



KAJIAN POLA OPERASI PLTA PB SOEDIRMAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN LAJU SEDIMENTASI

TESIS

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

**Oleh
Gatut Sulistyio**

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2005

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN POLA OPERASI PLTA PB SOEDIRMAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN LAJU SEDIMENTASI

Disusun oleh


Gatut Sulistyio
NIM : L4A.099.019

Dipertahankan di Depan Tim Penguji pada tanggal :
28 Januari 2005

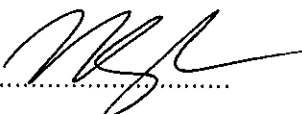
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

TIM PENGUJI TESIS :

KETUA,

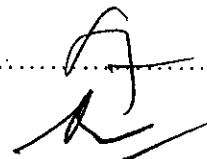
Ir. Pranoto SA, MT. : 


SEKRETARIS

Ir. Hari Nugroho, MT : 

ANGGOTA :

1. DR. Ir. Suharyanto, MSc. : 

2. Ir. Sumbogo Pranoto, MS : 

3. DR. Ir. Suripin, M. Eng : 



UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 3919/T/MTS/CC
Tgl. : 6 OKT '05

ABSTRAK

Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) PB Soedirman berlokasi di Kabupaten Banjarnegara, merupakan PLTA yang terbesar dalam hal daya terpasang di wilayah Jawa Tengah, dibangun oleh PT. PLN (Persero), dioperasikan dan dikelola oleh anak perusahaan PT. PLN (Persero) yang bergerak dibidang pembangkitan, yaitu PT. INDONESIA POWER.

Mulai tahun 2001, PT. INDONESIA POWER mengadakan kontrak kinerja dengan PT. PLN (Persero) PUSAT PENGATUR BEBAN. Isi kontrak kinerja tersebut salah satunya berisi rule curve mengenai rencana energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA PB Soedirman untuk satu tahun yang akan datang, dimana pengoperasian PLTA tersebut berpedoman pada rule curve tersebut. Apabila setelah pengoperasian PLTA ternyata energi listrik yang dihasilkan tidak mencapai target, maka PT. INDONESIA POWER akan dikenai pinalti.

Rule curveyang dikembangkan oleh PT. INDONESIA POWER untuk periode satu tahun kedepan di dalam perhitungannya menggunakan data debit tahun 1988 sampai dengan tahun yang ditinjau dan belum menggunakan sedimentasi sebagai salah satu parameternya, sedangkan laju sedimentasi yang kedalam waduk PLTA Soedirman ternyata cukup tinggi serta akan mengurangi masa manfaat waduki. Dengan komparasi hail produksi listrik, rule curve hasil kajian ini terlihat mendapatkan hasil yang lebih baik. Hal diperlihatkan rule curve hasil kajian mendapatkan hasil yang lebih mendekati hasil nyata produksi energi listrik.

Kata Kunci : Debit inflow, Jam operasi PLTA dan Sedimentasi.

ABSTRACT

The Hydro Electric Power Plant of PB Soedirman located at Banjarnegara Region is the largest installed capacity in Province of Central Java. It is operated and managed by PT. INDONESIA POWER, corporate unit business of State Electricity Company (PT. PLN).

Since 2001, PT. INDONESIA POWER and PT. PLN PUSAT PENGATUR BEBAN (PT. PLN division corporate) have had an agreement of performance contract. The one of the clause stated that the proposed electricity production during the next year based on the developed rule curve. If the power generated curve is below the target, the PT. INDONESIA POWER subjected to penalty.

The rule curve developed by PT. INDONESIA POWER was based on inflow data from 1998 to the latest data and did not consider reservoir sedimentation. Infact the sedimentation is high and will decrease the effective storage of the reservoir. Therefore, a new rule curve has to be developed by including consideration on sedimentation. The comparison of electricity production shows that the new rule curve give a better result. It is shown that the new rule curve has a figure closer than the real electricity production.

Key words : Discharge, Operation of Power Plant and Sedimentation.

KATA PENGANTAR

Pertama kali kami mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, bahwa dengan segala bimbinganNya kami dapat menyelesaikan Tesis dengan judul "Kajian Pola Operasi PLTA PB. Soedirman dengan Mempertimbangkan Laju Sedimentasi". Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan yang baik ini, kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Pranoto SA, MT, Dipl. HE, selaku dosen pembimbing I;
2. Ir. Hari Nugroho, MT, selaku dosen pembimbing II;
3. DR. Ir. Suripin, M.Eng, DR. Ir. Suharyanto, M.Sc, dan Ir. Sumbogo Pranoto, MS, selaku pembahas;
4. Bapak Tri Antisto, staf monitoring hidrologi PT. INDONESIA POWER Unit Bisnis Pembangkitan Mrica;
5. Rekan-rekan yang tidak kami sebutkan satu persatu, yang sudah membantu dan mendukung kami didalam penyelesaian penyusunan Tesis ini.

Akhir kata, tiada gading yang tak retak, kami sadar bahwa Tesis ini masih terdapat hal-hal yang masih perlu disempurnakan lagi, kami akan menerima segala kritik yang konstruktif. Semoga kajian ini bermanfaat bagi rekan-rekan seprofesi.

Terima kasih.

Semarang, Januari 2005

Penyusun.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Umum	1
1.2. Latar Belakang Permasalahan	2
1.3. Pokok Permasalahan	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Pembatasan Permasalahan	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Umum	8
2.2. Definisi	11
2.3. Homogenitas data	12
2.4. Uji Unjuk Kerja Pembangkit	18
2.5. Sedimentasi Waduk	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Pola Pikir Kajian	26
3.2. Bagan Alir Penelitian	27
3.3. Pembuatan Rule Curve	28
3.4. Pendekatan Permasalahan	32
3.5. Data Umum PLTA PB Soedirman	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pengujian Statistik Rangkaian Data Debit Inflow	40
4.2. Skenario Pola Debit Inflow Tahunan	46
4.3. Tipikal Rule Curve Skenario Pola Debit Inflow	49
4.4. Analisis Unjuk Kerja	62
4.5. Prediksi Masa Manfaat Waduk	65
6. Asumsi Perhitungan Oleh Institusi Pengelola	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR LAMPIRAN

		Hal.
LAMPIRAN A	Rerata Inflow Debit Bulanan PLTA PB Soedirman (Tabel)	82
LAMPIRAN B	Rerata Inflow Debit Bulanan PLTA PB Soedirman (Grafik)	84
LAMPIRAN C	Rerata Inflow Debit Bulanan Berdasarkan Skenario Tahun Basah, Kering dan Normal	85
LAMPIRAN D	Rerata Inflow Debit Bulanan Berdasarkan Skenario Tahun Basah, Kering dan Normal (Tabel dan Grafik)	86
LAMPIRAN E	Perkembangan Laju Sedimentasi	87
LAMPIRAN F	Tabel Hubungan Elevasi dan Volume Tampungan waduk	88
LAMPIRAN G	Volume Tampungan Waduk (netto) Pada Tahun Yang Ditinjau	89
LAMPIRAN H	Hasil Simulasi Perhitungan Tipikal <i>Rule Curve</i> Tahun Basah, Normal dan Kering. (Tabel dan Grafik)	91
LAMPIRAN I	Analisis Unjuk Kerja	98
LAMPIRAN J	Hasil Simulasi Perhitungan <i>Rule Curve</i> Tahun 2008 (Tabel dan Grafik)	99
LAMPIRAN K	Hasil Simulasi Perhitungan <i>Rule Curve</i> Tahun 2013 (Tabel dan Grafik)	101
LAMPIRAN L	Hasil Simulasi Perhitungan <i>Rule Curve</i> Tahun 2014 (Tabel dan Grafik)	103
LAMPIRAN M	Hasil Simulasi Perhitungan <i>Rule Curve</i> Tahun 2018 (Tabel dan Grafik)	105

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 3.1 : Komposisi tata guna lahan DPS	35
Tabel 3.2 : Hubungan antara elevasi dengan volume tampungan waduk	39
Tabel 4.1 : Data debit rerata tahunan di lokasi waduk PB Soedirman	40
Tabel 4.2 : Analisis Korelasi Peringkat Spearman	42
Tabel 4.3 : Pengelompokan data untuk uji stasioner	45
Tabel 4.4 : Pengelompokan tahun pola debit inflow	47
Tabel 4.5 : Rerata debit bulanan skenario pola debit inflow	48
Tabel 4.6 : Tipikal <i>rule curve</i> tahun basah	50
Tabel 4.7 : Energi listrik yang dihasilkan pada skenario tahun basah	52
Tabel 4.8 : Hasil simulasi <i>rule curve</i> tahun normal	54
Tabel 4.9 : Energi listrik yang dihasilkan pada skenario tahun normal	55
Tabel 4.10 : Hasil simulasi perhitungan <i>rule curve</i> pada skenario tahun kering	58
Tabel 4.11 : Energi listrik yang dihasilkan pada skenario tahun kering	59
Tabel 4.12 : Elevasi pada tipikal <i>rule curve</i> tahun basah, normal dan kering	61
Tabel 4.13 : Tabel perhitungan unjuk kerja	63
Tabel 4.14 : Hasil simulasi perhitungan <i>rule curve</i> tahun 2008	66
Tabel 4.15 : Hasil simulasi perhitungan <i>rule curve</i> tahun 2013	68
Tabel 4.16 : Hasil simulasi perhitungan <i>rule curve</i> tahun 2014	70
Tabel 4.17 : Hasil simulasi perhitungan <i>rule curve</i> tahun 2018	73
Tabel 4.18 : Komparasi asumsi yang digunakan perhitungan <i>rule curve</i>	76
Tabel 4.19 : Komparasi energi listrik yang dihasilkan PLTA PB Soedirman Tahun 1989 – Tahun 2003	77

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 : Skema alur kerja pengoperasian PLTA PB Soedirman	9
Gambar 2.2 : Contoh rule curve PLTA PB Soedirman Tahun 2001	10
Gambar 2.3 : Penjelasan istilah posisi muka air waduk	12
Gambar 2.4 : Ilustrasi tingkat unjuk kerja dan batas kegagalan	19
Gambar 2.5 : Kontur perkembangan laju sedimentasi PLTA PB Soedirman tahunan 1990 – 2003 berdasarkan pengamatan dengan <i>echo sounding</i>	24
Gambar 3.1 : Bagan alir pola pikir kajian	27
Gambar 3.2 : Bagan alir penelitian	28
Gambar 3.3 : Diagram alir pembuatan rule curve	31
Gambar 3.4 : Denah lokasi tiga PLTA	34
Gambar 3.5 : Hubungan antara elevasi dan volume tampungan waduk	39
Gambar 4.1 : Visual rangkaian data debit inflow waduk PB Soedirman	43
Gambar 4.2 : Visual pengelompokan pola debit tahunan	47
Gambar 4.3 : Visual rerata debit bulanan skenario pola debit inflow	49
Gambar 4.4 : Visual tipikal rule curve tahun basah	51
Gambar 4.5 : Visual energi listrik yang dihasilkan tahun basah	53
Gambar 4.6 : Visual tipikal rule curve tahun normal	54
Gambar 4.7 : Visual energi listrik yang dihasilkan tahun normal	57
Gambar 4.8 : Visual tipikal rule curve tahun kering	58
Gambar 4.9 : Visual energi listrik yang dihasilkan tahun kering	61
Gambar 4.10 : Visual tipikal rule curve tahun basah, normal dan kering	62
Gambar 4.11 : Prediksi rule curve tahun 2008	66
Gambar 4.12 : Visual prediksi energi listrik yang dihasilkan tahun 2008	67
Gambar 4.13 : Prediksi rule curve tahun 2013	69
Gambar 4.14 : Visual prediksi energi listrik yang dihasilkan tahun 2013	69
Gambar 4.15 : Prediksi Rule curve tahun 2014	71
Gambar 4.16 : Visual prediksi energi listrik yang dihasilkan tahun 2014	72
Gambar 4.17 : Prediksi rule curve tahun 2018	73
Gambar 4.18 : Prediksi energi listrik yang dihasilkan tahun 2018	74
Gambar 4.19 : Komparasi hasil energi listrik yang dihasilkan	77

DAFTAR NOTASI

KPS	Koefisien korelasi peringkat dari Spearman
u	Jumlah data
Tt	Peringkat urutan waktu korelasi data
Rt	Peringkat nilai data debit inflow
F	Variabel F_{hitung}
σ	Deviasi
u1	Jumlah rangkaian data kelompok I
u2	Jumlah rangkaian data kelompok II
S1	Standar deviasi rangkaian data kelompok I
S2	Standar deviasi rangkaian data kelompok 2
X1	Rerata hitung Standar rangkaian data kelompok I
X2	Rerata hitung Standar rangkaian data kelompok II
I	Debit inflow (m^3/dt)
O	Debit outflow (m^3/dt)
$\Omega_{(t+1)}$	Volume air waduk pada saat awal bulan ke (t+1), m^3
$\Omega_{(t)}$	Volume air waduk pada saat awal bulan ke (t), m^3
$Q_{(t)}$	Volume inflow air waduk pada saat awal bulan ke (t), m^3
$T_{(t)}$	Volume air digunakan PLTA operasi selama bulan ke (t), m^3
$E_{(t)}$	Evaporasi selama bulan ke (t), diabaikan
$I_{(t)}$	Volume keperluan irigasi selama bulan ke (t), m^3
$S_{(t)}$	Volume sedimen selama bulan ke (t), m^3

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. UMUM

Kondisi perekonomian nasional saat ini belum pulih secara penuh sebagai akibat krisis ekonomi nasional yang dimulai tahun 1998. PT. PLN (Persero) merasakan akibatnya, terutama biaya produksi yang tinggi akibat nilai tukar rupiah yang terdevaluasi secara drastis pada tahun 1998, walaupun sekarang harga jual listrik (rata-rata) sudah mendekati nilai ekonomi (suatu harga perusahaan sudah mendapatkan laba dan bisa berinvestasi kembali), yaitu pada harga US\$ 0,07/kWH, akibat beberapa kali terjadi kenaikan tarif dasar listrik (TDL).

Kelistrikan Jawa – Bali merupakan salah satu bagian dari PT. PLN (Persero), dimana sistem kelistrikan Jawa-Bali saat ini sudah terinterkoneksi dalam satu sistem. Kelistrikan Jawa - Bali merupakan tulang punggung PT. PLN (Persero), karena dari daya terpasang pembangkit di seluruh Indonesia yang sebesar 20.930 MW, sebesar 15. 305 MW atau sekitar 75 persen berada di pulau Jawa dan Bali.. (*sumber data : Statistik PT. PLN (Persero) 1998 dan 2001*)

Diprediksikan kondisi kelistrikan Jawa-Bali pada waktu mendatang akan menghadapi persoalan yang semakin berat. Hal ini disebabkan karena kemampuan PT. PLN (Persero) memenuhi kebutuhan listrik nasional, akan mengalami keterbatasan, sedang pertumbuhan permintaan tenaga listrik tidak seimbang dengan penambahan pembangkit baru. Sehingga dikhawatirkan nantinya potensi pemadaman listrik akan semakin besar (*sumber data : Statistik PT. PLN (Persero) 1998 dan 2001*)

1.2. LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

PT. PLN (Persero) membangun Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) Panglima Besar (PB) Soedirman yang berlokasi di Kabupaten Banjarnegara. PLTA PB Soedirman pada dasarnya merupakan *single purpose* dengan tujuan utamanya untuk Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), walaupun dalam kenyataannya berfungsi *multipurpose*, yaitu dimanfaatkan juga untuk keperluan irigasi, daerah wisata, konservasi air dan lain-lain. PLTA PB Soedirman mempunyai kapasitas terpasang pembangkitan listrik sebesar 3 x 61,5 MW dan mulai beroperasi pada bulan Nopember 1988.

Dalam hal pembangkitan tenaga listrik, institusi pengelola yaitu PT. INDONESIA POWER yang merupakan salah satu anak perusahaan PT. PLN (Persero) bergerak di bidang pembangkitan), mengadakan kontrak kinerja tahunan tentang tenaga listrik yang dihasilkan dengan PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban. Dalam kontrak kinerja tersebut di dalamnya terlampir *rule curve* (contoh, Gambar 1.1) sebagai dasar acuan pola operasi PLTA PB Soedirman. PT.INDONESIA POWER akan dikenakan pinalti apabila tidak dapat memenuhi kontrak kinerja yang telah disepakati diantara keduanya.

Rule curve adalah garis lintasan muka air waduk dan merupakan salah satu kontrol terhadap elevasi muka air waduk dan kemudian dijadikan pedoman sebagai batas bisa-tidaknya PLTA beroperasi. Elevasi dikontrol agar berada pada batas kisaran elevasi yang telah ditentukan.

Rule curve yang dibuat oleh PT. INDONESIA POWER dengan cara menyusun debit rerata tahunan yang ada selama PLTA PB Soedirman beroperasi. PT. INDONESIA POWER – UBP Mrica, berdasarkan tahun kering, tahun normal dan tahun basah secara berurutan. Cara penyusunan *rule curve* oleh PT. INDONESIA POWER inilah yang akan dikaji dengan harapan bisa mendapatkan suatu pola operasi dengan hasil produksi listrik yang optimal.

Sehubungan dengan hal tersebut, di dalam kajian ini akan dibuat analisis dengan cara yang lain, yaitu berdasarkan kondisi yang lebih mendekati kenyataan, yaitu dengan data debit yang lebih panjang, mulai tahun 1955 sampai 2003 dan memasukkan data sedimentasi sebagai variabel yang mempengaruhi volume efektif. Disamping itu pengelompokan tahun kering, tahun normal dan tahun basah berdasarkan besarnya debit.

1.3. POKOK PERMASALAHAN

Terdapat beberapa hal pokok permasalahan yang dijadikan pertimbangan dalam penelitian ini yaitu :

1. *Rule curve*

Rule curve (eksisting), yang digunakan sebagai acuan kontrak kinerja (produksi listrik yang dihasilkan) antara PT. INDONESIA POWER dengan PT. PLN (PERSERO) Pusat Pengatur Beban, belum memperhitungkan sedimentasi sebagai pengurang volume tampungan waduk, padahal dari data yang ada, laju *sedimen input* cukup tinggi, sehingga bisa mengantisipasi apabila pada suatu saat kinerja PLTA mulai terganggu sebagai akibat akumulasi penumpukan sedimen.

2. Air waduk melimpas ke *spillway*.

Selama pengoperasian PLTA PB Soedirman pernah terjadi beberapa kali pelimpasan air lewat *spillway*, sehingga dalam penelitian ini mengupayakan suatu pola operasi dengan sesedikit mungkin terjadinya pelimpasan air waduk lewat *spillway*, karena apabila sampai terjadi, hal tersebut bagi PLTA berarti “uang dibuang”.

3. Laju sedimen waduk cukup tinggi

Waduk PLTA PB Soedirman membendung sungai Serayu yang mempunyai beberapa anak sungai dan salah satunya adalah anak sungai Merawu. Dari studi maupun pengamatan selama beroperasinya PLTA PB Soedirman, Sungai Merawu ditengarai

mempunyai kontribusi sedimen cukup tinggi yang masuk ke dalam waduk PB Soedirman. Sebagai akibatnya, kapasitas tampungan air waduk akan berkurang dan pada suatu saat akan mengganggu kinerja waduk dan dengan sendirinya akan berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan.

Sejak beroperasi tahun 1988, laju sedimentasi waduk PLTA PB Soedirman telah mencapai lebih dari 40% dari *storage capacity*-nya. Sehingga dengan laju sedimentasi yang cukup tinggi, akan berpengaruh secara signifikan terhadap penyimpangan masa manfaat waduk, yaitu dari rencana 50 tahun (*Feasibility Studi PLTA Mrica*) diperkirakan menjadi ± 26 tahun.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka pembahasan dalam tulisan ini, dengan penekanan pembuatan *rule curve* (garis lintasan muka air waduk) dengan memperhitungkan faktor volume sedimentasi sebagai faktor pengurang kapasitas tampungan waduk.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Pola operasi PLTA PB Soedirman berdasarkan skema kontrak kinerja antara PT. INDONESIA POWER dengan PT.PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban, salah satunya berdasarkan *rule curve* yang telah disepakati bersama.

Dalam kaitan tersebut, maka kajian ini dimaksudkan membuat pola operasi alternatif, berdasarkan *rule curve* yang memperhitungkan sedimentasi sebagai salah satu parameternya.

Sedang keluaran yang diharapkan adalah :

- a. Mendapatkan pola operasi PLTA dengan meminimalkan melimpasnya air waduk lewat *spillway*.

- b. Dapat memberikan kontribusi pemikiran kepada pengambil kebijakan di lingkungan Institusi Pengelola dalam hal sistem operasi pembangkit.

1.5. HIPOTESIS

Pola operasi PLTA yang didasarkan pada *rule curve* (garis lintasan muka air waduk) dan sesuai debit yang direncanakan, maka hipotesis yang diajukan adalah :

1. Akibat laju sedimentasi yang tinggi, volume tampungan waduk menjadi berkurang dan akan terjadi penurunan kinerja sebagai akibat dari air waduk melimpas terus menerus karena tampungan sudah tidak mencukupi akibat penumpukan sedimen;
2. Masa manfaat waduk akan berkurang.

1.6. PEMBATASAN PERMASALAHAN

Untuk mendapatkan hasil analisis yang sesuai dengan perencanaan dalam pembahasan ini, maka dilakukan kegiatan dengan batasan-batasan sebagai berikut :

a. *Inflow*

Dalam menentukan pola operasi, Q_{inflow} dari data sekunder berdasarkan data hasil pencatatan otomatis muka air waduk (AWLR) yang berada di ujung genangan waduk.

b. Sedimentasi

- Data sedimentasi berdasarkan data sekunder hasil *sounding* yang dilaksanakan PT. INDONESIA POWER – UBP Mrica. Data sedimentasi diperhitungkan sebagai pengurang volume kapasitas tampungan air waduk, dan tidak ada pembahasan khusus mengenai laju sedimentasi.
- Kajian ini tidak membahas cara menanggulangi *sediment input* yang cukup besar tersebut.

c. Evaporasi

Dalam kajian ini tidak memperhitungkan evaporasi.

d. *Rule curve*

Rule curve hasil penelitian ini merupakan acuan untuk pola operasi pembangkit tenaga listrik

1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

a. BAB I : PENDAHULUAN

Umum : berisi tentang kondisi secara kelistrikan Indonesia akan terjadi suatu kondisi dimana laju permintaan lebih tinggi dari daya mampu pasok energi listrik.

Latar belakang permasalahan dan pokok permasalahan : menjelaskan pokok-pokok permasalahan yang dijadikan pokok bahasan dalam kajian ini, yaitu *Rule curve* dijadikan salah bagian kontrak kinerja energi listrik yang dihasilkan dan belum memperhitungkan sedimentasi dalam menyusun *rule curve*.

Tujuan penelitian : harapan yang ingin dicapai, yaitu akan didapatkan suatu hasil kajian yaitu *rule curve* alternatif.

Pembatasan permasalahan : menjelaskan batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian, yaitu menggunakan data sekunder : debit *inflow* tahun 1955 – 2003 dan data sedimentasi yang dilakukan oleh yaitu PT. INDONESIA POWER

Sistematika penulisan adalah ringkasan dari masing-masing Bab dan Sub Bab.

b. BAB II : DASAR TEORI

Bab ini menguraikan tentang dasar teori yang mendukung penjelasan masalah.

c. BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang langkah-langkah :

- Pembuatan *rule curve* tipikal skenario debit tahun kering, tahun normal dan tahun basah sampai dengan tahun 2003.
- Pembuatan *rule curve* tahun 2008, 2013, 2014 dan 2018.

- Prediksi *rule curve* setahun kedepan yang akan dijadikan acuan kontrak kinerja,

d. BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang perhitungan-perhitungan :

- Pengujian statistik rangkaian data debit *inflow*;
- *Rule curve* tipikal skenario debit tahun kering, tahun normal dan tahun basah sampai dengan tahun 2003.
- *Rule curve* tahun 2008, 2013, 2014 dan 2018.
- Prediksi *rule curve* setahun kedepan yang akan dijadikan acuan kontrak kinerja, digunakan pendekatan dari rangkaian data debit kemudian diaplikasikan dengan cara *forecast* dari software Excel, selanjutnya akan didapat besaran debit yang masuk dalam kelompok tahun kering, normal atau basah. Apabila sudah didapat kelompoknya kemudian dipakai *rule curve* tipikal kelompok tahun yang sesuai.

e. BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

1 Kesimpulan

Berisi tentang kesimpulan hasil kajian yaitu :

- Akibat akumulasi penumpukan sedimen yang terus menerus, maka pada suatu saat akan selalu terjadi limpasan air lewat *spillway* secara terus menerus;
- Perubahan masa manfaat waduk;
- Komparasi energi listrik yang dihasilkan antara hasil kajian dan eksisting

2. Saran

Berisi tentang saran yang ditujukan kepada institusi pengelola, yaitu :

- *Rule curve* hasil kajian agar dapat dijadikan sebagai *rule curve* alternatif;
- Usulan langkah-langkah yang diambil untuk menghambat laju sedimentasi.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. UMUM

2.1.1. Fungsi Waduk PLTA PB Soedirman

Waduk berfungsi untuk menghimpun air dan selanjutnya dimanfaatkan untuk kepentingan-kepentingan tertentu, misalnya irigasi, air minum, Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) dan lain-lain. Waduk PLTA PB Soedirman pada dasarnya bisa dikatakan *single purpose*, yaitu tujuan utamanya untuk pembangkit tenaga listrik, adapun fungsi yang lain sebagai pendukung misalnya untuk irigasi, pariwisata dan lain-lain.

2.1.2. Sistem Operasi PLTA (Eksisting)

Dalam hal perencanaan produksi listrik yang dihasilkan setiap tahunnya, PT. INDONESIA POWER - UBP Mrica membuat perencanaan *rule curve* yang merupakan prediksi satu tahun kedepan.

PT. INDONESIA POWER membuat proyeksi debit bulanan dalam setahun kedepan dengan cara membuat rerata data debit aktual selama 10 tahun terakhir (mulai tahun 1988) pada kondisi jenis tahun yang sama, misal tahun kering, normal dan basah (PT. INDONESIA POWER mengelompokkan data debit sebagai : Tahun Kering, Normal dan Basah) dengan siklus yang selalu berurutan dari, BASAH, NORMAL kemudian KERING demikian seterusnya.

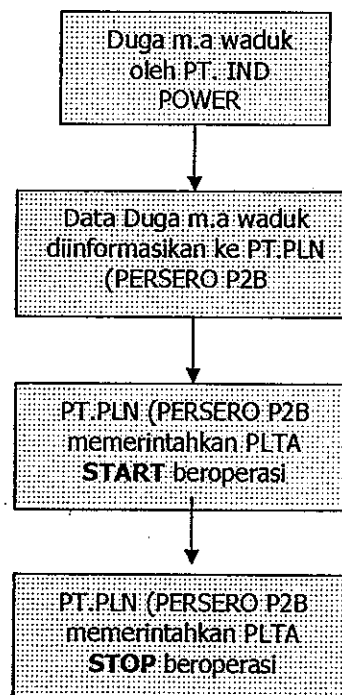
Dari pengelompokan data debit tersebut, pembuatan proyeksi *rule curve* kemudian dihitung rerata dari data *inflow* pada bulan yang bersangkutan.

Pengoperasian PLTA PB Soedirman tidak dilaksanakan secara individual, tetapi dikelola yang merupakan satu sistem terpadu interkoneksi kelistrikan Jawa – Bali. Pembangkitan di Jawa Tengah diatur pengoperasiannya oleh institusi lain yang bernama

PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban Region Jawa Tengah dan DI Yogyakarta yang berkedudukan di Ungaran.

Berikut adalah alur kerja pengoperasian PLTA PB Soedirman :

- Duga muka air waduk : dilakukan setiap jam oleh Kantor UBP Mrica;
- Data duga muka air waduk diinformasikan ke PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban Region Jawa Tengah dan DI Yogyakarta di Ungaran.
- Perintah operasi pembangkit dari PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban Region Jawa Tengah dan DI Yogyakarta di Ungaran. : karakteristik untuk *peak load* (beban puncak) \pm 18.00 WIB, dan pembangkit beroperasi pada elevasi di atas *rule curve*.
- Perintah dari PT. PLN (Persero) Pusat Pengatur Beban Region Jawa Tengah dan DI Yogyakarta di Ungaran.: untuk menghentikan paralel (operasi PLTA) apabila elevasi air waduk sudah berada pada kisaran elevasi *rule curve* yang telah ditentukan.



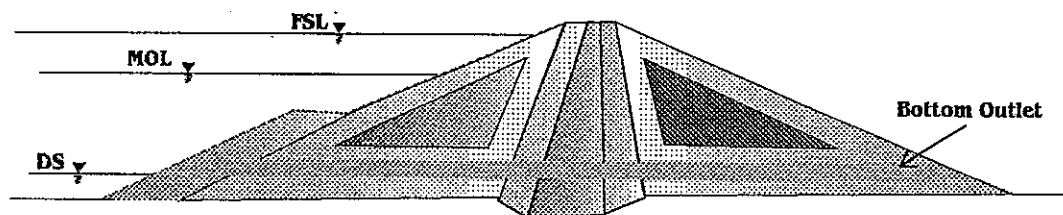
Gambar : 2.1. Skema Alur Kerja Pengoperasian PLTA PB Soedirman

2.2. DEFINISI

Berikut ini beberapa istilah yang digunakan yang berkaitan dengan PLTA :

- a. *Rule curve* adalah garis lintasan muka air waduk dan merupakan salah satu kontrol terhadap elevasi muka air waduk dan kemudian dijadikan pedoman sebagai batas bisa-tidaknya PLTA beroperasi. Elevasi dikontrol agar berada pada batas kisaran elevasi yang telah ditentukan.
- b. *Full Supply Level (FSL)*, adalah permukaan air waduk tertinggi untuk operasi PLTA, apabila elevasi muka air waduk lebih tinggi dari FSL, maka secara otomatis pintu *spillway* akan terbuka dan air akan melimpas.
- c. *Minimum Operating Level (MOL)* adalah permukaan air waduk terendah agar PLTA dapat beroperasi, karena apabila lebih rendah lagi dikhawatirkan membawa gelembung-gelembung udara yang dapat mengakibatkan kavitasi dan dapat merusak turbin.
- d. *Active storage* adalah volume waduk aktif yaitu volume waduk yang dapat memenuhi tujuan pembangunannya (PLTA, pengairan dan lain-lain).
- e. *Inactive storage* adalah volume waduk tidak aktif yaitu volume waduk yang berada diantara bagian terbawah dari bangunan pengeluaran dengan permukaan air terendah waduk (MOL)
- f. *Dead storage (DS)* adalah volume waduk mati, yaitu volume waduk yang berada di bawah bangunan pengeluaran untuk penggelontoran sedimen (*bottom outlet*), di PLTA PB Soedirman bangunan tersebut adalah *drawdown culvert*.
- g. *Reservoir capacity* adalah volume waduk total yang merupakan akumulasi dari *active storage*, *inactive storage* dan *dead storage*.

- h. *Masa manfaat waduk* : adalah jangka waktu waduk dapat melayani operasi PLTA dengan nilai ekonomis masih layak operasi, karena setiap waktu terjadi penurunan kinerja akibat akumulasi penumpukan sedimen di dalam waduk.



Gambar 2.3.- Penjelasan istilah posisi muka air waduk pada posisi potongan melintang bedungan

2.3. HOMOGENITAS DATA

Data debit *inflow* historis waduk yang ada akan diuji terlebih dahulu secara statistik. Uji statistik disini untuk mengetahui ketidakadaan *trend*. *Trend* yang dimaksud adalah gerakan nilai data dalam jangka panjang sesuai urutan waktu mempunyai kecenderungan menuju ke satu arah, menaik atau menurun. Selain itu juga dilakukan uji stasioner varian dan rerata.

2.3.1. Uji korelasi peringkat Spearman

Trend dipandang sebagai korelasi antara urutan waktu koleksi data dengan peringkat suatu variabel data dalam hal ini data debit *inflow*. Oleh karena itu korelasi peringkat Spearman dapat digunakan untuk menentukan ketidakadaan *trend* dari suatu rangkaian data. Koefisien Spearman dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$KPS = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{t=1}^n (d_t)^2}{u^3 - u} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$t_{hitung} = KPS \left[\frac{u - 2}{1 - KPS^2} \right] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

KPS : koefisien korelasi peringkat dari Spearman
 u : jumlah data
 dt : $R_t - T_t$
 Tt : peringkat urutan waktu koleksi data
 Rt : peringkat nilai data debit *inflow*

Langkah-langkah analisis korelasi peringkat metode Spearman adalah sebagai berikut :

- a. Rangkaian data debit diberi nomor urut sesuai dengan urutan waktu data (peringkat Tt).
- b. Masing-masing data diberi nomor urut sesuai dengan besarnya data (peringkat Rt) tanpa merubah urutan waktu.
- c. Nomor urut sesuai dengan besarnya data (peringkat Rt) dikurangi dengan nomor urut waktu data (peringkat Tt).
- d. Hasil butir c diatas (dt) dikuadratkan kemudian ditotal sesuai dengan jumlah data (u).

Nilai KPS dapat diperoleh dengan memasukkan nilai diatas pada persamaan 2-1. " t_{tabel} " ((nilai distribusi, pada derajat kebebasan $u-2$ (karena kita mempunyai dua variabel peringkat waktu (Tt) dan peringkat rangkaian data debit (Rt)) dengan derajat kepercayaan (*level of confidence*) tertentu digunakan untuk menentukan apakah variabel waktu dan variabel rangkaian debit saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*). Jika " $-t_{tabel}$ " < " t_{hitung} " < " $+t_{tabel}$ " maka Rt dan Tt *independent* dimana variabel waktu dan variabel rangkaian debit saling tidak tergantung (*independent*), sebaliknya bila " t_{hitung} " > " $+t_{tabel}$ " atau " t_{hitung} " < " $-t_{tabel}$ " maka Rt dan Tt *dependent* dimana variabel waktu dan variabel rangkaian data debit saling tergantung (*dependent*).

Dalam hal ini yang diuji adalah korelasi antara nilai peringkat dari rangkaian data debit (Rt) dan peringkat dari rangkaian waktu (Tt), bukan nilai aktual rangkaian data debit. Jika

dari analisis diperoleh kedua variabel (R_t dan T_t) independen atau saling bebas maka dapat dikatakan rangkaian data tidak menunjukkan adanya *trend*.

2.3.2. Uji Stasioner

Jika serangkaian data debit *inflow* menunjukkan ketidakadaan *trend*, maka uji stasioner dilakukan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rerata dari rangkaian data debit *inflow*. Pengujian rangkaian data debit *inflow* dengan membagi dua rangkaian data dengan menyatakan hipotesis sebagai berikut :

“ H_0 ” apabila :

- Nilai varian kedua kelompok tidak ada beda nyata, yaitu $F_{hitung} < F_{tabel}$;
- Nilai rerata kedua kelompok tidak ada beda nyata, apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$.

“ H_a ” apabila :

- Nilai varian kedua kelompok tidak ada beda nyata, yaitu $F_{hitung} > F_{tabel}$;
- Nilai rerata kedua kelompok tidak ada beda nyata, apabila $t_{hitung} > t_{tabel}$.

Jika rangkaian data debit *inflow* yang nilai variannya tidak homogen dan rerata kedua kelompok berbeda berarti rangkaian data debit *inflow* tersebut tidak stasioner atau menolak H_0 dan menerima H_a , sebaliknya bila rangkaian data debit *inflow* yang nilai variannya homogen dan rerata kedua kelompok sama berarti rangkaian data debit *inflow* tersebut stasioner atau menerima H_0 dan menolak H_a .

Tahapan pengujian stasioner adalah sebagai berikut :

- a. Rangkaian data sesuai urutan waktu dibagi menjadi dua kelompok data.
- b. Dihitung standar deviasi dari masing-masing kelompok data.
- c. Dihitung parameter statistik uji kestabilan varian dituliskan sebagai berikut :

$$F_{hitung} = \frac{u_1 \cdot S_1 \cdot (u_2 - 1)}{u_2 \cdot S_2 \cdot (u_1 - 1)} \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Pengujian selanjutnya adalah menguji kestabilan nilai reratanya dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma = \left[\frac{u_1 \cdot S_1^2 + u_2 \cdot S_2^2}{u_1 + u_2 - 2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \cdot (1/u_1 + 1/u_2)^{1/2}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

- F_{hitung} : variabel F_{hitung}
- σ : deviasi
- u_1 : jumlah rangkaian data kelompok I
- u_2 : jumlah rangkaian data kelompok II
- S_1 : standar deviasi rangkaian data kelompok I
- S_2 : standar deviasi rangkaian data kelompok II
- \bar{X}_1 : rerata hitung rangkaian data kelompok I
- \bar{X}_2 : rerata hitung rangkaian data kelompok II

2.3.3. Simulasi Pengoperasian Waduk

Prinsip dasar simulasi menggunakan persamaan kontinuitas yang menggambarkan prinsip bahwa selang waktu tertentu, masukan air total pada ruang tertentu harus sama dengan keluaran total ditambah perubahan bersih dalam tampungan, persamaannya dapat diuliskan sebagai berikut :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

- I : debit *inflow*

O : debit *outflow*
 $\frac{dS}{dt}$: perubahan tampungan terhadap waktu

Proses simulasi pengoperasian pembangkit dapat dilakukan dengan tersedianya data *inflow*, kebutuhan dan faktor kehilangan dengan batasan-batasan kapasitas tampungan waduk sehingga diharapkan pembangkit dapat beroperasi secara optimal. Simulasi operasi pembangkit dilakukan dengan menerapkan prinsip kontinuitas atau dalam hal ini kesetimbangan air waduk, sehingga hasil simulasi diketahui apakah debit *inflow* yang tersedia dan kapasitas tampungan waduk mampu memenuhi kebutuhan sesuai target.

Keseimbangan massa air secara matematis (dalam hal ini diperhitungkan dalam waktu sebulan) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Omega_{(t+1)} = \Omega_{(t)} + Q_{(t)} - T_{(t)} - E_{(t)} - I_{(t)} - S_{(t)} \dots (M^3) \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :

- $\Omega_{(t+1)}$: Volume air waduk pada saat awal bulan ke - (t+1)
- $\Omega_{(t)}$: Volume air waduk pada saat awal bulan ke - t
- $Q_{(t)}$: *Inflow* selama bulan ke - t
- $T_{(t)}$: Debit turbin yang digunakan untuk operasi PLTA selama bulan ke - t
- $E_{(t)}$: Evaporasi yang terjadi selama bulan ke - t (diabaikan)
- $I_{(t)}$: Debit keperluan irigasi selama bulan ke - t (konstan 11 m³/dt), digunakan juga untuk membangkitkan PLTM
- $S_{(t)}$: Volume sedimen selama bulan ke - t

Persamaan keseimbangan air tersebut, memiliki tiga variabel, yaitu :

- a. *Variabel acak*, adalah yang memiliki besaran yang tidak pasti, dan tidak dapat ditentukan secara tepat besarnya, yaitu Q.
- b. *Variabel yang dikomandokan* adalah variabel yang diatur besarnya untuk memperoleh besaran variabel yang ditentukan, yaitu variabel T
- c. *Variabel yang ditentukan*, yaitu variabel yang diinginkan besarnya, yaitu variabel Ω .

Dengan adanya formula keseimbangan air diatas, maka dapat dihitung berapa volume air netto yang dapat digunakan untuk operasi pembangkit setiap bulannya.

Dari hasil produksi listrik yang dihasilkan, kemudian dievaluasi apakah pencapaian *capacity factor*(CF) sudah pada kisaran CF rata-rata PLTA PB Soedirman dari tahun 1989 – 2002 sebesar 32,58 %. Karena dengan *capacity factor* yang baik akan didapat nilai finansial yang baik pula. Adapun Persamaan *capacity factor* dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Capacity factor} = \frac{\Sigma \text{ KWH Produksi Bruto Per Tahun}}{\Sigma \text{ KW Kapasitas Terpasang} \times 8.760 \text{ jam}} \dots\dots\dots (2.8)$$

(Buku Statistik PT.PLN (PERSERO) Kantor Pusat Tahun 1998)

KWH bruto adalah energi yang dibangkitkan oleh generator sebelum dikurangi energi pemakaian sendiri (untuk peralatan bantu, penerangan sentral dan lainnya) atau produksi energi listrik yang diukur pada terminal generator. Sedangkan Kapasitas terpasang adalah kapasitas suatu unit pembangkit sebagaimana tertera pada papan nama (*name plate*) dari generator atau mesin penggerak utama (*prime mover*), dipilih mana yang lebih kecil.

2.3.4. Rule Curve

Yang dimaksud dengan *rule curve* adalah garis lintasan elevasi muka air waduk pada suatu waktu tertentu yang digunakan sebagai salah satu acuan bisa atau tidaknya PLTA beroperasi.

Untuk mendapatkan *rule curve*, digunakan formula keseimbangan massa air per bulan, kemudian dengan cara *trial and error*, maka debit pada bulan t dan debit pada bulan t +1 dapat disimulasikan sebagai elevasi muka air waduk. Dengan cara tersebut akan

didapat garis lintasan muka air waduk per bulan dari bulan Januari sampai Desember. *Rule curve* tersebut kemudian dijadikan pedoman bisa atau tidaknya pembangkit beroperasi. Sehingga dengan berpedoman *rule curve* tersebut diharapkan dapat meminimalkan terjadinya air waduk melimpas lewat *spillway*. Karena apabila sampai terjadi air melimpas lewat *spillway*, apalagi dalam jumlah yang besar berarti telah terjadi penurunan pendapatan operasional atau inefisiensi dalam hal perencanaan dan pengaturan pola operasi pembangkit PLTA PB Soedirman.

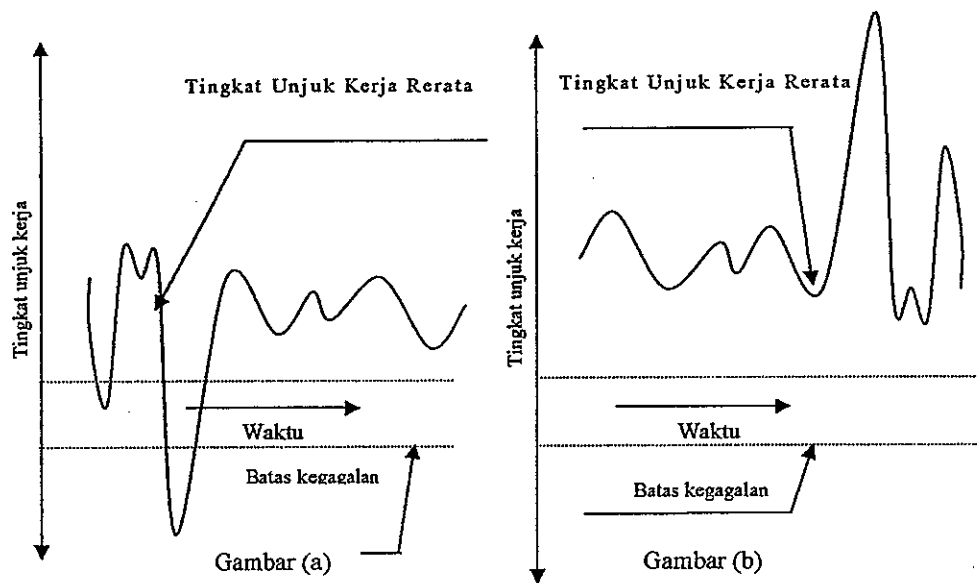
Untuk menilai hasil simulasi pengoperasian waduk perlu dilakukan analisis unjuk kerja waduk, sehingga dapat diketahui keandalan dari pengoperasian waduk, misalnya seberapa lama kegagalan dapat terjadi atau jika terjadi kegagalan memerlukan waktu berapa lama untuk kembali berhasil.

2.4. UJI UNJUK KERJA PEMBANGKIT

Unjuk kerja merupakan indikator kinerja waduk dalam pengoperasiannya untuk memenuhi kebutuhan. Beberapa indikator untuk menilai besar kinerja operasi pembangkit meliputi keandalan (*reliability*), ketahanan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*).

2.4.1. Parameter

Dari konfigurasi kegagalan, dapat diketahui tingkat kerawanan dan tingkat ketahanan suatu pengoperasian pembangkitan. Perubahan konfigurasi debit *inflow* dan kebijakan pengoperasian pembangkit akan menyebabkan variasi pada parameter unjuk kerja pengoperasian. Ilustrasi kegagalan Gambar 2.2 (a) dan kesuksesan Gambar 2.2 (b)



Gambar 2.4. Ilustrasi tingkat unjuk kerja pembangkit dan batas kegagalan.

Gambar 2.3 (a) menunjukkan pembangkit pernah mengalami kegagalan dua kali yang mempunyai intensitas dan konsekuensi berbeda. Kegagalan pertama merupakan kegagalan yang kurang serius, sedang kegagalan kedua berlangsung lebih lama dan intensitas kerawannya lebih serius, sedangkan Gambar 2.3 (b) menunjukkan bahwa pembangkitan tidak pernah mengalami kegagalan.

Unjuk kerja yang disajikan dalam penelitian ini memberikan indikasi seberapa jauh intensitas kegagalan dan berapa lama suatu kegagalan itu terjadi.

2.4.2. Analisis unjuk kerja

Analisis parameter unjuk kerja (*performance*) pengoperasian pembangkitan dievaluasi berdasarkan nilai rerata (*mean*) dan variasi parameter unjuk kerja diatas. Indeks unjuk kerja pembangkit dapat dinilai dari : tingkat keandalan (*reliability*), tingkat kerawanan (*vulnerability*), tingkat kelentingan (*resiliency*).

2.4.2.1. Keandalan (*reliability*)

Unjuk kerja ini menunjukkan kemampuan pembangkit untuk memenuhi suatu kebutuhan yang ditargetkan selama masa pengoperasiannya. Keadaan tersebut dapat diterangkan, misal variabel Z_t yang nilainya ditentukan dengan persamaan (2.9) dibawah ini :

$$Z_t^1 = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \\ 0 & \text{untuk } R_t < D_t \end{cases} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- Z_t adalah variabel;
- R_t adalah produksi listrik yang dihasilkan pada periode t_1 , dan
- D_t adalah target produksi listrik pada periode t .

Pengoperasian PLTA dikatakan gagal apabila kondisi $R_t < D_t$.

Dalam jangka panjang , unjuk kerja keandalan (α) dapat dihitung :

$$\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^1 \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

n : jangka waktu pengoperasian.

$\sum_{t=1}^n Z_t^1$: merupakan jumlah total waktu dimana pembangkitan memenuhi target per tahun.

2.4.2.2. Kelentingan (*resiliency*)

Bila terjadi kegagalan, unjuk kerja kelentingan menunjukkan kemampuan pembangkit kembali ke keadaan tidak gagal atau ke keadaan memuaskan. Semakin cepat pembangkit kembali ke keadaan yang memuaskan, maka konsekuensi akibat adanya kegagalan tersebut akan semakin kecil. Pembangkit akan mengalami masa dari gagal ke

memuaskan atau sebaliknya. Untuk menghitung masa transisi tersebut digunakan variabel W_t yang didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_t = \begin{cases} 1 & \text{jika } R_t \geq D_t \text{ dan } R_{t-1} < D_{t-1} \\ 0 & \text{jika tidak/otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Jumlah rerata jangka panjang terjadinya masa transisi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

ρ adalah frekuensi terjadinya transisi dari sukses ke gagal atau sebaliknya.

Lamanya pembangkit berada dalam keadaan gagal secara berurutan adalah sebagai berikut :

$$T_{\text{gagal}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (1 - Z_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Dalam jangka panjang waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal secara kontinyu adalah :

$$E [T_{\text{gagal}}] = \frac{1 - \alpha_1}{\rho} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Unjuk kerja kelentingan adalah :

$$\gamma_1 = \frac{1}{T_{\text{gagal}}} = \frac{\rho}{1 - \alpha_1} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

2.4.2.3. Kerawanan (*vulnerability*)

Jika kegagalan, unjuk kerja kerawanan menunjukkan seberapa besar suatu kegagalan yang terjadi. Tingkat kerawanan diukur dengan menggunakan variabel kekurangan (*deficit*) DEF_t sebagai berikut :

$$DEF_t = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t < D_t \\ 0 & \text{untuk } R_t \geq D_t \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Unjuk kerja kerawanan didefinisikan dengan berbagai penafsiran, diantaranya sebagai berikut :

- Nilai maksimum “deficit”

$$V1 = \max_t \{ DEF_t \} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

- Nilai maksimum “deficit ratio”

$$V2 = \max_t \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

- Nilai rerata “defisit ratio”

$$V3 = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{DEF_t}{D_t}}{\sum_{t=1}^n W_t} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

2.5. SEDIMENTASI WADUK

2.5.1. Terjadinya Sedimentasi di Waduk

Dengan adanya waduk PLTA PB Soedirman dengan sendirinya telah terjadi perubahan keseimbangan sistem sungai terhadap kondisi awalnya. Dengan adanya waduk, menyebabkan kecepatan aliran sungai menjadi lebih lambat selanjutnya berakibat menurunnya daya angkut aliran terhadap sedimen dan akhirnya mengendap dalam waduk. Istilah sedimen yang sering digunakan adalah sedimen kasar (*bed load*) dan sedimen layang (*suspended load*). Sedimen berawal dari material kasar yang bergerak di dekat dasar sungai mengendap lebih awal di dekat mulut waduk. Sedimen layang akan terbawa lebih jauh di waduk dan mengendap kurang lebihnya merata di dasar waduk. Sedimentasi di waduk PLTA PB Soedirman diawali dengan terjadinya endapan sedimen kasar, dimulai dari hulu (mulut genangan).

Tidak ada alat yang praktis untuk pengukuran muatan dasar di lapangan yang sekarang sudah digunakan. Muatan dasar dapat berkisar dari nol hingga beberapa kali lipat dari muatan terapung. Walaupun demikian lebih umum didapati berkisar antara lima hingga 25% (Linsley, 1985).

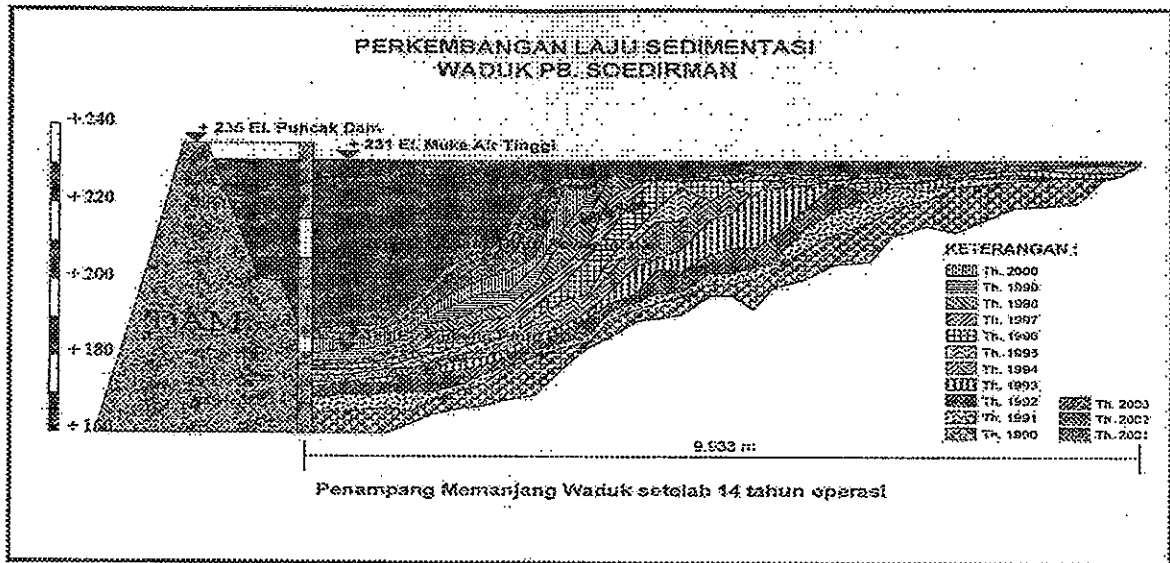
Hubungan antara sedimen layang Q_s dan aliran sungai Q sering dinyatakan dengan suatu grafik logaritmik yang secara matematika dapat dinyatakan dengan suatu persamaan yang berbentuk :

$$Q_s = k Q^n \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana : Q_s = Sedimen layang;
 Q = Debit Sungai
 k = konstanta, pembatas bila $Q = 1$, biasanya sangat kecil
 n = konstanta, umumnya berkisar 2 -3

Akibat laju sedimentasi yang cukup tinggi akan sangat berpengaruh secara terhadap deviasi masa manfaat waduk, yaitu dari rencana ± 50 tahun (Feasibility Study PLTA

Mrica) menjadi diperkirakan ± 26 tahun, berarti akan terjadi penyimpangan yang cukup besar. Berikut ini adalah gambar laju sedimentasi waduk PLTA PB Soedirman berdasarkan data *echo sounding* pada akhir tahun 2003.



Gambar 2.5. Kontur perkembangan laju sedimen dalam waduk PB Soedirman tahunan (1990-2003) berdasarkan pengamatan dengan *echo sounding* yang dilaksanakan oleh PT. Indonesia Power – UBP Mrica.

2.5.2. Pengendalian Pengendapan Sedimen

Permasalahan sedimen dalam waduk merupakan suatu hal yang sangat kompleks. Sedimen dalam waduk adalah tergantung pada rejim sungai, frekuensi banjir, operasi dan geometri waduk. Pengendapan sedimentasi dalam waduk akan terjadi secara terus-menerus dan akan menyebabkan penurunan kapasitas waduk.

Pengurangan aliran sedimen masuk ke dalam suatu waduk hingga jumlah tertentu mungkin dapat diperoleh metoda-metoda konservasi tanah di dalam DPS. Teras-teras, penanaman berjalur, pembajakan tanah mengikuti garis tinggi serta teknik-teknik serupa untuk menghambat aliran air di permukaan tanah dan mengurangi erosi. Bendung pengendali (*check dam*) di jurang-jurang akan akan menahan sejumlah sedimen dan

mencegahnya masuk ke dalam sungai. Tumbuhan penutup di atas lahan akan mengurangi gaya pukulan percikan air hujan dan memperkecil erosi.

Walaupun demikian, bila suatu sungai tidak mendapatkan muatan sedimen yang normal, ia cenderung untuk menggerus dasarnya atau meruntuhkan tebingnya.

Oleh karenanya, perlindungan tebing sungai dengan cara pelapisan, tumbuhan pelindung atau cara-cara lainnya merupakan sesuatu yang penting dalam hal pengendalian sedimen.

Penumpukan sedimen di dalam waduk dapat diadakan dengan membangun sarana untuk mengalirkan sejumlah sedimen. Waduk PLTA PB Soedirman disediakan fasilitas untuk itu yang disebut *drawdown culvert*.

Untuk menjaga agar sedimentasi tidak mengganggu pembangkitan, maka secara periodik, terutama apabila elevasi sedimentasi sudah mendekati ambang *intake* (lampiran 2.2), PT. INDONESIA POWER melaksanakan penggelontoran sedimen dengan membuka pintu *drawdown culvert*. Dari penggelontoran sedimen tersebut, volume sedimen yang berhasil dibuang bisa dikatakan sangat sedikit, yaitu $\pm 0,33$ % (rata-rata) dari volume sedimen yang masuk ke dalam waduk.

Dengan data tersebut, sedimentasi waduk PLTA PB Soedirman layak mendapat perhatian lebih dalam kaitannya dengan kinerja pengoperasian pembangkit yang lebih optimal, sehingga ada antisipasi terhadap kemungkinan berkurangnya umur waduk.

2.5.3. Masa Manfaat Waduk

Masa manfaat waduk dalam hal ini adalah jangka waktu waduk dapat melayani operasi PLTA dengan nilai ekonomis masih layak operasi, karena setiap waktu terjadi penurunan kinerja akibat akumulasi penumpukan sedimen di dalam waduk.

BAB III

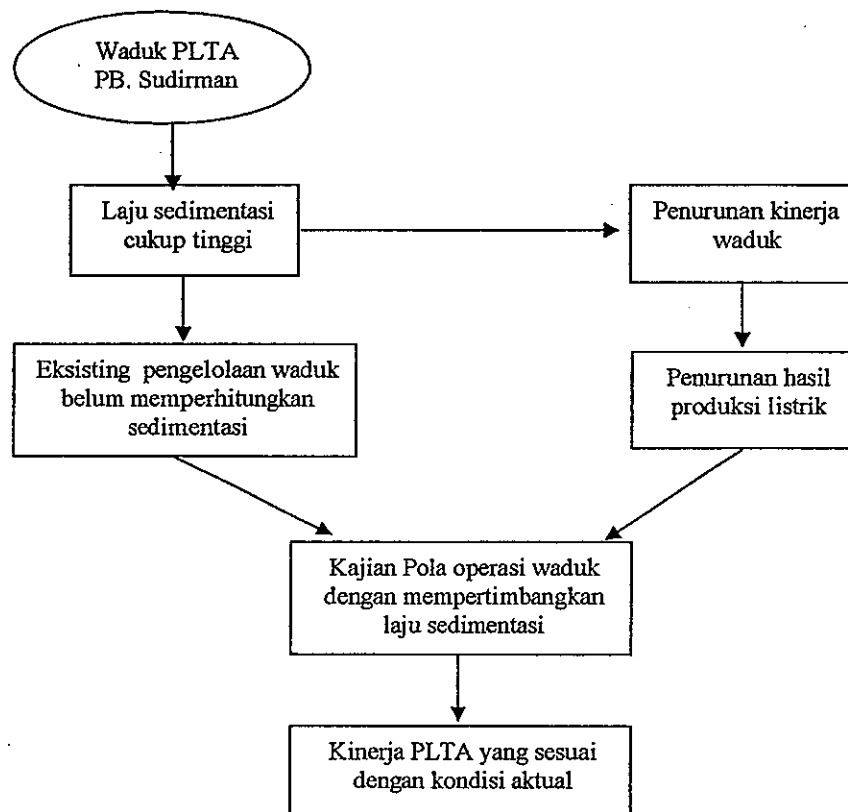
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. BAGAN ALIR POLA PIKIR KAJIAN

Seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa laju sedimentasi yang masuk kedalam waduk PLTA PB Soedirman cukup tinggi. Akibat akumulasi penumpukan sedimen tersebut, dengan sendirinya kapasitas waduk menjadi berkurang, walaupun sebenarnya sudah dilaksanakan penggelontoran sedimen secara berkala.

Berkurangnya kapasitas waduk karena akumulasi sedimentasi lambat laun akan mengganggu kinerja waduk dalam hal membangkitkan tenaga listrik. Karena saat ini asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan pengoperasian PLTA belum memasukkan sedimentasi sebagai salah satu parameternya, maka kajian dengan judul : *“Kajian Pola Operasi PLTA PB Soedirman dengan Mempertimbangkan laju Sedimentasi* “ ini diharapkan bisa mendapatkan hasil yang lebih optimal, karena menggunakan asumsi-asumsi yang lebih mendekati kondisi nyata di lapangan.

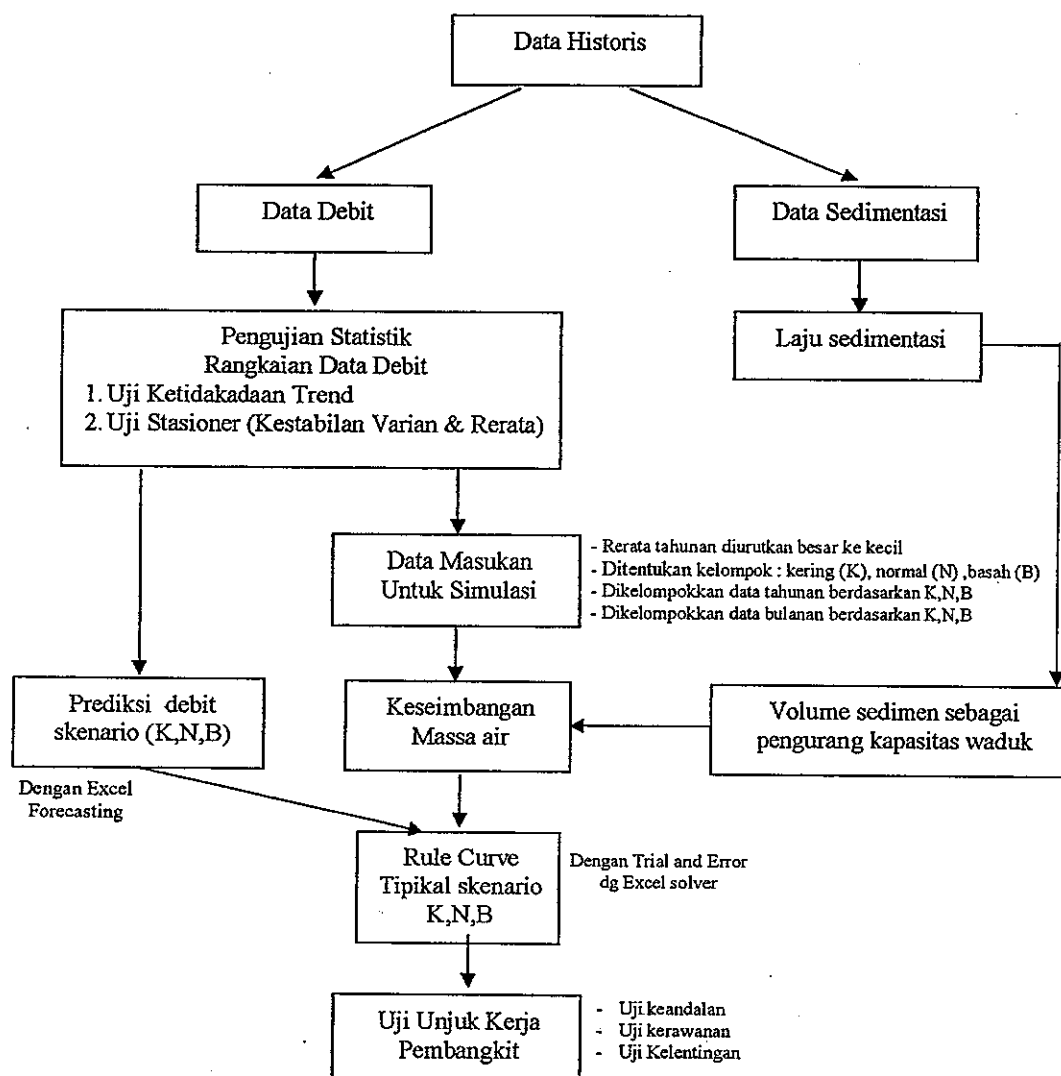
Berikut ini adalah Bagan Alir pola pikir yang menggambarkan metoda kerja dalam rangka menyusun kajian ini, dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 3.1 : Bagan Alir Pola Pikir Kajian

3.2. BAGAN ALIR PENELITIAN

Untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh tentang kajian ini, di bawah ini adalah bagan alir penelitian yang dapat diuraikan sebagai berikut :



Gambar 3.2 : Bagan Alir Penelitian

3.3. PEMBUATAN *RULE CURVE*

Dalam hal penentuan *rule curve*, diperhitungkan dalam beberapa macam kondisi, yaitu :

1. *Rule curve* tipikal, skenario debit Kering, Normal dan Basah;
2. *Rule curve*, kondisi periode tahun 2003;
3. *Rule curve* kondisi tahun 2008;

4. *Rule curve* kondisi tahun 2013;
5. *Rule curve* kondisi tahun 2014, dimana air waduk akan selalu melimpas lewat spillway karena kapasitas tampungan waduk sudah tidak dapat menampung sepenuhnya debit inflow akibat akumulasi penumpukan sedimen;
6. *Rule curve* kondisi tahun 2018, dimana volume sedimentasi diperkirakan akan mencapai 80% dari total kapasitas, sehingga masa manfaat waduk akan habis karena pembangkit secara ekonomis sudah tidak layak beroperasi.

Untuk menentukan *rule curve*, terlebih dahulu dibuat keseimbangan massa air bulanan dalam sebuah persamaan matematik yang menggambarkan keseimbangan kapasitas tampungan, yaitu antara Q_{inflow} , dan $Q_{outflow}$ serta dengan memperhitungkan volume sedimentasi yang masuk ke dalam waduk. Yang dimaksud Q_{inflow} disini adalah Q_{inflow} yang didapat hasil dari prediksi pada bulan $(t+1)$.

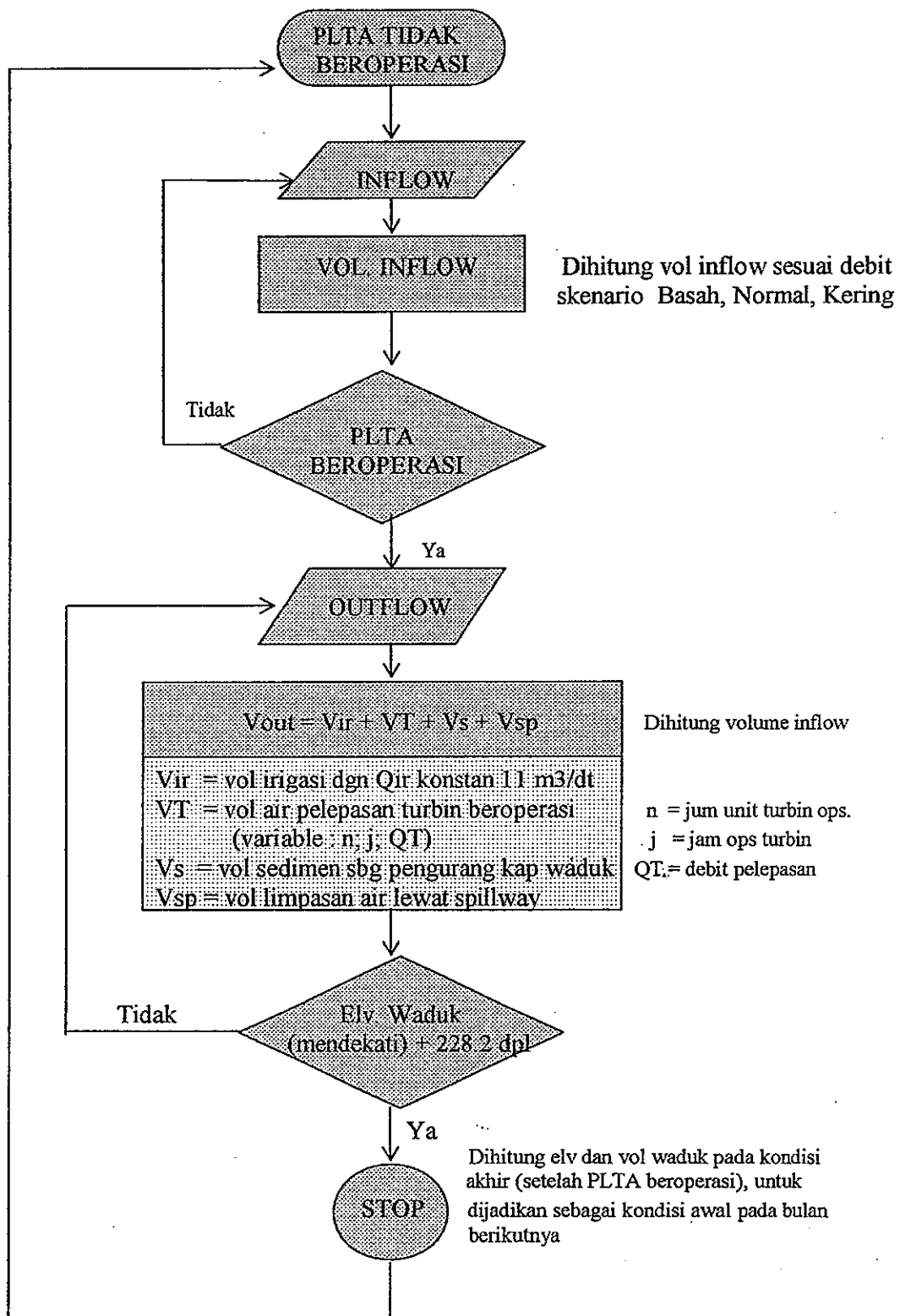
Berikut ini adalah urutan pembuatan *rule curve* dengan cara simulasi dengan menyeimbangkan debit inflow dan debit outflow, dengan rincian sebagai berikut :

- a. Ditentukan rencana batas elevasi muka air waduk terendah (MOL) yaitu + 228,20 dpl;
- b. Pada kondisi awal (sebelum PLTA beroperasi), dihitung terlebih dahulu volume air waduk pada kondisi awal, yaitu pada elevasi + 228,20 dpl;
- c. Pada kondisi PLTA beroperasi, jangka waktu PLTA beroperasi diatur sedemikian rupa (dengan *trial and error*) sehingga elevasi muka air waduk mendekati elevasi batas terendah yang diijinkan (stop operasi);
- d. Kemudian dihitung dengan persamaan matematika antara volume *inflow* dan *outflow*, termasuk volume sedimen sebagai pengurang kapasitas waduk. Dari formula keseimbangan massa air rata-rata bulanan, akan didapat volume air pada bulan t dan volume air pada bulan $t + 1$. Demikian seterusnya, dari rangkaian bulan Januari sampai

bulan Desember pada tahun yang bersangkutan dapat disimulasikan elevasi muka air waduk mulai yang kemudian disebut sebagai *rule curve*;

- e. Selanjtnya dapat dihitung elevasi dan volume waduk pada kondisi akhir (setelah PLTA beroperasi), untuk dijadikan sebagai kondisi awal pada bulan berikutnya.

Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah diagram alir simulasi penghitungan *rule curve* secara bulanan.



Gambar 3.3. Diagram Alir Pembuatan *Rule Curve*

3.4. PENDEKATAN MASALAH

Proses analisis simulasi dari studi ini memerlukan beberapa penyederhanaan dan pendekatan-pendekatan maupun yang mengacu pada kondisi dari sistem yang ada.

3.4.1. Skenario Pola Debit *Inflow* Tahunan Waduk

Data debit *inflow* waduk sepanjang 49 tahun dibagi menjadi tiga kelompok tahun debit *inflow*. Sebelum data dibagi ke dalam tiga kelompok tahun debit *inflow*, data debit rerata bulanan dijadikan debit rerata tahunan selama 49 tahun dan diurutkan dari yang terbesar ke yang terkecil (lihat lampiran 3.1).

Pembagian kelompok tahun debit *inflow* yaitu kelompok tahun basah, kelompok tahun normal, dan kelompok tahun kering dilakukan cara *range* debit dibagi (rerata tahunan selama 49 tahun) menjadi tiga. Dari skenario tersebut akan diperoleh kelompok dari tahun-tahun yang termasuk ke dalam tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

Untuk memperoleh debit *inflow* bulanan yang mewakili suatu kelompok misalnya dari kelompok tahun basah, diambil rerata bulanan dari jumlah tahun yang termasuk kedalam kelompok tahun basah. Hal ini akan diperjelas pada sub. bab. 4.2. dan pola debit *inflow* waduk tahunan yang diperoleh, dianggap deterministik (pasti).

3.4.2. Pendekatan Simulasi Pengoperasian Waduk PLTA PB Soedirman

Pada proses simulasi pengoperasian waduk, semua kelompok tahun dari skenario debit *inflow* harus dimasukkan dengan kondisi pengoperasian PLTA yang sesuai, misalnya jika tahun 2000 termasuk kelompok tahun normal maka pelepasan waduk pada simulasi merupakan hasil dari skenario pola debit *inflow* tahun normal, demikian juga untuk yang lainnya (lihat Gambar 3-1). Beberapa pendekatan dilakukan sebagai berikut :

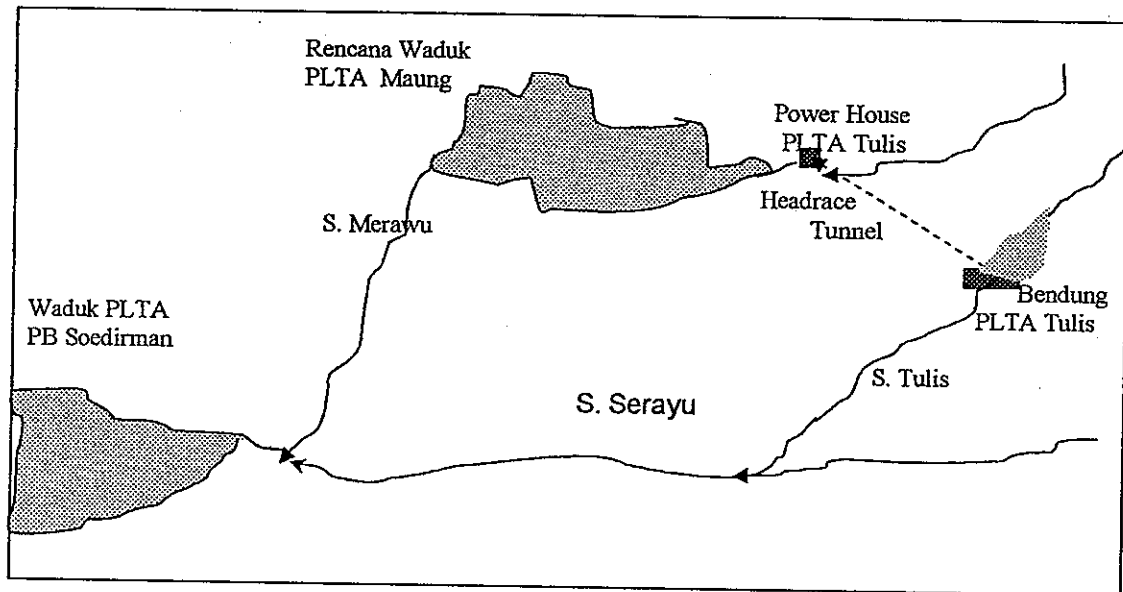
1. Simulasi dilakukan berdasarkan data sepanjang 49 tahun debit *inflow* rerata bulanan dan dianggap sudah mewakili proses sebenarnya.
2. Kehilangan air bulanan (*Evaporasi*) tidak dimasukkan dalam perhitungan..
3. Kemampuan kapasitas turbin untuk bisa beroperasi minimal 75% dari kapasitas debit turbin = 55 m³/dt dan debit maksimal =74 m³/dt.
4. Beban puncak terjadi pada pukul 18.00 sampai dengan 22.00 WIB.
5. Tampungan pada awal tahun perhitungan, ditentukan terlebih dahulu yaitu pada elevasi terendah yang diijinkan + 228,20 dpl (elevasi posisi karamba ikan) dan elevasi muka air waduk selalu terjaga tidak lebih rendah dari elevasi tersebut..
6. Air waduk akan melimpas secara otomatis lewat *spillway* pada elevasi + 231,15 dpl.
7. Air yang melimpas melalui bangunan pelimpah tidak diperhitungkan sebagai sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan.
8. Dari hasil simulasi akan diketahui jika terjadi kegagalan pengoperasian waduk pada tahun-tahun tertentu. Kegagalan terjadi apabila produksi listrik yang dihasilkan lebih rendah pada tingkat 95% dari target pada masing-masing skenario pola debit.

3.5. DATA UMUM PLTA

3.5.1. Tinjauan Umum Kondisi Daerah Pengaliran Sungai

Dari studi yang telah diadakan oleh PT. PLN (Persero), di Kabupaten Banjarnegara pada rencana awalnya akan dibangun tiga buah PLTA yang saling terkait dan merupakan satu sistem pengelolaan yang saling mendukung keandalan, yaitu PLTA PB Soedirman (184,5 MW), PLTA Maung (360 MW) dan PLTA Tulis (12.4 MW). Tetapi sampai saat ini yang sudah dibangun adalah : PLTA PB Soedirman (beroperasi tahun 1988), PLTA Tulis (beroperasi tahun 2003) sedang PLTA Maung belum dibangun (lihat Gambar 3.3)

Seandainya ketiga buah PLTA tersebut selesai dibangun, akan sangat menguntungkan karena dapat saling bersinergi.



Gambar 3.4. Denah Tiga PLTA

3.5.2. Komposisi Tata Guna Lahan Daerah Pengaliran Sungai

Secara umum dapat dikatakan bahwa Daerah Pengaliran Sungai (DPS) waduk PLTA PB Soedirman sebagian besar merupakan lahan pertanian yang diolah petani tradisional. Bahkan sebagian dari lahan DPS tersebut, diantaranya cukup banyak yang bisa dikategorikan sebagai lahan kritis.

Daerah Pengaliran Sungai waduk PLTA PB Soedirman berada di dua Kabupaten, yaitu Wonosobo dan Banjarnegara, dengan komposisi tata guna lahan sebagai berikut :

Tabel 3.1. : Komposisi Tata Guna Lahan DPS Waduk PLTA PB Soedirman

No	Jenis Lahan	Luas (Km2)	Persentase
1	Sawah	175	17,12
2	Kebun campuran	124	12,13
3	Ladang ketela dan jagung	341	33,37
4	Ladang kentang	62	6,07
5	Kebun teh	43	4,21
6	Tanaman jamur	1	0,10
7	Hutan	115	11,25
8	Jalan, rumah dll	161	15,75
Luas DP S		1.022	100,00

Sumber : Feasibility Study PLTA Mrica

Dari luas DPS 1.022 km², sekitar 73 % merupakan lahan pertanian yang potensial tererosi. Dengan komposisi peruntukan lahan yang demikian, sangat dimungkinkan bahwa sungai-sungainya akan mempunyai kandungan sedimen yang cukup besar. Akibatnya sedimen yang masuk waduk PLTA PB Soedirman menjadi besar pula.

3.5.3. Usaha Yang Sudah Dilakukan Untuk Mengurangi *Sediment Input*

Sebagai upaya untuk mengurangi *sedimen input*, PT. Indonesia Power mengambil langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengadakan sabuk hijau (*green belt*) dengan cara menanam tanaman perdu, di sepanjang jalur genangan.
2. Bersama Pemerintah Kabupaten Banjarnegara mengadakan penyuluhan kepada masyarakat yang berada di lokasi DPS untuk meminimalkan lahan yang bisa menyebabkan tanah permukaan menjadi gembur sehingga mudah tererosi.
3. Saat ini sedang dijajaki kemungkinan untuk diadakan pembahasan bersama PT. INDONESIA POWER dengan Pemerintah Kabupaten Banjarnegara tentang kemungkinan Peraturan Daerah tentang Pengaturan Tata Guna Lahan Pertanian di daerah DPS.

3.5.4. Karakteristik PLTA PB Soedirman

- *Waduk* :
 - Jenis operasi : *multi purpuse*
 - Kapasitas efektif : 47.000.000 m³
 - Kapasitas seluruh : 165.000.000 m³
 - Luas genangan : 1050 Ha
 - Rata-rata *inflow* : 95 m³/detik
 - Curah hujan/tahun : 3900 mM
 - Luas DPS (*Catchment area*) : 1022 km²

- *Bendungan*
 - Tinggi : 100 M
 - Panjang puncak : 832 M
 - Elevasi Puncak : + 235.0

- *Turbin*
 - Tipe : Francis poros tegak
 - Kapasitas : 3 x 61.5 mW
 - Putaran : 230.8 rpm
 - Debit : 3 x 74 m³/detik
 - Rate head : 88.5 M

- *Generator* :
 - Tipe : Payung Cos 4230 Z
 - Kapasitas : 3 x 67.01 mVA
 - Tegangan : 13.8 kV
 - Arus : 2893 A
 - Faktor Daya : 0.9
 - Putaran : 231 rpm

3.5.5. Ketersediaan Data

Data yang digunakan didalam menganalisis Pola Operasi PLTA PB Soedirman diantaranya adalah :

1. Debit masuk ke dalam waduk (Q_{inflow}),: periode 1988 – 2003 yang terdiri data rekap bulanan rata-rata : digunakan untuk menghitung keseimbangan massa air.
2. Debit keluar dari waduk ($Q_{outflow}$),: periode 1988 - 2003 yang terdiri data rekap bulanan rata-rata.
3. Data sedimen yang masuk dalam waduk : *echo sounding* tahunan sampai dengan 2003;

4. Lama operasi PLTA : rekapitulasi bulanan.
5. Hasil produksi listrik : rekapitulasi bulanan.

3.5.6. Data Hidrologi

PT.INDONESIA POWER mengadakan pemantauan secara terus menerus terhadap kondisi hidrologi untuk keperluan keamanan konstruksi dan keperluan lain yang terkait dengan operasional PLTA, misalnya curah hujan dan debit Sungai Serayu di sekitar lokasi waduk PLTA PB Soedirman.

Alat pengukur curah hujan yang dicatat ada 3 buah, dan pengukuran debit air sungai dengan AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), juga tiga buah berada di mulut genangan, di Sungai Merawu dan di Sungai Serayu.

Data curah hujan di DPS dan debit rata-rata tahunan Sungai Serayu di lokasi waduk PLTA PB Soedirman, dengan panjang data mulai tahun 1955 – 2002 (*lampiran 4.1*). Pengambilan data Q_{Inflow} waduk dilakukan setiap hari dari AWLR yang berada di mulut waduk.

3.5.7. Data Sedimentasi

Dalam rangka pengamatan laju sedimentasi yang masuk ke dalam waduk, dimulai tahun 1990, PT. INDONESIA POWER melaksanakan dengan cara *echo sounding* di lokasi waduk secara periodik, yaitu satu tahun satu kali pengamatan *echo sounding*. Dari pengamatan *echo sounding* tersebut dapat diketahui pola distribusi sediment serta dapatdihitung volume sedimen yang masuk dalam waduk.

3.5.8. Laju Sediment Input

Dari mulai beroperasi pada tahun 1988, sampai dengan akhir tahun 1999, volume sedimen yang masuk waduk adalah 52.865.244 m³. Volume ini setara dengan rata-rata \pm

4,1 juta m³/tahun, sedang desain masa manfaat waduk adalah 50 tahun atau setara dengan laju sedimen ± 2,6 juta m³/ton.

3.5.9. Penggelontoran Sedimen

Sampai akhir tahun tahun 2002 telah dilaksanakan penggelontoran sedimen dengan pembukaan *drawdown culvert* dengan rincian sebagai berikut :

NO	TANGGAL PENGGELONTORAN SEDIMEN	VOLUME SEDIMEN (m3)
1	15 Pebruari 1996	5.114
2	17 Juli 1996	2.592
3	24 Pebruari 1999	5.154
4	19 Nopember 1999	19.474
5	11 April 2000	23.657
6	31 Oktober 2000	10.097
7	29 Januari 2001	10.278
8	04 Juli 2001	4.190
9	08 Oktober 2001	43.403
10	16 Januari 2002	8.787
11	20 Maret 2002	2.784
12	31 Desember 2002	15.100
	JUMLAH	150.657

Penggelontoran sedimen dilaksanakan jika sedimen mulai mencapai pintu *intake* atau mengganggu fungsi dari *intake* tersebut. Penggelontoran dilakukan dengan cara membuka pint *drawdown culvert* (*Operation and Maintenance Mrica Hydroelectric Power Project – Reference Manual : Volume D*). Untuk menghitung volume sedimen hasil penggelontoran, dengan mengambil beberapa sampel air pada waktu penggelontoran termasuk saat air mulai jernih.. Setelah air jernih pintu *drawdown culvert* ditutup kembali.

3.5.10. Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk kajian ini adalah data sekunder yang didapat dari PT.INDONESIA POWER – UBP Mrica yang terdiri dari :

1. Data debit historis rerata bulanan dan tahunan dari tahun 1955 - 2003

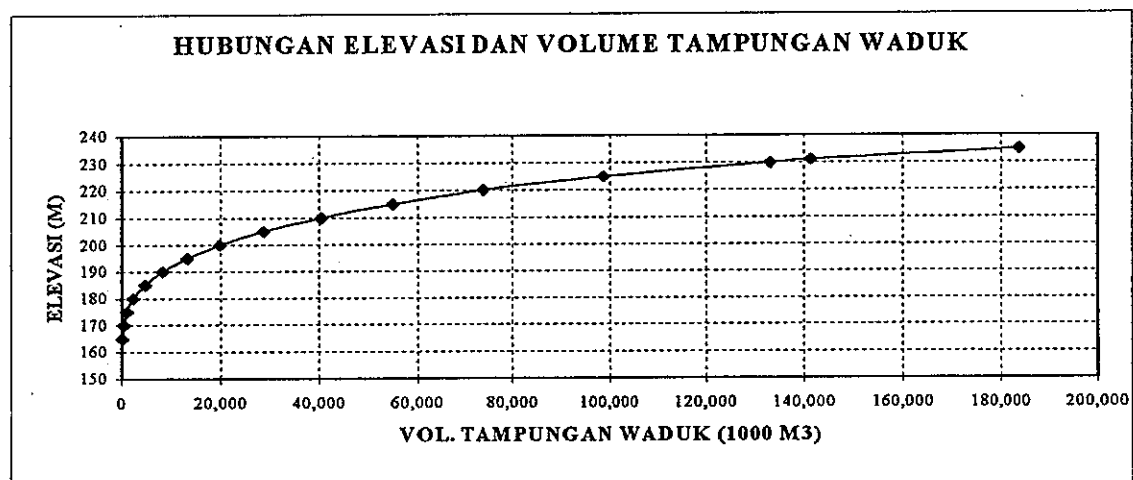
2. Data sedimen yang masuk dalam waduk : *echo sounding* tahunan.
3. Lama operasi PLTA : rekapitulasi bulanan
4. Hasil produksi listrik : rekapitulasi bulanan
5. Data kebutuhan irigasi diperhitungkan secara konstan sebesar 11 m³/detik.

3.5.11. Hubungan Elevasi Muka Air Waduk dengan Volume Tampungannya Waduk

Laju sedimentasi waduk diperoleh dari data sekunder PT.INDONESIA POWER – UBP Mrica, yaitu dengan *echo sounding* yang dilaksanakan secara periodik.

Tabel 3.2. : Hubungan Elevasi Muka Air Waduk dengan Volume Tampungannya Waduk PLTA PB Soedirman dalam Kondisi Kosong

No	Elevasi	Luas	Volume (x1000)	
			Segmen	Kumulatif
1	160,00	10,75	-	
2	165,00	50,25	152,50	152,50
3	170,00	84,50	336,88	489,38
4	175,00	127,50	530,00	1.019,38
5	180,00	396,88	1.310,94	2.330,31
6	185,00	553,88	2.376,88	4.707,19
7	190,00	840,00	3.484,69	8.191,88
8	195,00	1140,13	4.950,31	13.142,19
9	200,00	1501,33	6.603,63	19.745,81
10	205,00	2053,00	8.885,81	28.631,63
11	210,00	2607,38	11.650,94	40.282,56
12	215,00	3320,75	14.820,31	55.102,88
13	220,00	4173,38	18.735,31	73.838,19
14	225,00	5735,30	24.771,69	98.609,88
15	230,00	8030,68	34.414,94	133.024,81
16	231,00	8415,88	8.223,28	141.248,09
17	231,15	8550,70	1272,493	142.520,591
18	235,00	12910,00	42.651,75	183.899,84



Gambar 3.5. Hubungan elevasi dan volume tampang waduk

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. PENGUJIAN STATISTIK RANGKAIAN DATA DEBIT *INFLOW*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi rangkaian data debit *inflow* waduk PB Soedirman yang diperoleh. Pengujian statistik meliputi pengujian ketidakadaan *trend* dan stasioner varian dan rerata. Data statistik kondisi rangkaian debit *inflow* diambil dari nilai debit rerata *inflow* tahunan selama 49 tahun yaitu dari tahun 1955 sampai dengan tahun 2003 yang merupakan rerata dari debit bulanan. Untuk lebih jelasnya tentang debit rerata tahunan di lokasi waduk PB Soedirman dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Data Debit *Inflow* Rerata Tahunan di Lokasi Waduk PB Soedirman

No	Tahun	Debit <i>Inflow</i> (m ³ /detik)	No	Tahun	Debit <i>Inflow</i> (m ³ /detik)
1	1955	104,18	26	1980	72,58
2	1956	102,37	27	1981	103,07
3	1957	87,24	28	1982	68,29
4	1958	110,34	29	1983	80,00
5	1959	94,25	30	1984	107,54
6	1960	113,75	31	1985	89,30
7	1961	72,57	32	1986	118,88
8	1962	71,18	33	1987	103,40
9	1963	48,87	34	1988	65,67
10	1964	62,51	35	1989	79,75
11	1965	61,78	36	1990	76,42
12	1966	70,66	37	1991	66,69
13	1967	60,91	38	1992	92,24
14	1968	98,00	39	1993	77,89
15	1969	66,38	40	1994	60,44
16	1970	86,18	41	1995	89,52
17	1971	95,98	42	1996	78,62
18	1972	66,89	43	1997	46,26
19	1973	112,12	44	1998	92,89
20	1974	103,68	45	1999	92,07
21	1975	122,90	46	2000	84,84
22	1976	77,03	47	2001	91,32
23	1977	60,98	48	2002	58,85
24	1978	90,36	49	2003	65,81
25	1979	81,20			

4.1.1. Uji Ketidakadaan *Trend* Rangkaian Data Debit *Inflow*

Pengujian terhadap ketidakadaan *trend* rangkaian data debit *inflow* waduk PB Soedirman dilakukan dengan menggunakan uji korelasi peringkat dari Spearman (persamaan 2.1). Untuk menguji signifikansi korelasi antara variabel peringkat waktu (Tt) dan peringkat rangkaian data debit (Rt) dilakukan dengan menggunakan uji t (persamaan 2.2) pada derajat kepercayaan 5% dan uji dua sisi. Hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

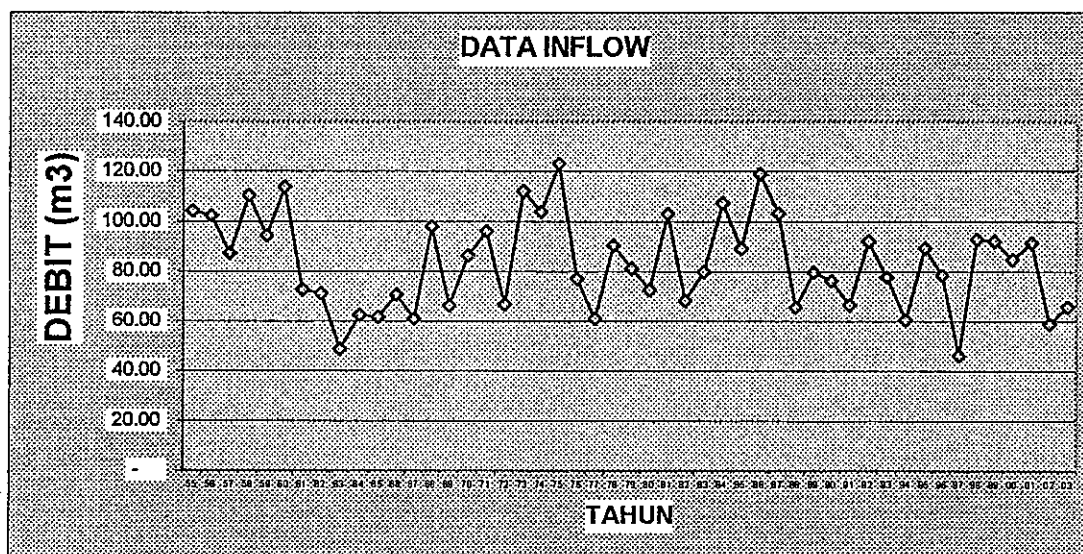
Ho : Tidak ada hubungan yang signifikan antara variabel peringkat waktu (Tt) dan peringkat rangkaian data debit (Rt) yang berarti menunjukkan tidak adanya *trend* dari rangkaian data debit *inflow*.

Ha : Ada hubungan yang signifikan antara variabel peringkat waktu (Tt) dan peringkat rangkaian data debit (Rt) yang berarti menunjukkan adanya *trend* dari rangkaian data debit *inflow*.

Bila t_{hitung} yang terbentuk (persamaan 2.2) lebih besar dari $-t_{tabel}$ dan lebih kecil dari t_{tabel} ($-t_{tabel} < t_{hitung} < t_{tabel}$) maka Ho diterima dan Ha ditolak yaitu tidak ada hubungan yang signifikan antara variabel peringkat waktu (Tt) dan variabel peringkat rangkaian data debit (Rt) yang berarti menunjukkan tidak adanya *trend* dari rangkaian data debit *inflow* dan bila t_{hitung} yang terbentuk lebih kecil dari $-t_{tabel}$ atau lebih besar dari t_{tabel} maka Ho ditolak dan Ha diterima yaitu ada hubungan yang signifikan antara variabel peringkat waktu (Tt) dan variabel peringkat rangkaian data debit (Rt) yang berarti menunjukkan adanya *trend* dari rangkaian data debit *inflow*. Hasil perhitungan uji korelasi peringkat Spearman dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Diketahui jumlah sampel (n) sebanyak 49 dan $\Sigma d^2 = 16.362$, maka dari persamaan 2.1 diperoleh nilai KPS sebesar 0,165 dan hasil persamaan 2.2 diperoleh t_{hitung} sebesar 1,148. Pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan sebesar 5% dan derajat kebebasan atau *degree of freedom* (df) sebesar $n - k = (49 - 2 = 47)$ menunjukkan t_{tabel} sebesar 2,015. Oleh karena t_{hitung} lebih besar dari $-t_{tabel}$ dan lebih kecil dari t_{tabel} ($-2,015 < 1,148 < 2,015$) maka dapat disimpulkan tidak ada hubungan yang signifikan antara variabel peringkat waktu (T_t) dan variabel peringkat rangkaian data debit (R_t) yang berarti menunjukkan tidak adanya *trend* dari rangkaian data debit *inflow*.

Gambar 4.1 menunjukkan pola yang terbentuk dari rangkaian data debit *inflow* waduk PB Soedirman tahun 1955 sampai dengan tahun 2003 menunjukkan gerakan nilai data debit *inflow* dalam jangka panjang sesuai urutan waktu tidak menunjukkan kecenderungan menuju ke satu arah tetapi menunjukkan gerakan menaik dan menurun yang tidak teratur, hal ini dapat disimpulkan bahwa grafik yang terbentuk tidak menunjukkan adanya *trend*.



Gambar 4.1. Visual Rangkaian Data Debit *Inflow* Waduk PB Soedirman Tahun 1955 – Tahun 2003

Tabel 4.2. Analisis Korelasi Peringkat Spearman

No	Tahun	Peringkat Tt	Debit Inflow (m ³ /detik)	Peringkat Rt	dt	dt ²
1	1955	1	104,18	7	6	36
2	1956	2	102,37	11	9	81
3	1957	3	87,24	22	19	361
4	1958	4	110,34	5	1	1
5	1959	5	94,25	14	9	81
6	1960	6	113,75	3	-3	9
7	1961	7	72,57	33	26	676
8	1962	8	71,18	34	26	676
9	1963	9	48,87	48	39	1521
10	1964	10	62,51	42	32	1024
11	1965	11	61,78	43	32	1024
12	1966	12	70,66	35	23	529
13	1967	13	60,91	45	32	1024
14	1968	14	98,00	12	-2	4
15	1969	15	66,38	39	24	576
16	1970	16	86,18	23	7	49
17	1971	17	95,98	13	-4	16
18	1972	18	66,89	37	19	361
19	1973	19	112,12	4	-15	225
20	1974	20	103,68	8	-12	144
21	1975	21	122,90	1	-20	400
22	1976	22	77,03	30	8	64
23	1977	23	60,98	44	21	441
24	1978	24	90,36	19	-5	25
25	1979	25	81,20	25	0	0
26	1980	26	72,58	32	6	36
27	1981	27	103,07	10	-17	289
28	1982	28	68,29	36	8	64
29	1983	29	80,00	26	-3	9
30	1984	30	107,54	6	-24	576
31	1985	31	89,30	21	-10	100
32	1986	32	118,88	2	-30	900
33	1987	33	103,40	9	-24	576
34	1988	34	65,67	41	7	49
35	1989	35	79,75	27	-8	64
36	1990	36	76,42	31	-5	25
37	1991	37	66,69	38	1	1
38	1992	38	92,24	16	-22	484
39	1993	39	77,89	29	-10	100
40	1994	40	60,44	46	6	36
41	1995	41	89,52	20	-21	441
42	1996	42	78,62	28	-14	196
43	1997	43	46,26	49	6	36
44	1998	44	92,89	15	-29	841
45	1999	45	92,07	17	-28	784
46	2000	46	84,84	24	-22	484
47	2001	47	91,32	18	-29	841
48	2002	48	58,85	47	-1	1
49	2003	49	65,81	40	-9	81
Jumlah						16.362

Sumber : data sekunder, diolah

4.1.2. Uji Stasioner Rangkaian Data Debit *Inflow*

Setelah pengujian ketidakadaan *trend* dengan menggunakan uji korelasi peringkat Spearman menunjukkan tidak adanya *trend* rangkaian data debit *inflow* maka selanjutnya dilakukan uji stasioner yang dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rerata dari rangkaian data debit *inflow*.

Pengujian terhadap kestabilan nilai varian, hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

- Ho : - Tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai varian kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* stasioner.
- Ha : - Ada perbedaan yang signifikan antara nilai varian kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* tidak stasioner.

Bila F_{hitung} yang terbentuk (persamaan 2.3) lebih kecil dari F_{tabel} maka Ho diterima dan Ha ditolak yaitu tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai varian kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* stasioner atau stabil, sebaliknya bila F_{hitung} yang terbentuk lebih besar dari F_{tabel} maka Ha diterima dan Ho ditolak yaitu ada perbedaan yang signifikan antara nilai varian kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* tidak stasioner atau tidak stabil.

Pengujian terhadap kestabilan nilai rerata, hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

- Ho : - Tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai rerata kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* stasioner.
- Ha : - Ada perbedaan yang signifikan antara nilai rerata kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* tidak stasioner.

Bila t_{hitung} yang terbentuk (persamaan 2.5) lebih besar dari $-t_{tabel}$ dan lebih kecil dari t_{tabel} maka H_0 diterima dan H_a ditolak yaitu tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai rerata kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* stasioner dan bila t_{hitung} yang terbentuk lebih kecil dari $-t_{tabel}$ atau lebih besar dari t_{tabel} maka H_0 ditolak dan H_a diterima yaitu ada perbedaan yang signifikan antara nilai rerata kelompok I dan kelompok II yang berarti menunjukkan rangkaian data debit *inflow* tidak stasioner.

Data debit *inflow* pada Tabel 4.1 dibagi dalam dua kelompok untuk diuji lebih lanjut, untuk lebih jelasnya tentang data yang digunakan untuk menguji stasioner nilai varian dan rerata dari rangkaian data debit *inflow* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel : 4.3. Pengelompokan Data untuk Uji Stasioner

No	Tahun	Data Kelompok I	No	Tahun	Data Kelompok II
1	1955	104,18	26	1980	72,58
2	1956	102,37	27	1981	103,07
3	1957	87,24	28	1982	68,29
4	1958	110,34	29	1983	80,00
5	1959	94,25	30	1984	107,54
6	1960	113,75	31	1985	89,30
7	1961	72,57	32	1986	118,88
8	1962	71,18	33	1987	103,40
9	1963	48,87	34	1988	65,67
10	1964	62,51	35	1989	79,75
11	1965	61,78	36	1990	76,42
12	1966	70,66	37	1991	66,69
13	1967	60,91	38	1992	92,24
14	1968	98,00	39	1993	77,89
15	1969	66,38	40	1994	60,44
16	1970	86,18	41	1995	89,52
17	1971	95,98	42	1996	78,62
18	1972	66,89	43	1997	46,26
19	1973	112,12	44	1998	92,89
20	1974	103,68	45	1999	92,07
21	1975	122,90	46	2000	84,84
22	1976	77,03	47	2001	91,32
23	1977	60,98	48	2002	58,85
24	1978	90,36	49	2003	65,81
25	1979	81,20			
Jumlah		2.122,32	Jumlah		1.962,34
STDEV		20,290	STDEV		17,232
Rata-Rata		84,893	Rata-Rata		81,764

Sumber : data sekunder, diolah

Pengujian terhadap kestabilan varian menunjukkan F_{hitung} sebesar 1,175 (persamaan 2.3), pada derajat kebebasan (*degree of freedom*) $df = n - 1 = 24 - 1 = 23$ diperoleh F_{tabel} sebesar 3,42, oleh karena $F_{hitung} < F_{tabel}$ ($1,175 < 3,42$) maka dapat disimpulkan menerima H_0 dan menolak H_a , yaitu tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai varian kelompok I dan kelompok II, hal ini menunjukkan bahwa rangkaian data debit *inflow* stasioner atau stabil.

Pengujian terhadap kestabilan nilai rerata menunjukkan nilai deviasi sebesar 19,251 (persamaan 2.4) dan nilai t_{hitung} sebesar 0,570 (persamaan 2.5), pada derajat kebebasan (*degree of freedom*) $df = n - 2 = 49 - 2 = 47$ diperoleh t_{tabel} sebesar 2,015, oleh karena t_{hitung} terletak antara $-t_{tabel} < t_{hitung} < + t_{tabel}$ ($-2,015 < 0,570 < 2,015$) maka dapat disimpulkan menerima H_0 dan menolak H_a , yaitu nilai rerata kelompok I dan II tidak ada perbedaan yang signifikan, hal ini menunjukkan bahwa rangkaian data debit *inflow* stasioner atau stabil.

4.2. SKENARIO POLA DEBIT *INFLOW* TAHUNAN

Data debit *inflow* waduk sepanjang 49 tahun yaitu dari tahun 1955 sampai dengan tahun 2003 dibagi dalam tiga kelompok tahun debit *inflow*, yaitu tahun basah, tahun normal dan tahun kering. Skenario pola debit *inflow* tahunan dilakukan sebagai berikut :

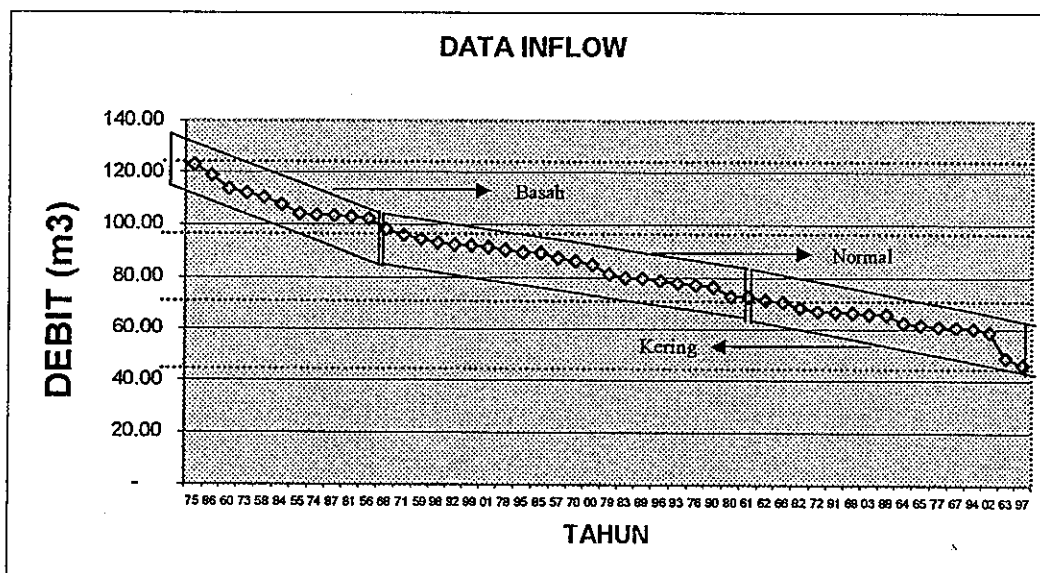
1. Debit rerata *inflow* bulanan diubah menjadi rerata tahunan sepanjang 49 tahun yaitu dari tahun 1955 sampai dengan tahun 2003.
2. Data debit rerata tahunan diurutkan dari debit yang terbesar sampai dengan debit yang terkecil.
3. Setelah data terurutkan, disusun kedalam bentuk grafik dan secara visual yang kemudian dibagi menjadi tiga kelompok tahun debit *inflow* yaitu : tahun basah (antara $97,36 \text{ m}^3/\text{detik}$ s/d $122,90 \text{ m}^3/\text{detik}$), tahun normal (antara $71,81 \text{ m}^3/\text{detik}$ s/d $97,35$

m³/detik) dan tahun kering (antara 46,26 m³/detik s/d 71,80 m³/detik). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.4 dan gambar 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.4. Pengelompokan Tahun Pola Debit *Inflow*

Kelompok Skenario Pola Debit <i>Inflow</i>								
Tahun Basah			Tahun Normal			Tahun Kering		
No	Tahun	Debit (m ³ /detik)	No	Tahun	Debit (m ³ /detik)	No	Tahun	Debit (m ³ /detik)
1	1975	122,90	13	1971	95,98	34	1962	71,18
2	1986	118,88	14	1959	94,25	35	1966	70,66
3	1960	113,75	15	1998	92,89	36	1982	68,29
4	1973	112,12	16	1992	92,24	37	1972	66,89
5	1958	110,34	17	1999	92,07	38	1991	66,69
6	1984	107,54	18	2001	91,32	39	1969	66,38
7	1955	104,18	19	1978	90,36	40	2003	65,81
8	1974	103,68	20	1995	89,52	41	1988	65,67
9	1987	103,40	21	1985	89,30	42	1964	62,51
10	1981	103,07	22	1957	87,24	43	1965	61,78
11	1956	102,37	23	1970	86,18	44	1977	60,98
12	1968	98,00	24	2000	84,84	45	1967	60,91
			25	1979	81,20	46	1994	60,44
			26	1983	80,00	47	2002	58,85
			27	1989	79,75	48	1963	48,87
			28	1996	78,62	49	1997	46,26
			29	1993	77,89			
			30	1976	77,03			
			31	1990	76,42			
			32	1980	72,58			
			33	1961	72,57			

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.2. Pengelompokan Debit Tahunan kedalam Tahun Basah, Normal, Kering

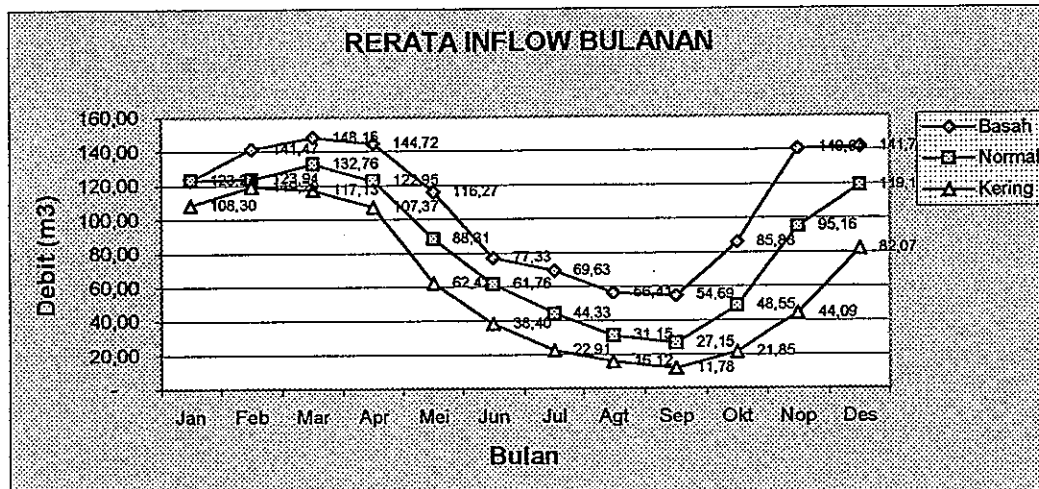
Tabel 4.4 dan Gambar 4.2 tentang pengelompokan tahun pola debit *inflow* menunjukkan bahwa setelah data disusun kedalam bentuk grafik berdasarkan interval yang telah ditentukan diperoleh data debit *inflow* tahunan yang masuk dalam kelompok tahun basah sebanyak 12 tahun, tahun normal sebanyak 21 tahun dan tahun kering sebanyak 16 tahun.

4. Pengelompokan tahun pola debit *inflow* waduk, untuk bulan yang sama dijumlahkan kemudian dibagi dengan banyaknya tahun pada masing-masing kelompok pola debit *inflow* waduk tahun basah, normal dan kering (rerata masing-masing bulan). Hal ini dilakukan untuk mengetahui tipikal debit setiap bulan baik pada tahun basah, normal maupun kering. Pola dari rerata debit dari masing-masing bulan akan dijadikan acuan untuk membuat perencanaan untuk mengoptimalkan kinerja PLTA. Untuk lebih jelasnya tentang tipikal rerata debit dari masing-masing bulan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.5. Rerata Debit Bulanan Skenario Pola Debit *Inflow*

Bulan	Kelompok Skenario Pola Debit <i>Inflow</i>		
	Basah	Normal	Kering
Januari	123,33	123,24	108,30
Februari	141,47	123,94	119,20
Maret	148,15	132,76	117,13
April	144,72	122,95	107,37
Mei	116,27	88,31	62,42
Juni	77,33	61,76	38,40
Juli	69,63	44,33	22,91
Agustus	56,41	31,15	16,12
September	54,69	27,15	11,78
Oktober	85,88	48,55	21,85
Nopember	140,64	95,16	44,09
Desember	141,72	119,13	82,07
Total	1.300,24	1.018,43	751,63
Rerata	108,35	84,87	62,64
Maksimum	148,15	132,76	119,20
Minimum	54,69	27,15	11,78

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.3. Visual Rerata Debit Bulanan Skenario Pola Debit *Inflow*

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa tipikal debit *inflow* pada tahun basah relatif lebih tinggi dari tipikal debit *inflow* pada tahun normal maupun tahun kering dan tipikal debit *inflow* tahun normal relatif lebih tinggi dari tipikal debit *inflow* tahun kering.

4.3. TIPIKAL *RULE CURVE* SKENARIO POLA DEBIT *INFLOW*

Tipikal *rule curve* skenario pola debit *inflow* dibagi dalam tiga kelompok yaitu tahun basah, normal dan kering. Sedangkan asumsi-asumsi yang digunakan untuk penghitungan dan simulasi *rule curve* adalah sebagai berikut :

- Elevasi muka air waduk terendah yang diijinkan + 228,20 dpl;
- Debit turbin minimal yang diijinkan = 55 m³/dt dan maksimal 74 m³/dt;
- Lama jam operasi PLTA dan jumlah unit turbin diatur sedemikian rupa sehingga tidak lebih rendah dari levasi + 228,20 dpl;
- Pintu otomatis *spillway* akan mulai membuka apabila elevasi muka air waduk mencapai + 231,15.

4.3.1. Tipikal *Rule Curve* Skenario Tahun Basah

Tipikal *rule curve* tahun basah merupakan debit rerata tahunan dari debit rerata bulanan yang merupakan akumulasi dari tahun 1955 hingga tahun 2003 yang masuk dalam kelompok skenario pola debit *inflow* tahun basah (lihat tabel 4.4) yaitu memiliki rerata tahunan debit *inflow* antara 97,36 m³/detik s/d 122,90 m³/detik, yang kemudian diaplikasikan untuk membuat *rule curve*.

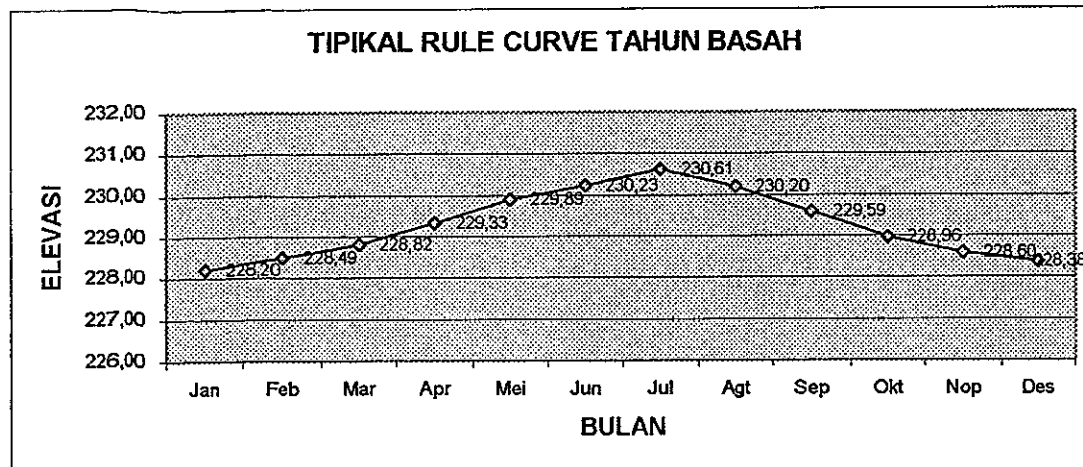
PLTA PB Soedirman pada tahun basah mampu mengoperasikan tiga unit turbin yang dimiliki pada waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00) secara optimal baik pada saat musim hujan antara bulan Oktober hingga bulan April maupun pada saat musim kering antara bulan April hingga bulan Oktober. Tiga turbin yang dijalankan dapat menggunakan debit maksimal = 74 m³/detik sehingga energi listrik yang dihasilkan juga dapat maksimal.

Q_{outflow} yang dikeluarkan dari waduk untuk keperluan irigasi juga dapat dipenuhi dengan baik yaitu dengan debit konstan = 11 m³/detik dan sedimentasi yang terjadi sebesar 4.300.847 m³/tahun belum mempengaruhi kinerja PLTA secara signifikan, karena kapasitas tampungan waduk masih mencukupi untuk operasional PLTA, karena air waduk belum melimpas lewat *spillway*. Untuk lebih jelasnya tentang tipikal *rule curve* tahun basah dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.6. Hasil Simulasi Perhitungan *Rule Curve* Pada Skenario Tahun Basah

Bulan	Elv. m.a Wduk Awal	Volume Tampung (m ³)	<i>Inflow</i> (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	Elv. m.a waduk Akhir
Jan	228,20	64.213.450	330.313.680	29.462.400	299.779.920	365.277	0	228,49
Feb	228,49	64.919.533	342.236.160	26.611.200	314.405.280	329.928	0	228,82
Mar	228,82	65.809.285	396.804.960	29.462.400	365.434.200	365.277	0	229,33
Apr	229,33	67.352.367	375.105.600	28.512.000	344.535.120	353.494	0	229,89
Mei	229,89	69.057.353	311.422.032	29.462.400	280.703.016	365.277	0	230,23
Jun	230,23	69.948.692	200.448.000	28.512.000	170.229.600	353.494	0	230,61
Jul	230,61	71.301.597	186.483.600	29.462.400	158.561.280	365.277	0	230,20
Agt	230,20	69.396.240	151.084.080	29.462.400	123.876.000	365.277	0	229,59
Sep	229,59	66.776.643	141.760.800	28.512.000	115.564.320	353.494	0	228,96
Okt	228,96	64.107.628	230.029.920	29.462.400	201.917.880	365.277	0	228,60
Nop	228,60	62.391.991	364.543.200	28.512.000	336.862.800	353.494	0	228,38
Des	228,38	61.206.897	379.589.544	29.462.400	350.792.057	365.277	0	228,20
Jumlah			3.409.821.576	346.896.000	3.062.661.473	4.300.847	0	

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.4. Visual Tipikal *Rule Curve* Tahun Basah

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa tidak terjadi limpasan air lewat *spillway* sehingga tidak ada air waduk PB Soedirman tidak terbang secara percuma, dimana elevasi ambang pintu *spillway* adalah + 231,15 dpl.

Perhitungan simulasi *rule curve* PLTA diawali pada bulan Januari pada elevasi setinggi + 228,20 dpl dimana pada elevasi tersebut turbin dapat bekerja, hingga bulan Juli elevasi menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat hingga pada elevasi setinggi + 230,61 dpl. Peningkatan tersebut disebabkan karena debit air pada bulan-bulan tersebut cenderung besar dan sebagian besar digunakan untuk operasi PLTA dan irigasi dan sisanya diakumulasikan pada bulan berikutnya.

Meskipun demikian tetap dijaga sedemikian rupa agar elevasi muka air waduk tidak melebihi ketinggian elevasi + 231,00 dpl, karena apabila mencapai elevasi + 231,15 dpl, pintu *spillway* akan mulai membuka dan air akan melimpas secara otomatis dan terbang percuma.

Mulai bulan Agustus hingga bulan Desember menunjukkan pola yang cenderung menurun, hal ini karena *inflow* pada bulan tersebut cenderung kecil.

Energi listrik yang dihasilkan pada tahun basah, seperti pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7. Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Skenario Tahun Basah

Bulan	Turbin			Energi Listrik Yg Dihasilkan (KWH)
	Unit	Jam Operasi	Debit (m ³ /dt)	
Jan	3	12,10	74,00	67.855.590
Feb	3	14,05	74,00	71.166.060
Mar	3	14,75	74,00	82.716.525
Apr	3	14,37	74,00	77.985.990
Mei	3	11,33	74,00	63.537.507
Jun	3	7,10	74,00	38.531.700
Jul	3	6,40	74,00	35.890.560
Agt	3	5,00	74,00	28.039.500
Sep	3	4,82	74,00	26.158.140
Okt	3	8,15	74,00	45.704.385
Nop	3	14,05	74,00	76.249.350
Des	3	14,18	74,00	79.542.454
Jumlah				693.377.761

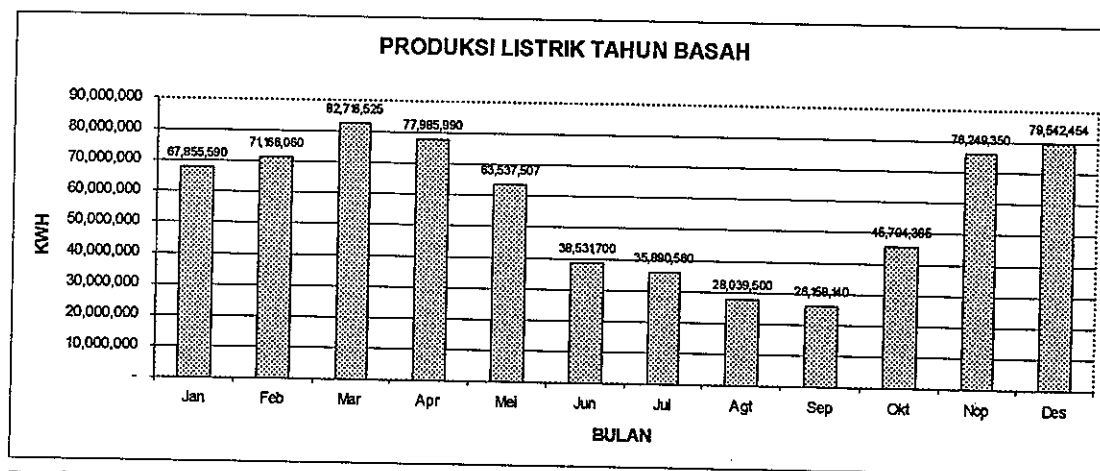
Sumber : data sekunder, diolah

Debit air yang digunakan untuk mengoperasikan satu unit turbin bisa dalam kisaran debit 55 m³/detik sampai dengan 74 m³/detik.

Energi listrik yang dihasilkan, terbesar pada tahun basah terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 82.716.525 KWH dan yang terkecil pada bulan September yaitu sebesar 26.158.140 KWH dan rerata energi listrik yang dihasilkan pada tahun basah adalah sebesar 57.769.797 KWH serta total produksi listrik sebesar 693.377.761 KWH.

Pada bulan Maret debit air yang masuk merupakan debit *inflow* terbesar yaitu sebesar 148,15 m³/detik sehingga mampu menggerakkan tiga unit turbin dengan debit turbin maksimal = 74 m³/detik selama 14,75 Jam.

Setiap satu unit turbin dengan kapasitas 74 m³/detik dalam satu jam secara teori mampu menghasilkan listrik sebesar 60.300 KWH, oleh karena itu listrik yang dihasilkan pada bulan Maret sebesar 82.716.525 KWH dan merupakan produksi listrik terbesar dalam tahun basah. Gambar 4.5 akan menunjukkan produksi listrik setiap bulan dalam tahun basah secara visual.



Gambar 4.5. Visual Energi Listrik Yang Dihasilkan Tahun Basah

Energi listrik yang dihasilkan pada tahun basah menunjukkan bulan Januari hingga bulan Maret produksi listrik cenderung meningkat dan pada mulai bulan April hingga bulan September yang merupakan musim kering cenderung menurun dan setelah itu pada bulan Oktober hingga bulan Desember menunjukkan kecenderungan ke arah yang meningkat.

4.3.2. Tipikal *Rule Curve* Skenario Tahun Normal

Tipikal *rule curve* tahun normal merupakan debit rerata tahunan dari debit rerata bulanan yang merupakan akumulasi dari tahun 1955 hingga tahun 2003 yang masuk dalam kelompok skenario pola debit *inflow* tahun normal (lihat tabel 4.4), yaitu memiliki debit *inflow* antara antara 71,81 m³/detik s/d 97,35 m³/detik yang kemudian diaplikasikan untuk membuat *rule curve*.

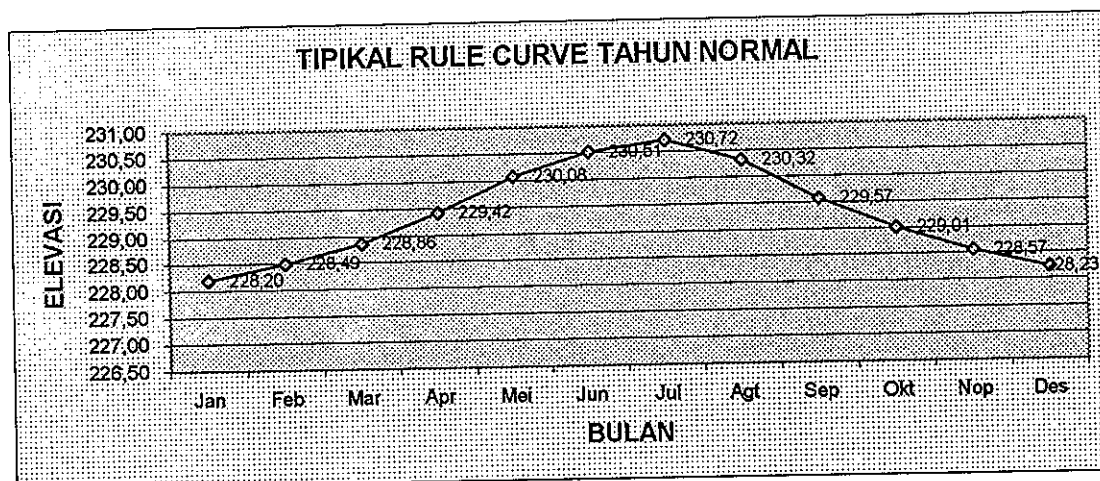
PLTA PB Soedirman pada tahun normal tidak mampu mengoperasikan tiga unit turbin secara terus menerus sepanjang tahun. Meskipun dapat bekerja pada waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00) namun belum optimal, terutama pada saat musim kering yang terjadi dari bulan Juli hingga bulan Oktober.

Q_{outflow} untuk kepentingan irigasi dapat selalu terjaga dengan baik yaitu dengan debit konstan $11 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan sedimentasi yang terjadi sebesar $4.300.847 \text{ m}^3/\text{tahun}$ belum mempengaruhi kinerja PLTA secara signifikan. Untuk lebih jelasnya tentang tipikal *rule curve* tahun normal dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan gambar 4.5.

Tabel 4.8. Hasil Simulasi Perhitungan *Rule Curve* Pada Skenario Tahun Normal

Bulan	Elv. m.a Waduk Awal	Volume Tampung (m^3)	Inflow (m^3)	Irigasi (m^3)	Turbin (m^3)	Sedimentasi (m^3)	Air Melimpas (m^3)	Elv. m.a Waduk Akhir
Jan	228,20	64.213.450	330.087.291	29.462.400	299.532.168	365.277	0	228,49
Feb	228,49	64.940.896	299.836.800	26.611.200	271.887.840	329.928	0	228,86
Mar	228,86	65.948.728	355.594.587	29.462.400	324.059.616	365.277	0	229,42
Apr	229,42	67.656.022	318.675.291	28.512.000	287.712.000	353.494	0	230,08
Mei	230,08	69.753.819	236.535.881	29.462.400	205.138.656	365.277	0	230,51
Jun	230,51	71.323.367	160.090.560	28.512.000	130.669.200	353.494	0	230,72
Jul	230,72	71.879.233	118.738.574	29.462.400	91.048.860	365.277	0	230,32
Agt	230,32	69.741.269	83.433.435	29.462.400	56.735.208	365.277	0	229,57
Sep	229,57	66.611.819	70.365.394	28.512.000	43.956.000	353.494	0	229,01
Okt	229,01	64.155.719	130.036.320	29.462.400	102.197.700	365.277	0	228,57
Nop	228,57	62.166.662	246.643.611	28.512.000	219.380.400	353.494	0	228,23
Des	228,23	60.564.379	319.082.894	29.462.400	289.745.964	365.277	0	228,20
Jumlah			2.669.120.640	346.896.000	2.322.063.612	4.300.847	0	

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.6. Visual Tipikal *Rule Curve* Tahun Normal

Gambar 4.6 tentang tipikal *rule curve* tahun normal menunjukkan bahwa elevasi muka air pada kisaran $+ 228,20 \text{ dpl}$ s/d $+ 230,72 \text{ dpl}$, hal ini menunjukkan bahwa *rule curve* yang terjadi belum mencapai ambang pintu *spillway* elevasi $+ 231,15 \text{ dpl}$, sehingga air waduk PB Soedirman tidak terbuang secara percuma.

Simulasi diawali pada *minimum operating level*, yaitu bulan Januari pada elevasi + 228,20 dpl. Pada bulan Juli elevasi menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat hingga pada elevasi setinggi + 230,72 dpl. Peningkatan tersebut disebabkan karena debit air pada bulan-bulan tersebut cenderung besar, sehingga dapat digunakan untuk operasi PLTA dan irigasi sedangkan sisanya diakumulasikan untuk bulan depan.

Meskipun demikian tetap dijaga agar air yang disimpan tidak melebihi ketinggian elevasi + 231,00 dpl. karena apabila mencapai elevasi + 231,15 dpl air akan melimpas secara otomatis dan air akan terbuang percuma.

Mulai bulan Agustus hingga bulan Desember menunjukkan pola yang cenderung menurun, hal ini karena *inflow* pada bulan tersebut cenderung kecil untuk pengoperasian pembangkit, maka persediaan air yang tersedia di waduk mulai digunakan pengoperasian pembangkit tersebut, sehingga volume tampung waduk berkurang yang akhirnya menyebabkan elevasi waduk menurun.

Eenergi listrik yang dihasilkan pada tahun normal dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Skenario Tahun Normal

Bulan	Turbin				Energi Listrik Yg Dihasilkan (KWH)
	Unit	Jam Operasi	Debit (m ³ /detik)	Vol. air yang digunakan (m ³)	
Jan	3	12,09	74,00	299.532.168	67.799.511
Feb	3	12,15	74,00	271.887.840	61.542.180
Mar	3	13,08	74,00	324.059.616	73.351.332
Apr	3	12,00	74,00	287.712.000	65.124.000
Mei	3	8,28	74,00	205.138.656	46.433.412
Jun	3	5,45	74,00	130.669.200	29.577.150
Jul	3	4,90	55,50	91.048.860	20.609.033
Agt	2	4,58	55,50	56.735.208	12.842.091
Sep	1	5,50	74,00	43.956.000	9.949.500
Okt	3	5,50	55,50	102.197.700	23.132.588
Nop	3	9,15	74,00	219.380.400	49.657.050
Des	3	11,71	74,00	289.745.964	65.679.725
Jumlah				2.322.063.612	525.697.571

Sumber : data sekunder, diolah

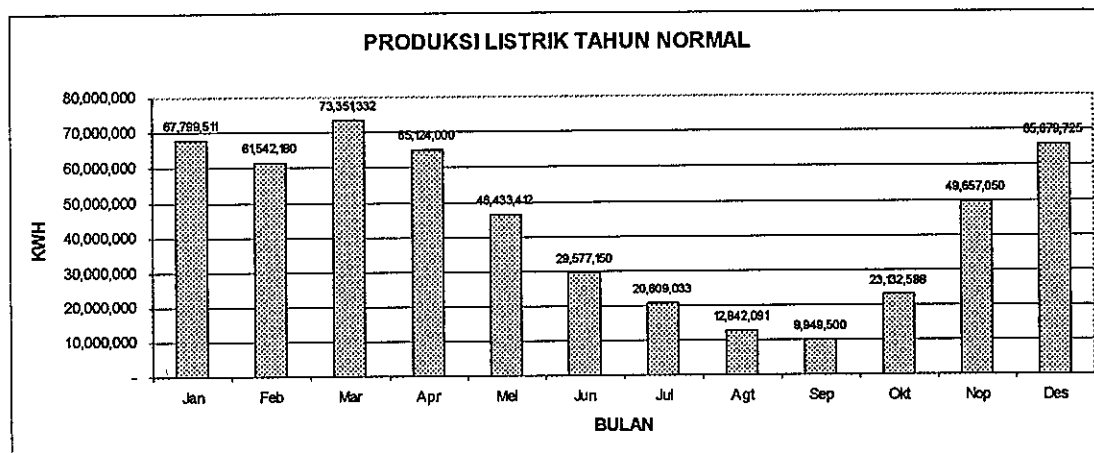
Pada tahun normal tiga unit turbin PLTA PB Soedirman tidak dapat bekerja secara maksimal, meskipun dapat bekerja pada waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00) atau selama empat jam.

Pada bulan Januari hingga bulan Juni debit air yang tersedia dapat digunakan untuk menggerakkan tiga unit turbin dengan debit turbin maksimal yaitu $74\text{m}^3/\text{detik}$. Tetapi mulai bulan Juli, turbin yang dijalankan sebanyak tiga unit selama 4,90 jam dengan debit sebesar $55,50\text{ m}^3/\text{detik}$, juga pada bulan Agustus hanya dua unit dengan debit sebesar $55,50\text{ m}^3/\text{detik}$ selama 4,58 jam. Sedangkan pada bulan September turbin yang dijalankan hanya satu unit selama 5,50 jam dengan kapasitas debit sebesar $74\text{ m}^3/\text{detik}$.

Sedangkan pada bulan Oktober jumlah unit turbin yang dijalankan sebanyak tiga unit selama 5,50 jam dengan $55,50\text{ m}^3/\text{detik}$. Bulan Nopember dan Desember dapat bekerja dengan tiga unit turbin dengan debit maksimal yaitu $74\text{m}^3/\text{detik}$ selama waktu beban puncak.

Energi listrik yang dihasilkan terbesar pada tahun normal terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 73.351.332 KWH dan produksi listrik terkecil pada bulan September yaitu sebesar 9.949.500 KWH dan rerata produksi pada tahun normal adalah sebesar 43.800.186 KWH serta total produksi listrik sebesar 525.697.571 KWH.

Pada bulan Maret yang masuk merupakan debit *inflow* terbesar yaitu sebesar $132,76\text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga mampu menggerakkan tiga unit turbin dengan debit turbin maksimal, yaitu $74\text{ m}^3/\text{detik}$ selama 13,08 jam dan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 73.351.332 KWH dan merupakan produksi listrik terbesar dalam tahun normal. Gambar 4.7 menunjukkan produksi listrik tahun normal secara visual.



Gambar 4.7. Visual Produksi Listrik Tahun Normal

Energi listrik yang dihasilkan pada tahun normal menunjukkan bahwa pada bulan Februari mengalami penurunan, tetapi pada bulan Maret produksi listrik kembali menunjukkan peningkatan. Bulan April hingga bulan September yang merupakan musim kering, produksi listrik cenderung menurun dan setelah itu pada bulan Oktober hingga bulan Desember menunjukkan kecenderungan ke arah yang meningkat.

4.3.3. Tipikal *Rule Curve* Skenario Tahun Kering

Tipikal *rule curve* tahun kering merupakan debit rerata tahunan dari debit rerata bulanan yang merupakan akumulasi dari tahun 1955 hingga tahun 2003 yang masuk dalam kelompok skenario pola debit *inflow* tahun kering (lihat tabel 4.4) yaitu memiliki debit *inflow* antara 46,26 m³/detik s/d 71,80 m³/detik, yang kemudian diaplikasikan untuk membuat *rule curve*.

PLTA PB Soedirman pada tahun kering tidak mampu mengoperasikan tiga unit turbin yang dimiliki secara optimal dan tidak dapat selalu bekerja secara optimal pada waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00).

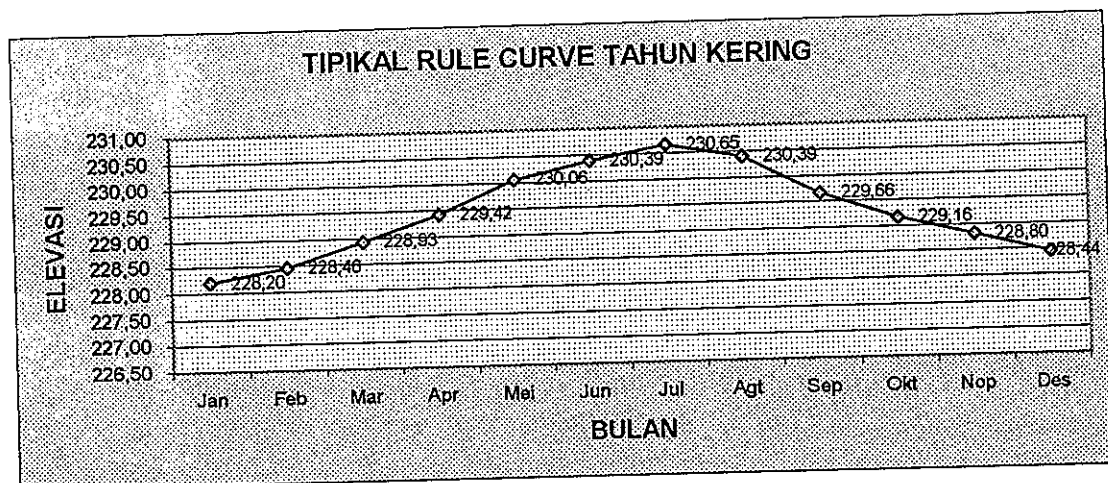
$Q_{outflow}$ yang dikeluarkan dari waduk untuk kepentingan irigasi tetap selalu dijaga agar dapat dipenuhi secara konstan dengan debit sebesar 11 m³/detik. Adapun laju

sedimentasi yang masuk ke dalam waduk diasumsikan sebesar 4.300.847 m³/tahun dan belum terlihat mempengaruhi kinerja pembangkit PLTA PB Soedirman secara signifikan. Untuk lebih jelasnya tentang tipikal *rule curve* tahun kering dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.8.

Tabel 4.10. Hasil Simulasi Perhitungan *Rule Curve* Pada Skenario Tahun Kering

Bulan	Elv. m.a Waduk Awal	Volume Tampung (m ³)	Inflow (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	Elv. m.a Waduk Akhir
Jan	228,20	64.213.450	290.067.372	29.462.400	259.644.096	365.277	0	228,46
Feb	228,46	64.809.049	288.379.224	26.611.200	260.027.712	329.928	0	228,93
Mar	228,93	66.219.433	313.710.948	29.462.400	282.437.280	365.277	0	230,06
Apr	229,42	67.665.423	278.311.140	28.512.000	247.432.320	353.494	0	230,39
Mei	230,06	69.678.749	167.185.728	29.462.400	136.263.600	365.277	0	230,65
Jun	230,39	70.773.200	99.519.840	28.512.000	69.850.080	353.494	0	230,39
Jul	230,65	71.577.465	61.365.492	29.462.400	33.033.600	365.277	0	229,66
Agt	230,39	70.081.680	43.170.786	29.462.400	16.413.570	365.277	0	229,16
Sep	229,66	67.011.219	30.532.140	28.512.000	3.896.100	353.494	0	228,80
Okt	229,16	64.781.764	58.509.648	29.462.400	30.349.620	365.277	0	228,44
Nop	228,80	63.114.115	114.278.040	28.512.000	87.112.800	353.494	0	228,20
Des	228,44	61.413.861	219.802.896	29.462.400	191.239.769	365.277	0	228,20
Jumlah			1.964.833.254	346.896.000	1.617.700.547	4.300.847	0	

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.8. Tipikal *Rule Curve* Tahun Kering

Gambar 4.8 tentang tipikal *rule curve* tahun kering menunjukkan bahwa elevasi muka air waduk pada kisaran elevasi + 228,20 dpl s/d + 230,65 dpl, hal ini menunjukkan bahwa *rule curve* tersebut belum mencapai ambang pintu *spillway* elevasi + 231,15 dpl, sehingga air waduk PB Soedirman tidak terbuang secara percuma.

Rule curve diawali pada bulan Januari pada elevasi turbin terendah yang diijinkan bekerja + 228,20 dpl, hingga bulan Juli elevasi menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat hingga pada elevasi setinggi + 230,65 dpl, peningkatan tersebut disebabkan karena debit air pada bulan-bulan tersebut cenderung besar maka sebagian digunakan besar digunakan untuk operasi pembangkit dan irigasi sedangkan sisanya diakumulasikan untuk bulan depan.

Meskipun demikian elevasi muka air waduk tetap dijaga agar tidak melebihi elevasi + 231,00 dpl karena apabila mencapai elevasi + 231,15 dpl, pintu *spillway* secara otomatis terbuka sehingga air akan melimpas dan akan terbuang percuma.

Mulai bulan Agustus hingga bulan Desember menunjukkan pola yang cenderung menurun, hal ini karena *inflow* pada bulan tersebut cenderung kecil sehingga tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan produksi listrik, maka persediaan air yang tersedia di waduk mulai digunakan untuk produksi listrik, sehingga volume tampung waduk berkurang yang akhirnya menyebabkan elevasi waduk menurun.

Produksi listrik yang dihasilkan pada tahun kering dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11. Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Skenario Tahun Kering

Bulan	Turbin				Energi Listrik Yg Dihasilkan (KWH)
	Unit	Jam Operasi	Debit (m ³ /detik)	Volume (m ³)	
Jan	3,00	10,48	74,00	259.644.096	58.770.792
Feb	3,00	11,62	74,00	260.027.712	58.857.624
Mar	3,00	11,40	74,00	282.437.280	63.930.060
Apr	3,00	10,32	74,00	247.432.320	56.006.640
Mei	3,00	5,50	74,00	136.263.600	30.843.450
Jun	2,00	4,37	74,00	69.850.080	15.810.660
Jul	1,00	4,00	74,00	33.033.600	7.477.200
Agt	1,00	2,65	55,50	16.413.570	3.715.234
Sep	1,00	0,65	55,50	3.896.100	881.888
Okt	1,00	4,90	55,50	30.349.620	6.869.678
Nop	2,00	5,45	74,00	87.112.800	19.718.100
Des	3,00	7,74	74,00	191.239.769	43.382.714
Jumlah				1.617.700.547	366.264.039

Sumber : data sekunder, diolah

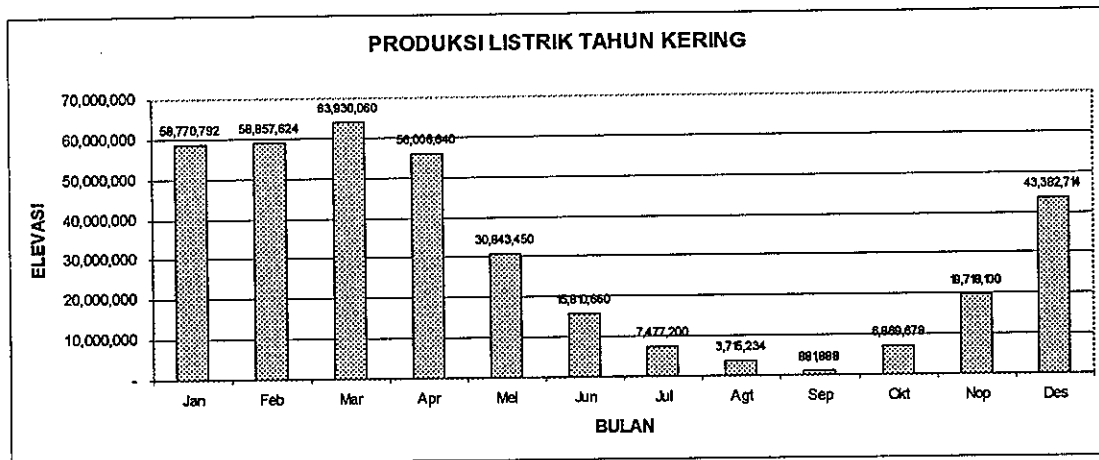
Pada bulan Januari hingga bulan Mei debit air yang tersedia dapat digunakan untuk menggerakkan tiga unit turbin dengan debit maksimal, yaitu $74\text{m}^3/\text{detik}$ selama waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00). Tetapi mulai Bulan Juni turbin yang dijalankan hanya dua unit selama 4,73 jam dengan debit maksimal = $74\text{m}^3/\text{detik}$,

Sedangkan bulan Juli turbin yang dijalankan hanya sebanyak satu unit selama 4,00 jam dengan debit maksimal = $74\text{m}^3/\text{detik}$, serta pada bulan Agustus dan September turbin yang dijalankan hanya satu unit dengan waktu masing-masing 2,65 jam dan 0,65 jam dengan debit minimal, yaitu sebesar $55,5\text{ m}^3/\text{detik}$.

Bulan Oktober pasokan *inflow* mengalami kenaikan sehingga turbin yang dapat dijalankan selama 4,90 jam, meskipun hanya dengan satu unit turbin dengan debit sebesar $55,5\text{ m}^3/\text{detik}$. Sedangkan pada bulan Nopember jumlah turbin yang dijalankan sebanyak dua unit selama 5,45 jam dengan debit maksimal yaitu $74\text{m}^3/\text{detik}$ sedangkan pada bulan Desember baru dapat menggerakkan tiga unit turbin dengan juga dengan debit sebesar $74\text{m}^3/\text{detik}$ untuk melayani waktu beban puncak (jam 18.00 – 22.00).

Energi listrik yang dihasilkan terbesar pada tahun kering terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 63.930.060 KWH dan energi listrik yang dihasilkan terkecil pada bulan September yaitu sebesar 881.888 KWH dan rerata produksi pada tahun kering adalah sebesar 30.514.059 KWH serta total produksi listrik sebesar 366.264.039.

Pada bulan Februari debit air yang masuk merupakan debit *inflow* terbesar yaitu sebesar $119,20\text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga mampu menggerakkan tiga unit turbin dengan debit turbin maksimal = $74\text{ m}^3/\text{detik}$ selama 11,62 Jam. Dengan debit sebesar $74\text{ m}^3/\text{detik}$ dalam satu jam mampu menghasilkan energi listrik sebesar 60.300 KWH, oleh karena itu listrik yang dihasilkan pada bulan Februari sebesar 58.857.624 KWH, tetapi bukan merupakan produksi listrik terbesar dalam tahun kering, hal ini karena bulan Februari hanya sebanyak 28 hari. Gambar 4.9 akan menunjukkan produksi listrik tahun kering secara visual.



Gambar 4.9. Visual Produksi Listrik Tahun Kering

Energi listrik pada skenario tahun kering menunjukkan bulan Januari hingga bulan Maret hasil energi listrik cenderung meningkat dan pada mulai bulan April hingga bulan September yang merupakan musim kering cenderung menurun dan setelah itu pada bulan Oktober hingga bulan Desember menunjukkan kecenderungan ke arah yang meningkat.

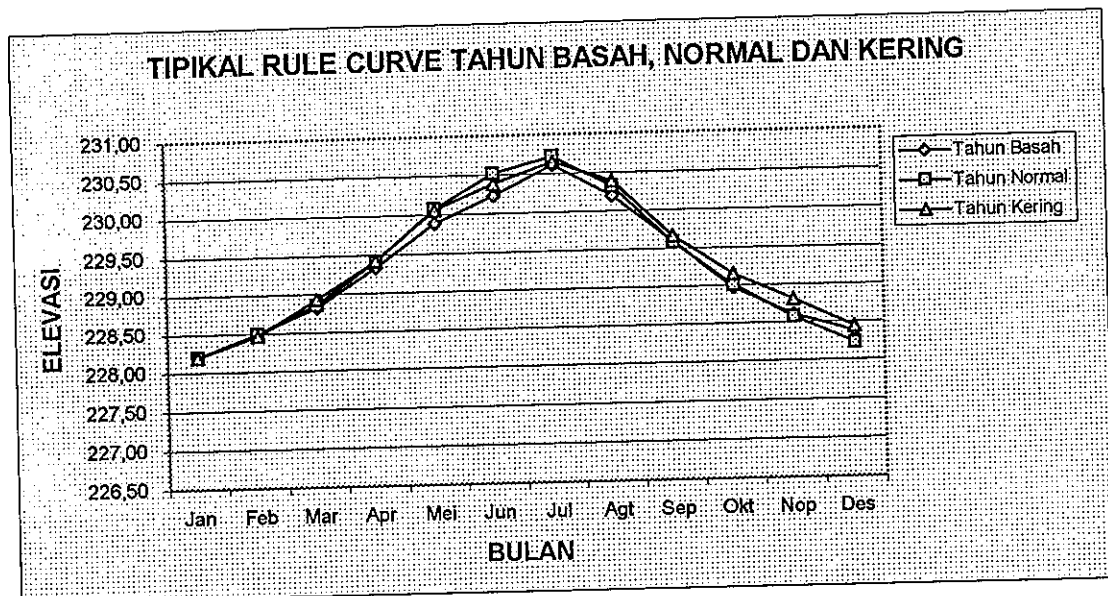
4.3.4. Tipikal *Rule Curve* Tahun Basah, Normal dan Kering

Perbandingan antara *rule curve* antara tahun basah, tahun normal dan tahun kering dapat dilihat dari elevasi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.12. Elevasi pada Tipikal *Rule Curve* Tahun Basah, Normal dan Kering

Bulan	Basah	Normal	Kering
Jan	228,20	228,20	228,20
Feb	228,49	228,49	228,46
Mar	228,82	228,86	228,93
Apr	229,33	229,42	229,42
Mei	229,89	230,08	230,06
Jun	230,23	230,51	230,39
Jul	230,61	230,72	230,65
Agt	230,20	230,32	230,39
Sep	229,59	229,57	229,66
Okt	228,96	229,01	229,16
Nop	228,60	228,57	228,80
Des	228,38	228,23	228,44

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.10. Visual Rule Curve Tahun Basah, Normal dan Kering

Gambar 4.10 menunjukkan pada bulan Januari hingga bulan Juli, baik pada tahun basah, normal dan kering, elevasi yang terbentuk menunjukkan kecenderungan yang meningkat dan pada bulan selanjutnya hingga bulan Desember menunjukkan kecenderungan yang menurun.

4.4. ANALISIS UNJUK KERJA

Analisis unjuk kerja meliputi keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*). Dalam hal ini yang dilakukan uji unjuk kerja adalah realisasi produksi yang dihasilkan selama PLTA beroperasi terhadap tipikal skenario pola debit yang sesuai dengan kelompok tahunnya.

Tabel 4.13 Tabel Perhitungan Unjuk Kerja

NO	TAHUN	SKENARIO	STATUS	TARGET	REALISASI	DEFISIT	
						KWH	Rasio
1	1989	Normal	Gagal	544,920,701	512,026,019	32,894,682.32	0.06
2	1990	Normal	Sukses	544,920,701	519,426,612		
3	1991	Kering	Sukses	366,240,477	442,817,894		
4	1992	Normal	Sukses	544,920,701	634,087,840		
5	1993	Normal	Sukses	544,920,701	530,732,787		
6	1994	Kering	Sukses	366,240,477	387,115,625		
7	1995	Normal	Sukses	544,920,701	598,239,362		
8	1996	Normal	Sukses	544,920,701	524,283,341		
9	1997	Kering	Gagal	366,240,477	283,222,655	83,017,821.93	0.23
10	1998	Normal	Sukses	544,920,701	629,473,319		
11	1999	Normal	Sukses	544,920,701	616,726,701		
12	2000	Normal	Sukses	544,920,701	569,094,819		
13	2001	Normal	Sukses	544,920,701	617,659,001		
14	2002	Kering	Sukses	366,240,477	361,824,487		
15	2003	Kering	Sukses	366,240,477	420,219,407		
				7,280,409,397.84	JUMLAH	115,912,504.25	0.29
				485,360,626.52	RERATA	57,956,252.12	0.07

4.4.1. Keandalan (*Reliability*)

Berdasarkan definisi keandalan, pembangkit listrik dianggap gagal jika pembangkit listrik menghasilkan listrik lebih kecil daripada target dengan batas toleransi 5%. Jumlah tahun penelitian sebanyak 15 tahun dengan total tahun dalam keadaan sukses ($\sum Z_t$) sebanyak 13 tahun, sehingga diperoleh nilai keandalan sebesar $13/15 = 0,87$ (persamaan 2.9). Hal ini menunjukkan selama beroperasi selama 15 tahun PLTA PB Soedirman memiliki keandalan sebesar 0,87 dan pernah mengalami kegagalan sebesar 0,13.

4.4.2. Kelentingan (*Resiliency*)

Kelentingan merupakan indikator unjuk kerja untuk mengukur kemampuan pembangkit bila terjadi kegagalan kembali ke keadaan tidak gagal atau ke keadaan sukses. Semakin cepat pembangkit kembali ke keadaan sukses, maka konsekuensi akibat adanya kegagalan tersebut akan semakin kecil. Pembangkit akan mengalami masa dari gagal ke sukses atau sebaliknya.

Berdasarkan persamaan 2.12 diperoleh T gagal sebesar 0.67 hal ini berarti jika pembangkit mengalami kegagalan maka dibutuhkan waktu selama 0.67 bulan untuk kembali pada

keadaan memuaskan. Hasil pengujian kelentingan (persamaan 2.14) menunjukkan Indeks kelentingan 1.50, semakin besar kelentingan maka semakin cepat pembangkit menjadi kondisi tidak gagal atau sukses.

4.4.3. Kerawanan (*Vulnerability*)

Tingkat kerawanan "kegagalan" diukur dari seberapa besar terjadinya kekurangan (*deficit*). Unjuk kerja kerawanan memiliki beberapa penafsiran yaitu nilai maksimum defisit, nilai maksimum defisit rasio dan nilai rerata defisit rasio.

- Nilai Maksimum Defisit

Merupakan nilai maksimum kekurangan pada saat terjadi kegagalan. Berdasarkan persamaan 2.16 diperoleh nilai sebesar 83,017,822 KWH, nilai tersebut merupakan nilai kekurangan terbesar yang terjadi pada tahun 1997 dengan hasil produksi sebesar 283.222.655 KWH dan target produksi listrik sebesar 366.168.705 KWH.

- Nilai Maksimum Defisit Rasio

Merupakan nilai maksimum dari persentase kekurangan dimana terjadi kegagalan pada tahun-tahun tertentu. Berdasarkan persamaan 2.17 diperoleh nilai sebesar 0,23, nilai tersebut berarti pembangkit tidak dapat memenuhi target sebesar 23% pada saat gagal pada tahun tertentu.

- Nilai Rerata Defisit Rasio

Merupakan nilai rerata persentase kekurangan dimana terjadi kegagalan pada tahun-tahun tertentu. Berdasarkan persamaan 2.18 diperoleh nilai sebesar 0,06, nilai tersebut berarti jika terjadi kegagalan maka 9% dari kebutuhan tidak dapat dipenuhi dengan rerata defisit sebesar 28,978,126.06 KWH.

4.5. PREDIKSI MASA MANFAAT WADUK

Kapasitas tampungan waduk sampai dengan elevasi + 231.00 dpl. (*maximum operating level*) = 141.248.088 m³. Apabila waduk layak operasi, diasumsikan sampai dengan 80% dari total kapasitas waduk = 80% x 141.248.088 = 112.998.470 m³, dengan laju sedimentasi = 4.300.000 m³/tahun, maka masa manfaat waduk = 112.998.470/4.300.000 = ± 26 tahun. Apabila bisa dimanfaatkan sampai waduk seolah-olah sebagai *run off river* (kapasitas waduk) = 17.680.000 m³, masa manfaat waduk mencapai ± 30 tahun.

Berdasarkan perhitungan diatas, apabila diasumsikan laju sedimentasi sebesar ± 4.300.000 m³/tahun, maka diperkirakan waduk hanya dapat beroperasi hingga tahun 2018. Oleh karena itu akan dilakukan pengujian pada tahun 2008, 2013, 2014 dan 2018 untuk mengetahui kelayakan operasional waduk.

Berdasarkan simulasi *rule curve* (setelah tahun 2010), pada tahun 2014 akan terjadi perubahan keseimbangan masa air akibat akumulasi penumpukan sedimen, sehingga kapasitas waduk sudah tidak bisa lagi menerima lagi Q_{inflow} secara utuh sehingga terjadi kelebihan pasokan air dan melimpas lewat *spillway* sebesar ± 3% dari Q_{inflow}

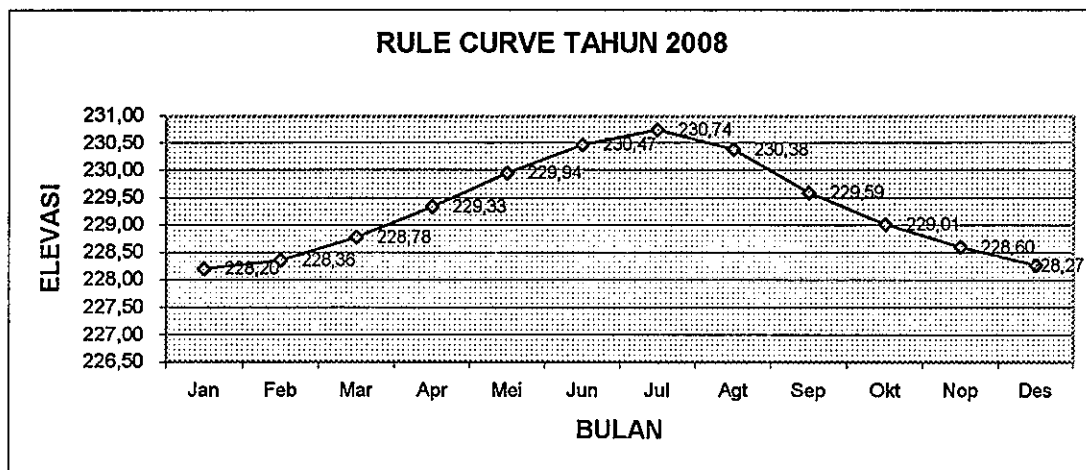
4.5.1. Tahun 2008

Tahun 2008 merupakan tipikal *rule curve* skenario pola debit *inflow* tahun normal (interval antara 71,81 s/d 97,35) karena rerata debit tahunan sebesar 77,22 m³/detik. Pada tahun 2008 sedimentasi yang terjadi belum berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja waduk, hal ini karena air yang ada dalam tampungan waduk belum mengalami pelimpasan keluar secara otomatis. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.13 dan gambar 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.14. Hasil Simulasi *Rule Curve* Tahun 2008

Bulan	Elevasi	Volume Tampung (m ³)	Inflow (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	Sisa (m ³)
Jan	228,20	46.048.665	290.025.174	29.462.400	260.139.600	365.277	0	57.896
Feb	228,36	46.106.561	333.457.781	27.561.600	304.774.920	329.928	0	791.333
Mar	228,78	46.897.894	341.856.950	29.462.400	310.928.760	365.277	0	1.100.513
Apr	229,33	47.998.407	301.771.844	28.512.000	271.648.080	353.494	0	1.258.270
Mei	229,94	49.256.676	161.206.214	29.462.400	130.069.800	365.277	0	1.308.736
Jun	230,47	50.565.412	120.192.590	28.512.000	90.809.100	353.494	0	517.996
Jul	230,74	51.083.408	63.066.918	29.462.400	34.767.864	365.277	0	(1.528.623)
Agt	230,38	49.554.785	53.221.918	29.462.400	25.848.792	365.277	0	(2.454.551)
Sep	229,59	47.100.233	64.368.546	28.512.000	37.402.560	353.494	0	(1.899.509)
Okt	229,01	45.200.725	153.499.347	29.462.400	125.114.760	365.277	0	(1.443.090)
Nop	228,60	43.757.635	253.479.369	28.512.000	225.853.920	353.494	0	(1.240.046)
Des	228,27	42.517.589	298.231.378	29.462.400	268.959.571	365.277	0	(555.870)
Jumlah			2.434.378.028	347.846.400	2.086.317.727	4.300.847	0	

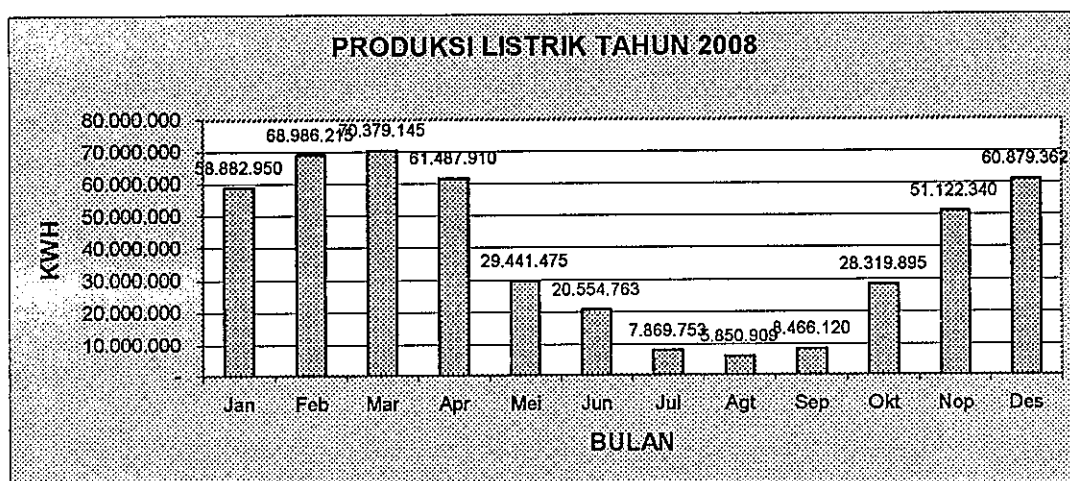
Sumber : data sekunder, diolah

Gambar 4.11. Prediksi *Rule Curve* Tahun 2008

Selama tahun 2008 sedimentasi yang terjadi adalah sebesar 4.300.847 m³/tahun. Sedimentasi yang terjadi akan berpengaruh secara signifikan terhadap volume tampung waduk yang akan menyebabkan volume tampung waduk menjadi berkurang dari waktu ke waktu, tetapi hingga pada tahun 2008 sedimentasi yang terjadi belum mempengaruhi kinerja waduk, hal ini ditunjukkan pada tabel 4.13 dimana pada tahun 2008 belum terjadi pelimpasan air secara otomatis lewat *spillway*, hal ini karena volume tampung waduk masih cukup menampung debit *inflow* yang masuk ke dalam waduk.

Gambar 4.11 menunjukkan *rule curve* yang terjadi pada tahun 2008 berkisar pada elevasi antara + 228,20 dpl hingga + 230,74 dpl. Pada awal bulan yaitu bulan Januari hingga bulan Juli *rule curve* menunjukkan pergerakan yang cenderung naik, tetapi setelah bulan bulan Juli menunjukkan pergerakan yang cenderung menurun hingga bulan Desember.

Energi listrik yang dihasilkan selama tahun 2008 dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini :



Gambar 4.12. Visual Prediksi Produksi Listrik Tahun 2008

Energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2008 adalah sebesar 472.240.837 KWH sehingga *capacity factor* sebesar :

$$\begin{aligned}
 CF &= \frac{\Sigma \text{ KWH Produksi Total Per Tahun}}{\Sigma \text{ KW Beban Puncak} \times 8.760 \text{ jam}} \times 100\% \\
 &= \frac{472.240.837}{3 \times 61.500 \times 8.760} \times 100\% \\
 &= \frac{472.240.837}{1.616.220.000} \times 100\%
 \end{aligned}$$

= 29,22%

Capacity factor yang terbentuk pada tahun 2008 adalah sebesar 29,22%, lebih kecil dibandingkan rerata yang terjadi sampai dengan tahun 2003, yaitu sebesar 32,58 %. Dengan penurunan *capacity factor* tersebut, menunjukkan bahwa mulai periode tahun 2008 telah terjadi penurunan kinerja.

4.5.2. Prediksi Tahun 2013

Karena dari data yang ada selama ini tahun normal yang paling terjadi, maka untuk prediksi tahun-tahun berikutnya digunakan perhitungan dengan asumsi tahun normal.

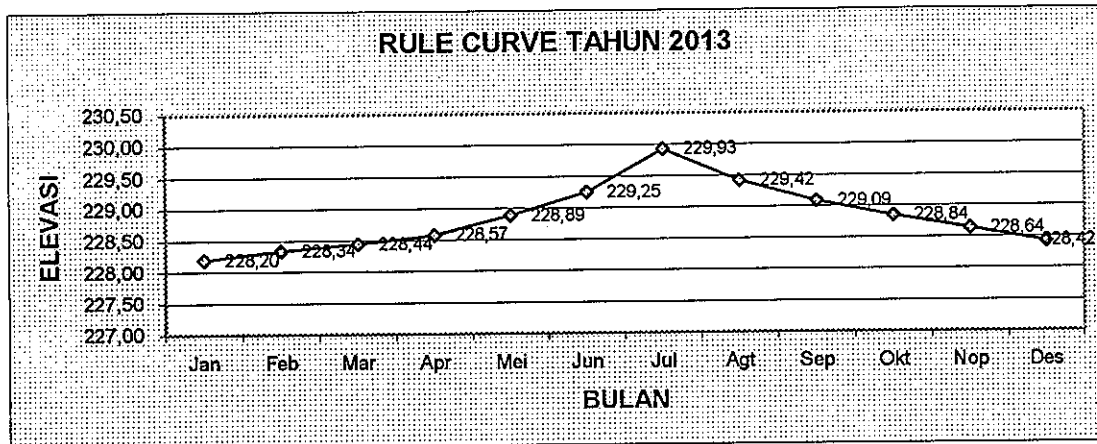
Dengan asumsi laju sedimentasi = 4.300.847 m³/tahun, maka sampai dengan Tahun 2013, sedimentasi belum berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja waduk, dalam arti bahwa dari hasil simulasi selama beroperasinya PLTA belum terjadi adanya limpasan air lewat *spillway*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.13 dibawah ini.

Tabel 4.15. Hasil Simulasi Perhitungan *Rule Curve* Tahun 2013

Bulan	Elv. m.a Waduk Awal	Volume Tampung (m ³)	Inflow (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	Elv. m.a Waduk Awal
Jan	228,20	27.883.880	285.361.410	29.462.400	255.680.064	365.277	0	228,34
Feb	228,34	27.737.548	324.628.232	26.611.200	297.845.856	329.928	0	228,44
Mar	228,44	27.578.795	340.106.315	29.462.400	310.433.256	365.277	0	228,57
Apr	228,57	27.424.177	298.747.191	28.512.000	269.730.000	353.494	0	228,89
Mei	228,89	27.575.874	148.960.665	29.462.400	118.920.960	365.277	0	229,25
Jun	229,25	27.787.901	115.019.619	28.512.000	85.414.500	353.494	0	229,93
Jul	229,93	28.527.526	53.837.917	29.462.400	25.188.120	365.277	0	229,42
Agt	229,42	27.349.646	47.423.291	29.462.400	18.498.816	365.277	0	229,09
Sep	229,09	26.446.443	62.562.570	28.512.000	34.445.520	353.494	0	228,84
Okt	228,84	25.697.999	157.349.424	29.462.400	128.211.660	365.277	0	228,64
Nop	228,64	25.008.086	257.131.748	28.512.000	228.970.800	353.494	0	228,42
Des	228,42	24.303.539	297.670.773	29.462.400	268.563.168	365.277	0	228,20
Jumlah			2.388.799.154	346.896.000	2.041.902.720	4.300.847	0	

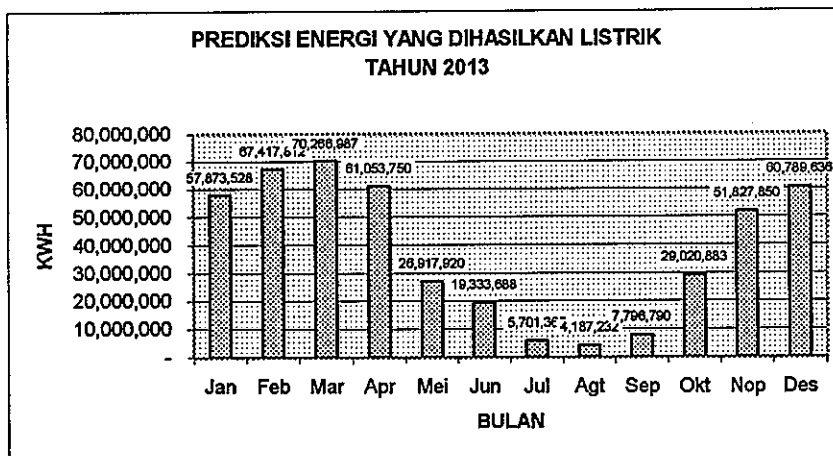
Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.13. Prediksi *Rule Curve* Tahun 2013

Gambar 4.13 menunjukkan *rule curve* yang terjadi pada tahun 2013 berkisar pada elevasi antara + 228,20 dpl hingga + 229,93 dpl. Tetapi pada Bulan Januari hingga Bulan Juli *rule curve* menunjukkan pergerakan yang cenderung naik, tetapi setelah Bulan Juli menunjukkan pergerakan yang cenderung menurun hingga Bulan Desember.

Produksi listrik yang dihasilkan selama tahun 2013 dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini :



Gambar 4.14. Visual Prediksi Energi Listrik Yang Dihasilkan Tahun 2013

Produksi listrik yang dihasilkan pada tahun 2013 adalah sebesar 462.187.440 KWH sehingga *capacity factor* sebesar :

$$\begin{aligned}
 CF &= \frac{\Sigma \text{KWH Produksi Total Per Tahun}}{\Sigma \text{KW Beban Puncak} \times 8.760 \text{ jam}} \times 100\% \\
 &= \frac{462.187.440}{3 \times 61.500 \times 8.760} \times 100\% \\
 &= \frac{462.187.440}{1.616.220.000,00} \times 100\% \\
 &= 28,60\%
 \end{aligned}$$

Capacity factor yang terjadi pada periode tahun 2013 adalah sebesar 28,60%, lebih kecil dibandingkan *capacity factor* yang terjadi pada periode 2008 (29,22%). Hal tersebut menunjukkan, bahwa secara bertahap akan terjadi penurunan kinerja waduk dari waktu ke waktu.

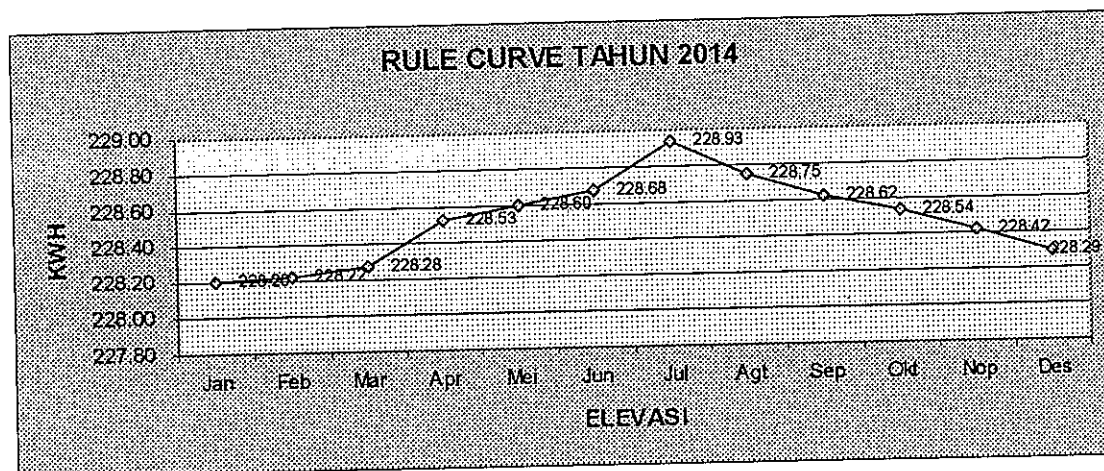
4.5.3. Prediksi Tahun 2014

Dengan asumsi sebagai tahun normal, tahun 2014 dari hasil simulasi memperlihatkan bahwa fungsi waduk telah terdegradasi, dimana waduk sudah tidak mampu lagi menampung debit *inflow* secara utuh, sehingga air melimpas secara otomatis lewat *spillway*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.14 dibawah ini.

Tabel 4.16. Hasil Simulasi *Rule Curve* Tahun 2014

Bulan	Elv. m.a Waduk Awal	Volume Tampung (m ³)	Inflow (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	lv. m.a Waduk Akhir
Jan	228,20	24.250.922	284.428.657	29.462.400	254.936.808	365.277	0	228,22
Feb	228,22	23.915.094	325.162.031	26.611.200	295.160.544	329.928	3.313.644	228,28
Mar	228,28	23.661.809	339.756.188	29.462.400	297.797.904	365.277	12.145.048	228,53
Apr	228,53	23.647.367	298.142.261	28.512.000	239.760.000	353.494	29.769.472	228,60
Mei	228,60	23.394.662	146.511.555	29.462.400	116.938.944	365.277	0	228,68
Jun	228,68	23.139.595	113.985.025	28.512.000	85.114.800	353.494	0	228,93
Jul	228,93	23.144.326	51.992.117	29.462.400	22.793.184	365.277	0	228,75
Agt	228,75	22.515.581	46.263.566	29.462.400	16.971.012	365.277	0	228,62
Sep	228,62	21.980.458	62.201.375	28.512.000	33.806.160	353.494	0	228,54
Okt	228,54	21.510.178	158.119.440	29.462.400	128.831.040	365.277	0	228,42
Nop	228,42	20.970.900	257.862.224	28.512.000	218.900.880	353.494	10.622.001	228,29
Des	228,29	20.444.749	297.558.652	29.462.400	257.216.126	365.277	11.006.401	228,20
Jumlah			2.381.983.088	346.896.000	1.968.227.402	4.300.847	66.856.566	

Sumber : data sekunder, diolah

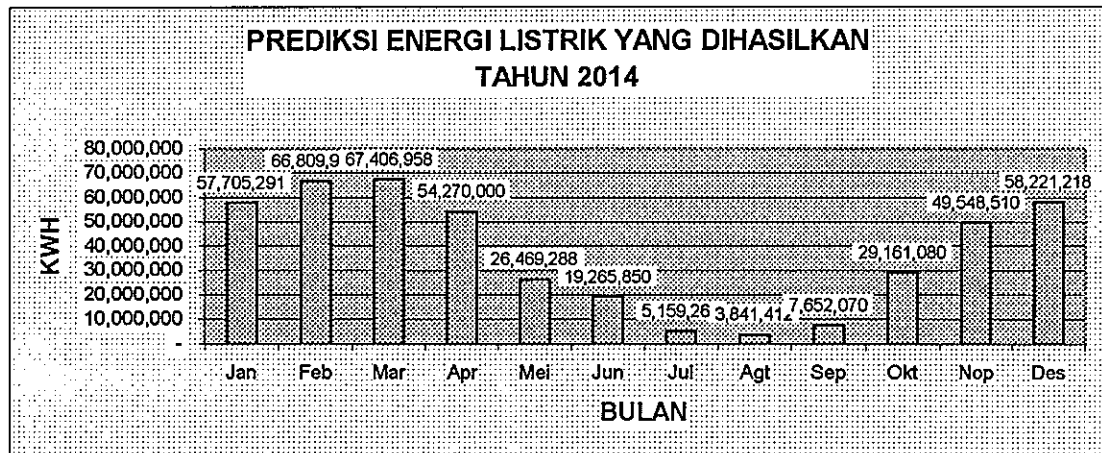


Gambar 4.15. Prediksi *Rule Curve* Tahun 2014

Seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.15 di atas, pada tahun 2014 terjadi pelimpasan air secara otomatis lewat *spillway* yaitu sebesar 66.856.566 atau 3% dari Q_{inflow} , Kondisi ini menunjukkan bahwa tahun 2014 merupakan awal waduk sudah tidak mampu lagi menampung semua air yang masuk sehingga menyebabkan air melimpas secara otomatis lewat *spillway*.

Gambar 4.14 menunjukkan *rule curve* yang terjadi pada tahun 2014 berkisar pada elevasi antara + 228,20 dpl hingga 228,93 dpl. Pada awal bulan yaitu bulan Januari hingga bulan Juli *rule curve* menunjukkan pergerakan yang cenderung naik, tetapi setelah bulan Juli menunjukkan pergerakan yang cenderung menurun hingga bulan Desember.

Energi listrik yang dihasilkan selama tahun 2014 dapat dilihat pada gambar 4.16 dibawah ini



Gambar 4.16. Visual Prediksi Produksi Energi Listrik Tahun 2014

Prediksi energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2014 adalah sebesar 445.510.932

KWH sehingga *capacity factor* sebesar :

$$\begin{aligned}
 CF &= \frac{\Sigma \text{ KWH Produksi Total Per Tahun}}{\Sigma \text{ KW Beban Puncak} \times 8.760 \text{ jam}} \times 100\% \\
 &= \frac{445.510.932}{3 \times 61.500 \times 8.760} \times 100\% \\
 &= \frac{445.510.932}{1.616.220.000} \times 100\% \\
 &= 27,56\%
 \end{aligned}$$

Capacity factor yang terbentuk pada tahun 2014 adalah sebesar 27,56%, dengan energi listrik yang dihasilkan selama 1 tahun = 445,510,932 KWH atau sekitar 82% dari energi yang dihasilkan perhitungan rule curve tahun 2003 (544,920,701 KWH).

4.5.4. Prediksi Tahun 2018

Tahun 2018 juga diasumsikan sebagai tahun normal (interval antara 71,81 s/d 97,35) karena rerata debit tahunan sebesar 75,11 m³/detik.

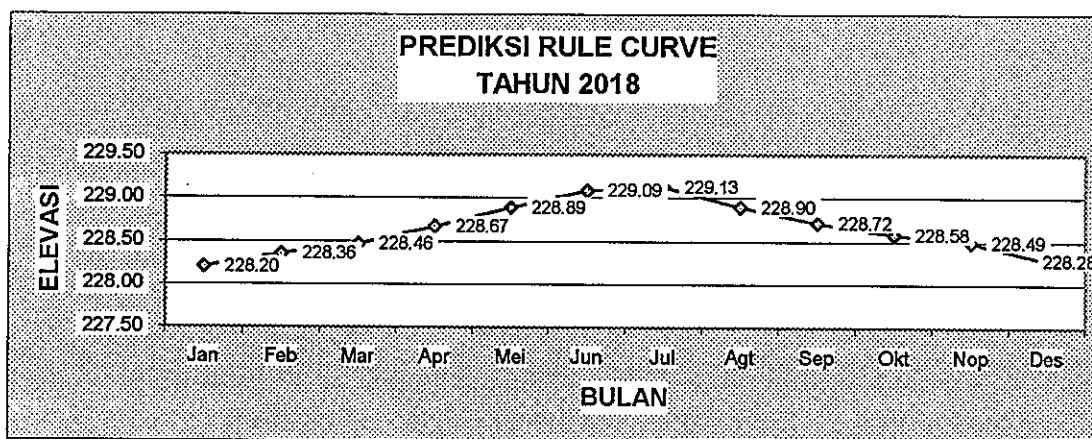
Pada tahun 2018 sedimentasi yang terjadi telah berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja waduk, hal ini karena air yang ada dalam tampungan waduk mengalami pelimpasan keluar secara otomatis.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.16 dibawah ini.

Tabel 4.17. Hasil Simulasi Perhitungan *Rule Curve* Tahun 2018

Bulan	Elv. m.a Waduk Awal	Volume Tampung (m ³)	Inflow (m ³)	Irigasi (m ³)	Turbin (m ³)	Sedimentasi (m ³)	Air Melimpas (m ³)	Elv. m.a Waduk Akhir
Jan	228,20	9.719.094	280.697.646	29.462.400	101.330.568	365.277	149.817.161	228,36
Feb	228,36	9.441.334	327.297.226	26.611.200	114.349.536	329.928	186.275.460	228,46
Mar	228,46	9.172.436	338.355.680	29.462.400	111.736.152	365.277	197.042.779	228,67
Apr	228,67	8.921.507	295.722.539	28.512.000	90.389.520	353.494	176.696.708	228,89
Mei	228,89	8.692.323	136.715.115	29.462.400	56.239.704	365.277	50.903.258	229,09
Jun	229,09	8.436.799	109.846.648	28.512.000	50.889.060	353.494	30.420.613	229,13
Jul	229,13	8.108.280	44.608.916	29.462.400	15.278.040	365.277	0	228,90
Agt	228,90	7.611.478	41.624.665	29.462.400	12.263.724	365.277	0	228,72
Sep	228,72	7.144.742	60.756.594	28.512.000	32.319.648	353.494	0	228,58
Okt	228,58	6.716.193	161.199.501	29.462.400	65.679.055	365.277	66.111.401	228,49
Nop	228,49	6.297.560	260.784.127	28.512.000	85.594.320	353.494	146.793.025	228,28
Des	228,28	5.828.848	297.110.167	29.462.400	102.247.250	365.277	165.524.224	228,20
Jumlah			2.354.718.825	346.896.000	838.316.578	4.300.847	1.169.584.631	

Sumber : data sekunder, diolah



Gambar 4.17. Prediksi *Rule Curve* Tahun 2018

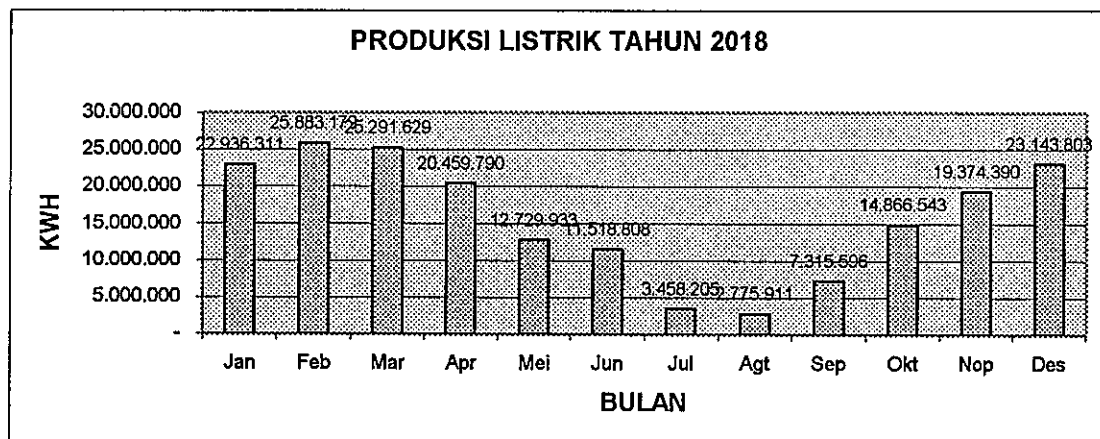
Tahun 2018 diprediksi merupakan masa terakhir waduk dapat beroperasi layak secara ekonomis. Dengan laju sedimen sebesar $\pm 4.300.847 \text{ m}^3$ per tahun telah membuat volume tampung terus berkurang setiap tahunnya dan puncaknya tahun 2018, dimana sedimentasi telah membuat volume tampung waduk menjadi tersisa hanya sebesar

9.445.587 m³ serta hanya $\pm 50\%$ debit inflow yang bisa dimanfaatkan, sedangkan sisanya terbuang lewat *spillway* volume

Dengan kondisi tersebut menyebabkan pada waktu mendatang waduk diprediksi sudah tidak layak operasi.

Gambar 4.16 menunjukkan *rule curve* yang terjadi pada tahun 2018 berkisar pada elevasi antara + 228,20 dpl hingga + 229,13 dpl. Pada awal bulan yaitu bulan Januari hingga bulan Juli *rule curve* menunjukkan pergerakan yang cenderung naik, tetapi setelah bulan bulan Juli menunjukkan pergerakan yang cenderung menurun hingga bulan Desember.

Produksi listrik yang dihasilkan selama tahun 2018 dapat dilihat pada gambar 4.18 dibawah ini :



Gambar 4.18. Visual Produksi Listrik Tahun 2018

Energi listrik yang dihasilkan pada tahun 2018 adalah sebesar 189.754.090 KWH sehingga *capacity factor* sebesar :

$$\begin{aligned}
 CF &= \frac{\Sigma \text{KWH Produksi Total Per Tahun}}{\Sigma \text{KW Beban Puncak} \times (8.760-1.464) \text{ jam}} \times 100\% \\
 &= \frac{189.754.090}{\dots} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 3 \times 61.500 \times 8.760 \\
 &= \frac{189.754.090}{1.616.220.000} \times 100\% \\
 &= 11,74\%
 \end{aligned}$$

Capacity factor yang terbentuk pada tahun 2018 adalah sebesar 11,74%, dan dengan energi listrik yang dihasilkan 189.754.000 KWH dan dengan energi listrik yang dihasilkan sesuai *rule curve* periode tahun 2003 sebesar. 544,920,701 KWH atau setara 35 %.

Rekapitulasi *Capacity Factor* adalah sebagai berikut :

TAHUN	CAPACITY FACTOR
2008	29.22 %
2013	28.60 %
2014	27.50 %
2018	11.74 %

4.6. KOMPARASI TERHADAP EKSISTING

Sebagai institusi pengelola, PT. INDONESIA POWER kantor Unit Bisnis Pembangkitan Mrica di Banjarnegara setiap tahun mengadakan perhitungan rencana rencana *rule curve* PLTA PB. Soedirman. Setelah PT. INDONESIA POWER, yang merupakan anak perusahaan PT. PLN (PERSERO) yang bergerak di bidang pembangkitan berdiri pada tahun 1998, kemudian diadakan kontrak kinerja antara PT. INDONESIA POWER kantor UBP Mrica dengan PT. PLN (PERSERO) Pusat Pengatur Beban Region Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta. Kontrak kinerja tersebut salah satunya berisi *rule curve* yang dijadikan acuan beroperasinya PLTA PB. Soedirman. Berikut ini komparasi cara-cara dan asumsi yang digunakan yang dibuat oleh PI. INDONESIA POWER dan hasil kajian. Tabel 4-17 adalah komparasi cara-cara dan asumsi yang digunakan dalam membuat *rule*

curve, sedang Tabel 4-18 adalah komparasi energi listrik yang dihasilkan apabila *rule curve* eksisting dihitung dengan cara simulasi..

Tabel 4-18 : Komparasi Asumsi yang digunakan Perhitungan *Rule Curve*

NO	BAGIAN KEGIATAN	PT. INDONESIA POWER	KAJIAN
1	Debit <i>inflow</i>	Mulai PLTA beroperasi, mulai tahun 1988 sampai dengan 2003	Mulai tahun 1955 sampai dengan 2003
2	Pengelompokan tahun	Tahun basah, tahun normal dan tahun kering	Tahun basah, tahun normal dan tahun kering
3	Cara menentukan kelompok tahun.	Siklus selalu berurutan dari tahun basah, tahun normal dan tahun kering	Pengelompokan tahun berdasarkan <i>range</i> data debit, diurutkan dari tertinggi sampai terendah sejak tahun 1955 sampai dengan 2003.
4	Prediksi debit setahun kedepan	Rata-rata dari aktual debit pada kelompok tahun yang sama mulai 1988	Rata-rata dari aktual debit pada kelompok tahun yang sama mulai 1955
5	Prediksi kelompok tahun untuk setahun yang akan datang	Siklus selalu berurutan dari tahun basah, tahun normal dan tahun kering	Menggunakan software excel dengan program/ formula forecast.
6	Pembuatan garis lintasan muka air waduk (Rule curve)	<ul style="list-style-type: none"> - Ditentukan debit rencana dengan distribusi bulanan. - Ditentukan elevasi terendah dan tertinggi muka air waduk yang terjadi pada bulan tertentu.. - Kemudian diinterpolasi antara elevasi muka air waduk terendah dan tertinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Ditentukan debit rencana dengan distribusi bulanan. - Ditentukan elevasi terendah dan tertinggi muka air waduk yang terjadi pada bulan tertentu.. - Simulasi operasi PLTA dengan variabel : unit turbin beroperasi, lama operasi dan debit operasi. - Sedimentasi sebagai faktor pengurang kapasitas waduk..

Sumber : Laporan Tahunan Hasil Energi Listrik Yang Dihasilkan PLTA PB Soedirman.

Kemudian dari Gambar 4.19, Komparasi energi listrik yang dihasilkan, terlihat hasil kajian mendapatkan prosentase yang lebih mendekati dengan hasil produksi listrik nyata (107,85% dibanding 109,53%).

Dari hasil komparasi tersebut di atas dapat diketahui bahwa hasil kajian ini lebih realistis dan lebih mendekati hasil nyata energi listrik yang dihasilkan.

Dari perbandingan tersebut di atas, terlihat bahwa :

- Asumsi yang digunakan dalam kajian ini lebih realistis dan lebih mendekati kondisi nyata di lapangan. Misalnya untuk menentukan *rule curve*, data yang lebih panjang, dihitung dengan cara simulasi serta sedimentasi digunakan sebagai salah satu parameter (Tabel 4-17).
- Dari hasil kajian rata-rata energi listrik yang dihasilkan lebih mendekati dengan realisasi dibandingkan eksisting (Tabel 4-18).

Dari perbandingan-perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa *rule curve hasil* kajian ini lebih realistis dibandingkan dengan *rule curve* eksisting.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jika diasumsikan laju sedimentasi relatif konstan pada angka $\pm 4,3$ juta m^3 per tahun, maka dari hasil analisis, maka mulai tahun 2014 kapasitas tampungan air waduk akan tidak menampung debit inflow secara utuh lagi sehingga secara otomatis akan selalu melimpas ke *spillway*.
2. Masa manfaat waduk efektif akan habis, dan itu terjadi pada tahun 2018. Apabila setelah tahun 2018 PLTA masih dioperasikan, maka seolah-olah akan berfungsi sebagai run off river.
3. Pada tahun 2018, *Capacity Factor* (CF) = ± 11 %, hal ini menunjukkan \pm sepertiga CF rata-rata PLTA PB Soedirman sampai saat ini, yaitu sebesar 32,58 %.
4. Dari hasil komparasi energi listrik yang di hasilkan, ternyata hasil ini lebih mendekati terhadap kondisi aktual besarnya hasil energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA PB Soedirman.

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran untuk PT. INDONESIA POWER antara lain adalah sebagai berikut :

1. Dalam hal prediksi *rule curve* setahun kedepan, dimana PT.INDONESIA POWER – UBP Mrica harus membuat kontrak kinerja dengan PT.PLN (PERSERO) Pusat Pengatur Beban, perlu mempertimbangkan hasil kajian ini untuk dijadikan acuan.

2. Karena laju sedimentasi yang cukup tinggi dan akan penurunan kinerja PLTA yang diperkirakan terjadi pada tahun 2014 dimana air akan selalu melimpas karena berkurangnya kapasitas waduk oleh sedimen maka agar masa manfaat waduk dapat diperpanjang, maka perlu segera diambil langkah-langkah untuk menghambat laju sedimentasi, yaitu misalnya dengan ::
 - Perbaiki lahan di DPS dan penghijauan dengan tanaman perdu di sekeliling daerah genangan;
 - Mungkin alternatif pembangunan PLTA Maung yang membendung sungai Merawu perlu dipikirkan lagi untuk direalisasikan. Seperti telah disebutkan di Bab terdahulu, bahwa kontribusi sungai Merawu terhadap laju sedimentasi sangat dominan, sehingga apabila dibangun dapat bersinergi dengan PLTA PB Soedirman.
 - Pembuatan bangunan-bangunan pengendalian sedimen (semacam check dam).
3. Dari penelitian ini menghasilkan bahwa masa manfaat waduk akan berkurang cukup besar dari perencanaan awalnya, sehingga institusi pengelola waduk PLTA PB Soedirman perlu mempertimbangkan langkah-langkah antisipasi yang diperlukan berdasarkan skala prioritas serta pertimbangan dan kemampuan sumber daya perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abinentaras Tarigan, *Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Kedung Ombo denga Program Linier*, Tesis Magister Teknik Sipil UNDIP 2001.
2. Alfredo, H.S. Ang, *Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa – Prinsip-prinsip Dasar*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.
3. Arismunandar, A Dr and Dr. S. Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik Jilid I Pembangunan dengan Tenaga Air*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1973
4. Bhattacharya, P.K. Dr, *Water Power Engineering*, Khana Publisher, B Nath Market Nai Sarak Delhi 6, 1977
5. Julien, Piere Y, *Erosion and Sedimentation*, Cambrige University Press, 1992
6. Kodoatie, Robert J, *Pengantar Hidrologi*, Andi Offset, Yogyakarta, 1996.
7. Linsley, Ray K, *Teknik Sumber Daya Air Jilid I*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
8. Morris, Gregory L, *Reservoir Sedimentation Handbook*, 1991
9. PT.PLN (Pesero) Distribusi Jawa Tengah dan DI Yogyakarta, *Rencana Jangka Panjang Perusahaan (RJPP) Tahun 2002 – 2006*.
10. PT.PLN (Pesero) Kantor Pusat, *Statistik PLN Tahun 1998*.
11. Soediby, Ir, *Teknik Bendungan*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1993
12. Suripin, *Penanganan Sedimentasi Waduk*, Jurnal Keairan ISSN 0854-4549 No 2 Tahun 6 Des 99
13. Sutrisno Hadi M.A., Prof, Drs, *Analisis Regresi*, Penerbit Andi, Yogyakarta 2000.