00	0,00	22,81	40,00	38,83	39,10	23,71	0,00
	Nov	0,33	0,00	0,00	65,86	50,47	37,84	27,68	0,00
	Dec	7,67	10,01	0,00	72,05	74,39	39,10	25,28	0,00

Lampiran 11 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Kontinu dengan Lintasan Pedoman Periode Ulang 10 Tahun (1998-2004)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998	Jan	30,00	5,15	7,00	88,19	63,33	39,10	26,09	0,00
Kering	Feb	66,00	4,44	5,15	114,53	88,29	35,32	53,68	0,00
	Mar	93,00	78,89	4,44	109,59	113,55	39,10	0,00	0,00
	Apr	109,00	111,69	78,89	103,42	106,12	37,84	35,47	0,00
	May	117,00	119,56	111,69	100,71	103,26	39,10	56,30	0,00
	Jun	100,00	103,41	119,56	52,44	55,86	37,84	34,16	0,00
	Jul	79,00	75,14	103,41	61,97	58,11	39,10	47,29	0,00
	Aug	50,00	49,89	75,14	75,66	75,55	39,10	61,70	0,00
	Sep	20,00	21,04	49,89	55,69	56,74	37,84	47,74	0,00
	Oct	0,00	3,66	21,04	77,67	81,33	39,10	59,62	0,00
	Nov	1,00	3,25	3,66	83,21	85,46	37,84	48,02	0,00
	Dec	7,00	5,97	3,25	70,39	69,36	39,10	27,54	0,00
	1999	Jan	68,00	78,68	5,97	223,54	234,22	39,10	122,41
Normal	Feb	116,00	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154,00	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00
	Apr	176,00	179,18	152,87	60,86	64,15	37,84	0,00	0,00
	May	189,00	190,60	179,18	54,24	55,84	39,10	5,32	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Jun	159,00	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121,00	125,03	158,87	43,18	47,21	39,10	41,95	0,00
	Aug	77,00	65,17	125,03	41,42	29,59	39,10	50,35	0,00
	Sep	36,00	60,54	65,17	32,98	36,21	37,84	3,00	0,00
	Oct	5,00	80,74	60,54	54,64	64,30	39,10	5,00	0,00
	Nov	0,00	92,56	80,74	61,87	57,67	37,84	8,00	0,00
	Dec	10,00	33,25	92,56	95,24	108,49	39,10	128,71	0,00
2000	Jan	30,00	29,88	23,25	109,43	109,32	39,10	63,58	0,00
Kering	Feb	66,00	128,98	29,88	180,20	243,18	35,32	108,76	0,00
	Mar	93,00	96,93	128,98	76,17	80,10	39,10	73,05	0,00
	Apr	109,00	105,64	96,93	45,05	46,55	37,84	0,00	0,00
	May	117,00	116,41	105,64	47,91	49,86	39,10	0,00	0,00
	Jun	100,00	99,99	116,41	49,47	49,46	37,84	28,03	0,00
	Jul	79,00	81,26	99,99	42,25	44,51	39,10	24,14	0,00
	Aug	50,00	50,37	81,26	26,33	26,70	39,10	18,49	0,00
	Sep	20,00	18,30	50,37	36,51	34,81	37,84	29,04	0,00
	Oct	0,00	0,00	18,30	56,84	41,94	39,10	36,04	0,00
	Nov	1,00	11,86	0,00	68,66	79,52	37,84	29,82	0,00
	Dec	7,00	13,42	11,86	41,71	40,65	39,10	0,00	0,00
2001	Jan	30,00	32,86	13,42	98,72	101,58	39,10	43,03	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
Kering	Feb	66,00	98,17	32,86	106,94	139,12	35,32	38,49	0,00
	Mar	93,00	92,85	98,17	86,01	85,86	39,10	52,08	0,00
	Apr	109,00	91,15	92,85	77,21	59,36	37,84	23,22	0,00
	May	117,00	116,48	91,15	57,60	64,43	39,10	0,00	0,00
	Jun	100,00	106,04	116,48	52,07	58,11	37,84	30,71	0,00
	Jul	79,00	87,95	106,04	56,99	65,93	39,10	44,93	0,00
	Aug	50,00	48,14	87,95	41,79	39,93	39,10	40,64	0,00
	Sep	20,00	20,31	48,14	50,75	51,06	37,84	41,04	0,00
	Oct	0,00	10,27	20,31	51,97	62,24	39,10	33,18	0,00
	Nov	1,00	6,72	10,27	74,58	80,30	37,84	46,01	0,00
	Dec	7,00	20,74	6,72	41,62	55,35	39,10	2,24	0,00
2002	Jan	30,00	23,97	20,74	67,41	61,38	39,10	19,05	0,00
Kering	Feb	66,00	86,45	23,97	74,53	97,80	35,32	0,00	0,00
	Mar	93,00	93,14	86,45	62,69	62,83	39,10	17,04	0,00
	Apr	109,00	125,19	93,14	73,34	89,53	37,84	19,63	0,00
	May	117,00	113,34	125,19	56,04	52,38	39,10	25,13	0,00
	Jun	100,00	104,29	113,34	45,04	49,33	37,84	20,54	0,00
	Jul	79,00	81,86	104,29	46,79	49,65	39,10	32,98	0,00
	Aug	50,00	41,18	81,86	35,36	26,54	39,10	28,12	0,00
	Sep	20,00	27,22	41,18	49,10	56,32	37,84	32,44	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Oct	0,00	0,00	27,22	27,39	26,59	39,10	15,51	0,00
	Nov	1,00	3,79	0,00	49,36	52,15	37,84	10,52	0,00
	Dec	7,00	0,00	3,79	88,24	76,40	39,10	45,93	0,00
2003	Jan	30,00	26,35	0,00	46,12	65,45	39,10	0,00	0,00
Kering	Feb	66,00	83,78	26,35	98,53	92,74	35,32	23,57	0,00
	Mar	93,00	100,22	83,78	67,71	74,93	39,10	19,39	0,00
	Apr	109,00	120,37	100,22	68,38	79,76	37,84	21,76	0,00
	May	117,00	117,28	120,37	99,56	99,84	39,10	63,83	0,00
	Jun	100,00	97,86	117,28	57,56	55,42	37,84	36,99	0,00
	Jul	79,00	71,61	97,86	44,94	37,55	39,10	24,70	0,00
	Aug	50,00	55,03	71,61	16,32	22,52	39,10	0,00	0,00
	Sep	20,00	14,57	55,03	46,75	41,32	37,84	43,94	0,00
	Oct	0,00	13,49	14,57	43,04	56,53	39,10	18,51	0,00
	Nov	1,00	4,78	13,49	61,15	64,93	37,84	35,80	0,00
	Dec	7,00	21,01	4,78	91,75	105,75	39,10	50,43	0,00
2004	Jan	30,00	0,00	21,01	91,99	51,58	39,10	43,90	0,00
Kering	Feb	66,00	55,36	0,00	50,50	90,68	35,32	0,00	0,00
	Mar	93,00	93,20	55,36	84,77	84,97	39,10	8,03	0,00
	Apr	109,00	103,01	93,20	79,53	73,54	37,84	25,89	0,00
	May	117,00	107,87	103,01	66,92	57,79	39,10	13,83	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
	Jun	100,00	94,05	107,87	24,69	24,03	37,84	0,00	0,00
	Jul	79,00	77,98	94,05	51,96	50,94	39,10	27,91	0,00
	Aug	50,00	55,05	77,98	18,76	23,81	39,10	7,64	0,00
	Sep	20,00	19,14	55,05	46,30	45,44	37,84	43,50	0,00
	Oct	0,00	12,00	19,14	69,51	38,83	39,10	49,55	0,00
	Nov	1,00	0,00	12,00	65,86	50,47	37,84	39,01	0,00
	Dec	7,00	9,34	0,00	72,05	74,39	39,10	25,95	0,00

Lampiran 12 Hasil Perhitungan Simulasi Model Hybrid Kontinu dengan Lintasan Pedoman Periode Ulang 5 Tahun (1998-2004)

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
1998	Jan	40,00	15,15	7,67	88,19	63,33	39,10	16,76	0,00
Kering	Feb	80,33	18,77	15,15	114,53	88,29	35,32	49,35	0,00
	Mar	110,67	93,22	18,77	109,59	113,55	39,10	0,00	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Apr	129,00	131,69	93,22	103,42	106,12	37,84	29,80	0,00
	May	138,33	140,89	131,69	100,71	103,26	39,10	54,97	0,00
	Jun	117,67	121,08	140,89	52,44	55,86	37,84	37,82	0,00
	Jul	92,00	88,14	121,08	61,97	58,11	39,10	51,96	0,00
	Aug	58,33	58,22	88,14	75,66	75,55	39,10	66,37	0,00
	Sep	23,67	24,71	58,22	55,69	56,74	37,84	52,40	0,00
	Oct	0,00	3,66	24,71	77,67	81,33	39,10	63,29	0,00
	Nov	0,33	2,58	3,66	83,21	85,46	37,84	48,69	0,00
	Dec	7,67	6,64	2,58	70,39	69,36	39,10	26,20	0,00
1999	Jan	68,00	78,68	6,64	223,54	234,22	39,10	123,08	0,00
Normal	Feb	116,00	118,57	78,68	145,71	148,28	35,32	73,08	0,00
	Mar	154,00	152,87	118,57	86,61	85,48	39,10	12,08	0,00
	Apr	176,00	179,18	152,87	60,86	64,15	37,84	0,00	0,00
	May	189,00	190,60	179,18	54,24	55,84	39,10	5,32	0,00
	Jun	159,00	158,87	190,60	41,71	41,58	37,84	35,46	0,00
	Jul	121,00	125,03	158,87	43,18	47,21	39,10	41,95	0,00
	Aug	77,00	65,17	125,03	41,42	29,59	39,10	50,35	0,00
	Sep	36,00	61,54	65,17	32,98	36,21	37,84	2,00	0,00
	Oct	5,00	82,74	61,54	54,64	64,30	39,10	4,00	0,00
	Nov	0,00	97,56	82,74	61,87	57,67	37,84	5,00	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Dec	10,00	23,25	97,56	95,24	108,49	39,10	143,71	0,00
2000	Jan	40,00	39,88	23,25	109,43	109,32	39,10	53,58	0,00
Kering	Feb	80,33	143,31	39,88	180,20	243,18	35,32	104,43	0,00
	Mar	110,67	114,60	143,31	76,17	80,10	39,10	69,71	0,00
	Apr	129,00	123,31	114,60	45,05	46,55	37,84	0,00	0,00
	May	138,33	134,08	123,31	47,91	49,86	39,10	0,00	0,00
	Jun	117,67	117,66	134,08	49,47	49,46	37,84	28,03	0,00
	Jul	92,00	94,26	117,66	42,25	44,51	39,10	28,81	0,00
	Aug	58,33	58,70	94,26	26,33	26,70	39,10	23,16	0,00
	Sep	23,67	21,97	58,70	36,51	34,81	37,84	33,70	0,00
	Oct	0,00	0,00	21,97	56,84	41,94	39,10	39,71	0,00
	Nov	0,33	11,19	0,00	68,66	79,52	37,84	30,49	0,00
	Dec	7,67	12,75	11,19	41,71	40,65	39,10	0,00	0,00
2001	Jan	40,00	42,86	12,75	98,72	101,58	39,10	32,36	0,00
Kering	Feb	80,33	112,50	42,86	106,94	139,12	35,32	34,16	0,00
	Mar	110,67	110,52	112,50	86,01	85,86	39,10	48,74	0,00
	Apr	129,00	111,15	110,52	77,21	59,36	37,84	20,89	0,00
	May	138,33	136,48	111,15	57,60	64,43	39,10	0,00	0,00
	Jun	117,67	123,71	136,48	52,07	58,11	37,84	33,04	0,00
	Jul	92,00	100,95	123,71	56,99	65,93	39,10	49,60	0,00



Tahun	Bulan	St Pedoman (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Aug	58,33	56,47	100,95	41,79	39,93	39,10	45,31	0,00
	Sep	23,67	23,98	56,47	50,75	51,06	37,84	45,70	0,00
	Oct	0,00	10,27	23,98	51,97	62,24	39,10	36,85	0,00
	Nov	0,33	6,05	10,27	74,58	80,30	37,84	46,68	0,00
	Dec	7,67	18,41	6,05	41,62	52,35	39,10	0,90	0,00
2002	Jan	40,00	33,97	18,41	67,41	61,38	39,10	6,72	0,00
Kering	Feb	80,33	96,45	33,97	74,53	97,80	35,32	0,00	0,00
	Mar	110,67	110,81	96,45	62,69	62,83	39,10	9,37	0,00
	Apr	129,00	145,19	110,81	73,34	89,53	37,84	17,30	0,00
	May	138,33	134,67	145,19	56,04	52,38	39,10	23,80	0,00
	Jun	117,67	121,96	134,67	45,04	49,33	37,84	24,20	0,00
	Jul	92,00	94,86	121,96	46,79	49,65	39,10	37,65	0,00
	Aug	58,33	49,51	94,86	35,36	26,54	39,10	32,79	0,00
	Sep	23,67	30,89	49,51	49,10	56,32	37,84	37,10	0,00
	Oct	0,00	0,00	30,89	27,39	26,59	39,10	19,18	0,00
	Nov	0,33	3,12	0,00	49,36	52,15	37,84	11,19	0,00
	Dec	7,67	0,00	3,12	88,24	76,40	39,10	44,59	0,00
2003	Jan	40,00	26,35	0,00	46,12	65,45	39,10	0,00	0,00
Kering	Feb	80,33	83,78	26,35	98,53	92,74	35,32	9,24	0,00
	Mar	110,67	117,89	83,78	67,71	74,93	39,10	1,72	0,00

Tahun	Bulan	St Pedomam (hm3)	St+1 Koreksi (hm3)	St Koreksi (hm3)	Qin Prakiraan (hm3/bulan)	Qin Aktual (hm3/bulan)	Q out Air Baku (hm3/bulan)	Qspillway (hm3/bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm3/bulan)
	Apr	129,00	140,37	117,89	68,38	79,76	37,84	19,43	0,00
	May	138,33	138,61	140,37	99,56	99,84	39,10	62,50	0,00
	Jun	117,67	115,53	138,61	57,56	55,42	37,84	40,65	0,00
	Jul	92,00	84,61	115,53	44,94	37,55	39,10	29,37	0,00
	Aug	58,33	64,53	84,61	16,32	22,52	39,10	3,50	0,00
	Sep	23,67	18,24	64,53	46,75	41,32	37,84	49,77	0,00
	Oct	0,00	13,49	18,24	43,04	56,53	39,10	22,18	0,00
	Nov	0,33	4,11	13,49	61,15	64,93	37,84	36,47	0,00
	Dec	7,67	21,68	4,11	91,75	105,75	39,10	49,09	0,00
2004	Jan	40,00	0,00	21,68	91,99	51,58	39,10	34,57	0,00
Kering	Feb	80,33	55,36	0,00	50,50	90,68	35,32	0,00	0,00
	Mar	110,67	101,23	55,36	84,77	84,97	39,10	0,00	0,00
	Apr	129,00	123,01	101,23	79,53	73,54	37,84	13,92	0,00
	May	138,33	129,20	123,01	66,92	57,79	39,10	12,50	0,00
	Jun	117,67	115,38	129,20	24,69	24,03	37,84	0,00	0,00
	Jul	92,00	90,98	115,38	51,96	50,94	39,10	36,24	0,00
	Aug	58,33	63,38	90,98	18,76	23,81	39,10	12,31	0,00
	Sep	23,67	22,81	63,38	46,30	45,44	37,84	48,16	0,00
	Oct	0,00	0,00	22,81	69,51	38,83	39,10	53,22	0,00
	Nov	0,33	0,00	0,00	65,86	50,47	37,84	27,68	0,00

Tahun	Bulan	St Pedoman (hm <sup>3</sup> )	St+1 Koreksi (hm <sup>3</sup> )	St Koreksi (hm <sup>3</sup> )	Qin Prakiraan (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qin Aktual (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q out Air Baku (hm <sup>3</sup> /bulan)	Qspillway (hm <sup>3</sup> /bulan)	Q Melewati 1/2 PMF (hm <sup>3</sup> /bulan)
	Dec	7,67	10,01	0,00	72,05	74,39	39,10	25,28	0,00