Vol. 11 No. 3 Juli 2004

Jurnal TEKNIK SIPIL

# Analisis Ketersediaan Air dan Sistem Operasi dengan Metode Dinamik Deterministik

**(Studi Kasus Waduk Sukawana – Sungai Cimahi)**

Azmeri[1])
Sri Legowo[2])
Iwan Kridasantausa[2])

**Abstrak**

*Metode simulasi dan optimasi merupakan dua metode yang sering digunakan dalam pengelolaan sumberdaya air. Dalam penulisan makalah ini metode tersebut digunakan untuk memperoleh suatu metode pemanfaatan sumberdaya air dari Waduk Sukawana pada Sungai Cimahi - Jawa Barat. Metode simulasi yang digunakan adalah untuk mencoba berbagai pemanfaatan kebutuhan air diantaranya air minum, irigasi, industri dan PLTMH mulai dari tahun 2003 sampai 2028. Dari simulasi neraca air untuk 2 (dua) alternatif yaitu untuk $Q_{80}$ diperoleh volume tampungan waduk untuk tahun 2003 (25,847x10$^6$ m$^3$), tahun 2008 (25,665 x10$^6$ m$^3$), tahun 2018 (26,277 x10$^6$ m$^3$) dan tahun 2028 (41,284 x10$^6$ m$^3$). Sedangkan untuk $Q_{50}$ diperoleh volume tampungan waduk untuk tahun 2003 (17,506 x10$^6$ m$^3$), tahun 2008 (17,325 x10$^6$ m$^3$), tahun 2018 (17,936x10$^6$ m$^3$) dan tahun 2028 (20,784 x10$^6$ m$^3$). Dari optimasi operasi waduk dengan program dinamik deterministik menghasilkan pola operasi untuk waduk Sukawana. Pada tahun basah, normal dan kering, storage bulan Januari dan Desember berada pada elevasi maksimum 1475m. Pada bulan Mei sampai September terjadi penurunan elevasi air di waduk. Taraf muka air normal dijadikan pedoman dalam menjalankan operasi waduk. Taraf muka air normal yang ditentukan sebagai permulaan adalah pada bulan Mei, dimana tinggi air waduk diusahakan mencapai elevasi maksimum Untuk mencegah bahaya banjir, muka air waduk antara bulan Oktober sampai dengan bulan April diusahakan di bawah elevasi maksimum*

**Kata-kata Kunci:** *simulasi neraca air, optimasi program linier, optimasi dinamik deterministik, Waduk Sukawana*

**Abstract**

*Simulation and optimation methods is often used in management of water resources. In this thesis, the methods are used to get method exploiting of water resources from accumulating Sukawana reservoir at River of Cimahi - West Java. Method Simulation is used to try various exploiting of amount of water required among others drinking water, irrigation, industrial and PLTMH start from year 2003 until 2028. From balance simulation for two alternativies that is for Q80 obtained by volume accomodate accumulating reservoir for year 2003 ( 25,847x106 m3), year 2008 ( 25,665 x106 m3), year 2018 ( 26,277 x106 m3) and year 2028 (41,284 x106 m3). For Q50 obtained by volume accomodate accumulating basin for year 2003 (17,506x106m3), year 2008 ( 17,325 x106 m3), year 2018 (17,936x106m3) and year 2028 (20,784 x106 m3). From optimation operate for accumulating reservoir with program of dinamic deterministic yield pattern operate for accumulating Sukawana reservoir. Wet in the year, dry and normal, January month moon storage capacity and December at maximum elevation 1475m. In May until September happened degradation of elevasi in accumulating basin. Normal water level which determined as start is in May, where is high of accumulating basin water laboured to reach maximum elevation. To prevent effect of floods, hence water level of accumulating basin during the month October up to April under of highest maximum elevation.*

**Keywords:** *water Balance Simulation, Linear Program Optimation, Deterministic Dinamics Optimation, Sukawana Reservoir.*

1. Mahasiswa Program Pascasarjana Rekayasa Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
2. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.

**Catatan :** Usulan makalah dikirimkan pada 8 Oktober 2004 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 26 Oktober 2004 – 7 Desember 2004. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 28 Nopember 2004 hingga 9 Nopember 2004.

## 1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan di segala sektor menyebabkan peningkatan kebutuhan akan air. Akan tetapi permasalahan konflik yang dihadapi dalam pendayagunaan sumber daya air adalah pengelolaannya yang harus tepat agar diperoleh hasil yang optimum.

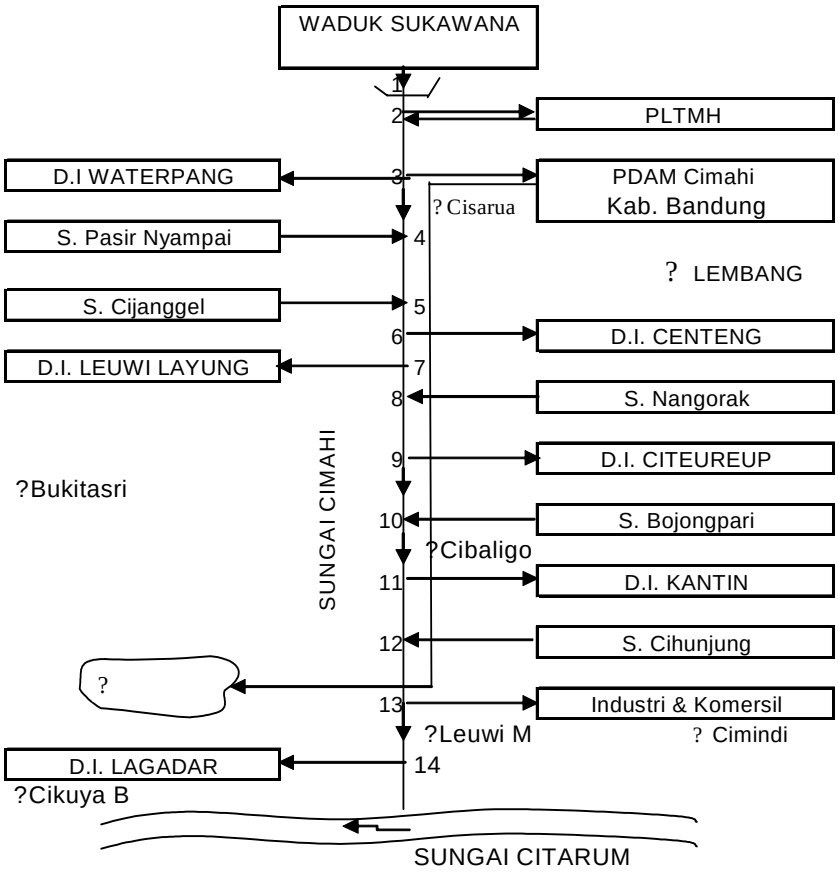
Kebutuhan akan air tidak selamanya terpenuhi oleh sumber daya air yang ada pada saat diperlukan. Oleh karenanya diperlukan tampungan untuk menyimpan kelebihan air pada saat kelebihan dan menyalurkannya pada waktu diperlukan. Salah satu bentuk tampungan tersebut adalah waduk. Dimana fungsinya menampung kelebihan air pada musim hujan dan menyalurkannya pada musim kemarau. Adanya waduk merubah pola aliran sedemikian rupa sehingga lebih bermanfaat bagi manusia dan lingkungannya. Dalam pengelolaan sumber daya air yang terbatas, dimana terjadi kekurangan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi dan air baku, maka dikehendaki cara operasi yang dapat memperkecil kekurangan tersebut.

Menurut Nahthan B. (1975) pengoptimalan operasi waduk tergantung dari fungsi dan masalah dari waduk yang ditinjau. Aspek yang ditinjau tersebut antara lain adalah:

- Aspek pemenuhan kebutuhan air di hilir waduk, yaitu:
  1. meminimumkan kekurangan air *(minimum shortage)*
  2. memaksimumkan penyaluran air *(maximum release)* atau memaksimalkan keuntungan.

## 2. Kajian Daerah Studi

Waduk Sukawana terletak pada sungai Cimahi dan merupakan waduk multi guna. Aliran air dari sungai Cimahi pada akhirnya akan bermuara di sungai Citarum. Secara administrasi waduk Sukawana ini terletak di Kampung Sukawana, Desa Karyawangi, Kecamatan Parongpong, Kabupaten Bandung. Skema inflow dan outflow disajikan pada **Gambar 1** berikut ini:




**Gambar 1. Skema *inflow* dan *outflow* sepanjang Sungai Cimahi**

**Legenda:**

: *Outflow*

: *Inflow*

1 s/d 14 : Penomoran titik simpul simulasi untuk simulasi

: Waduk

D.I : Daerah Irigasi

: Kota Cimahi

: Sungai Citarum

Inflow yang masuk ke waduk berasal dari sungai Cimahi dengan luas aliran sungai 19,840 km$^2$. Adapun data teknis waduk disajikan pada **Tabel 1.**

Sungai yang dijadikan inflow untuk waduk Sukawana adalah sungai Cimahi. Masukan untuk waduk Sukawana ini adalah untuk kurun waktu 34 tahun yaitu mulai tahun 1969 sampai dengan tahun 2002. Stasiun curah hujan yang berpengaruh dan terdekat dengan lokasi waduk adalah stasiun Sukawana, Lembang, Bandung, Margahayu II dan Dago-Bengkok. Sedangkan data klimatologi diperoleh dari stasiun klimatologi Bandung (Meteo).

## 3. Model Program Dinamik

Menurut Paul J. O. (1984) analisis sistem adalah suatu metode untuk mempelajari dan menganalisa berbagai aspek dari suatu sistem. Analisa sistem sumber daya air bertujuan untuk memodifikasikan bekalan air (water supply) yang tersedia secara alami. Menurut Cooper, Leon dan Mary W. (1981) dengan menggunakan metode analisis sistem, diharapkan air yang tersedia secara alami tersebut dan pengoperasiannya yang belum dilakukan secara optimal, dapat menjadi bekalan air yang dapat diandalkan dan didistribusikan secara optimal. Menurut John A.D dan Warren A.H. (1970) sistem adalah sekumpulan komponen yang fungsional dan saling berkaitan dengan beragam cara, dimana sistem tersebut memerlukan input dan menghasilkan output.

Metode simulasi yang digunakan pada penulisan jurnal ini adalah dengan menggunakan hukum keseimbangan air (*water balance*). Prinsip dasar simulasi untuk daerah aliran sungai yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Metode simulasi yang digunakan pada penulisan jurnal ini adalah dengan menggunakan hukum keseimbangan air *(water balance).* Prinsip dasar simulasi untuk daerah aliran sungai yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{S_j - S_{j-1}}{dt} \quad (2)$$

dimana : I = aliran masuk (m$^3$);

O = aliran keluar (m$^3$);

dS/dt = perubahan tampungan terhadap fungsi waktu;

j = 1, 2, …,12; bulan dalam tahun tertentu;

S = volume waduk sesuai dengan elevasi tertentu (akhir dan awal waktu pengoperasian).

Teknik optimasi adalah proses sistematik yang bergantung dari algoritma optimasi untuk memperoleh

**Tabel 1. Data teknis waduk**

| Parameter | Besaran |
|---|---|
| Elevasi muka air maksimum (m) | +1475 |
| Volume air maksimum (m$^3$) | 1.772.803,25 |
| Elevasi muka air minimum (m) | +1435 |
| Volume air minimum (m$^3$) | 52.031,50 |
| Luas genangan (ha) | 13,23 |
| Luas DPS (km$^2$) | 19,840 |
| Panjang waduk (m) | 100 |
| Lebar mercu (m) | 8 |

Sumber: Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA), Tahun 2003

hasil terbaik. Model optimasi juga disebut sebagai model pengambilan keputusan, dimana pada dasarnya mempunyai sistematika kerja yang membandingkan semua keputusan-keputusan yang dapat dilaksanakan dan pada tahap akhir dapat dipilih satu alternatif yang terbaik.

## 4. Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air

Selain dari DPS bendungan Sukawana, ada beberapa sumber inflow yang memberikan sumbangan dalam ketersediaan air. Sumber inflow tersebut untuk memenuhi berbagai kebutuhan untuk kota Cimahi dan 2 (dua) kecamatan di kabupaten Bandung. Untuk lebih jelasnya debit rata-rata bulanan Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Sukawana dapat dilihat pada **Gambar 2**. Sedangkan debit bulanan untuk 34 tahun DPS Sukawana disajikan pada **Gambar 3.**

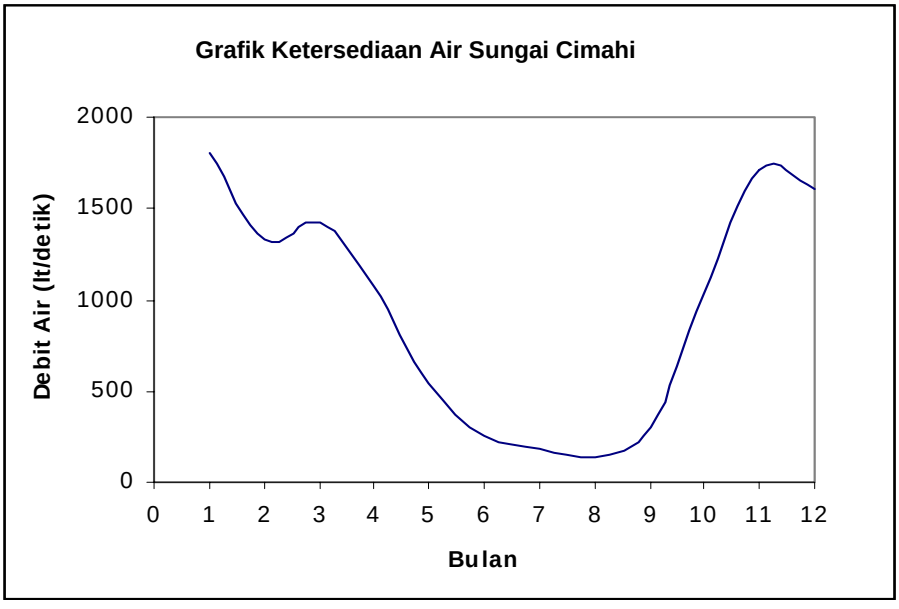
Waduk Sukawana merupakan waduk multiguna yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air minum, irigasi, industri dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Pusat-pusat pengambilan air dari sebelah hulu sungai adalah PLTMH untuk kota Cimahi. Selanjutnya di sebelah kanan sungai Cimahi terdapat pengambilan untuk Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) kota Cimahi dan 2 (dua) kecamatan di kabupaten Bandung. Di sebelah kiri sungai Cimahi terdapat daerah irigasi Waterpang. Di sebelah hilir daerah irigasi Waterpang dilakukan penggelontoran/ maintenance flow. Semakin ke hilir, di sebelah kanan sungai Cimahi terdapat daerah irigasi Centeng dan di sebelah kiri terdapat daerah irigasi Leuwi Layung. Setelah dilakukan pengambilan di kedua daerah irigasi tersebut, kemudian kembali dilakukan penggelontoran. Selanjutnya di sebelah kanan terdapat daerah irigasi Citeureup. Semakin ke hilir di sebelah kanan sungai Cimahi terdapat daerah irigasi Kantin. Di sebelah hilir daerah irigasi Kantin, terdapat daerah industri dan komersial di daerah Cimindi yang mempunyai debit pengambilan berbeda untuk tiap-tiap bulannya. Selanjutnya terdapat daerah irigasi Lagadar. Di hilir daerah irigasi Lagadar kembali dilakukan penggelontoran.

Besarnya kebutuhan air total untuk tahun 2003 dan proyeksi jangka pendek, menengah dan panjang sampai tahun 2028 dalam bentuk grafik kebutuhan air untuk DMI (Domestik, Municipal, Industri) dan kebutuhan air untuk irigasi selengkapnya disajikan pada **Tabel 2** dan **Gambar 4**.

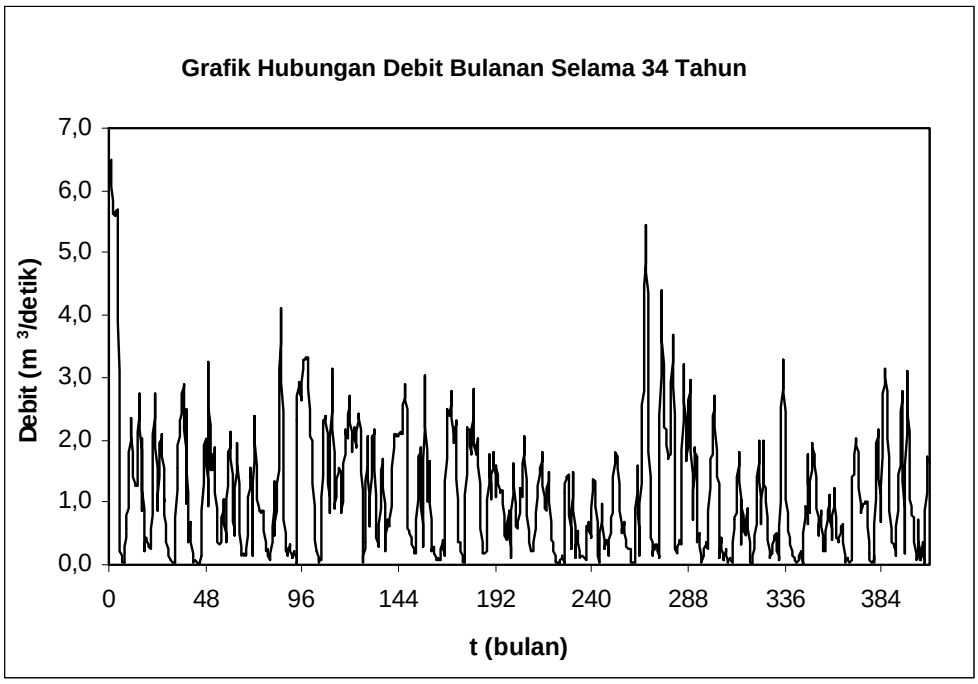
**Tabel 2. Kebutuhan air irigasi dan DMI**

| Tahun | Kebutuhan air irigasi ($m^3$) | Kebutuhan air DMI ($m^3$) | Kebutuhan total ($m^3$) |
|---|---|---|---|
| 2003 | 17.397.153,090 | 4.843.559,088 | 22.240.712,18 |
| 2008 | 16.110.275,562 | 5.323.525,721 | 21.436.522,72 |
| 2018 | 13.294.283,277 | 6.743.816,028 | 20.045.961,08 |
| 2028 | 10.970.511,781 | 8.546.377,583 | 19.528.013,27 |

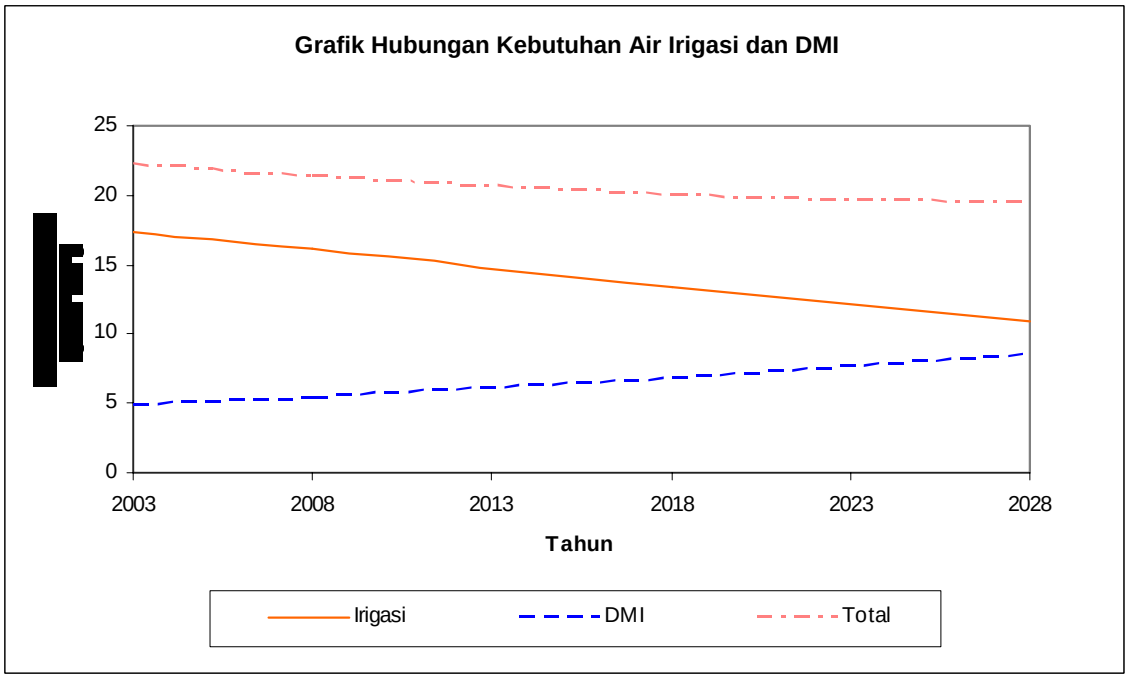
Sumber: Hasil analisis




**Gambar 2. Grafik debit ketersediaan air di Sungai Cimahi**




**Gambar 3. Debit bulanan DPS Sukawana 34 tahun**




**Gambar 4. Grafik hubungan kebutuhan air irigasi dan DMI**

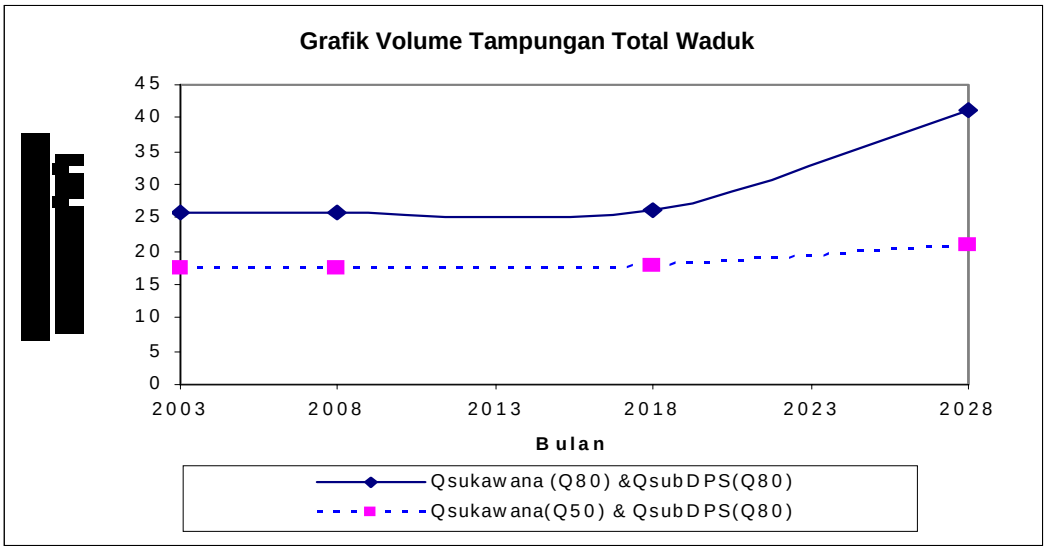
## 5. Analisis dan Diskusi

Simulasi neraca air pada studi ini bertujuan untuk memadukan antara ketersediaan dengan menggunakan debit rata-rata bulanan dan debit $Q_{80}$ dengan kebutuhan air dari berbagai jenis kebutuhan. Pada titik kontrol, pertemuan antara debit ketersediaan *(inflow)* dan pengambilan air *(demand)*, dilakukan proses penambahan/pengurangan dan sisa *(surplus/defisit)*. Proses simulasi tersebut diurut mulai dari hulu sampai ke hilir sungai.

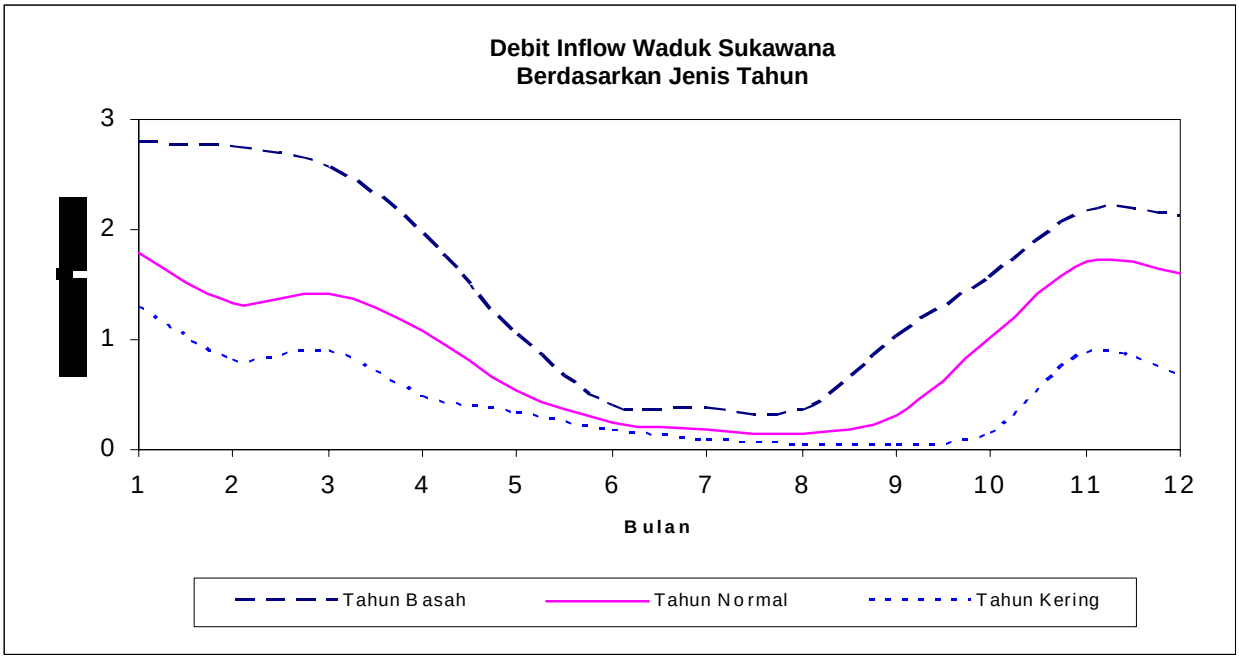
Dari hasil simulasi neraca air untuk perhitungan debit $Q_{80}$ dan $Q_{50}$ serta dari perhitungan rekapitulasi simulasi neraca air terjadinya fluktuasi besarnya volume tampungan waduk untuk tahun 2003 sampai dengan 2028. Hasil rekapitulasi besarnya volume tampungan waduk Sukawana selengkapnya disajikan pada **Gambar 5.**

Program dinamik deteministik menggunakan hanya satu inflow pada setiap *stage* untuk satu kali perhitungan. Nilai inflow yang digunakan berdasarkan pembagian jenis tahun dan dilakukan untuk operasi bulanan. Pada program determninistik ditentukan juga tampungan pada awal dan akhir bulan. Status sistem ditunjukkan dengan level tampungan.

Dalam perencanaan pengoperasiaan waduk dengan program dinamik deterministik, perhitungan inflow didasarkan atas jenis tahun basah, normal dan kering disajikan **Gambar 6**.




**Gambar 5. Grafik volume tampungan total Waduk Sukawana**




**Gambar 6. Grafik debit inflow Waduk Sukawana berdasarkan jenis tahun**

Untuk mewakili semua kemungkinan tampungan yang terjadi, maka pada tampungan didiskritisasi menjadi 12 level tampungan. Selang nilai minimum dan maksimum volume tampungan aktif dibagi dengan selang level yang sama. Nilai yang mewakili setiap level disebut nilai representatif. Nilai tampungan representatif terbesar sama dengan nilai *maximum storage* dan nilai tampungan representatif terkecil sama dengan nilai *minimum storage.* Nilai tampungan representatif untuk level tampungan pada program dinamik deterministik disajikan pada **Tabel 3**.

Pola operasi pada program dinamik determininstik ditunjukkan dengan elevasi yang harus dicapai pada setiap bulan untuk setiap jenis tahun. Hasil pola operasi dan nilai shortage untuk tahun basah, kering dan normal disajikan pada **Gambar 7, 8 dan 9.**

Dari grafik pola operasi perhitungan program dinamik deterministik forward untuk tahun basah, pada bulan Juni, Juli dan Agustus level tampungan St berada pada tingkat 6 (enam). Sedangkan pada bulan September sampai dengan Mei, level tampungan St berada pada tingkat 12 (duabelas).

Pada grafik pola operasi perhitungan program dinamik deterministik forward untuk tahun normal, pada bulan Mei level tampungan St berada pada tingkat 9 (sembilan), pada bulan Juni level tampungan St berada pada tingkat 4 (empat), pada Juli dan Agustus level tampungan St berada pada tingkat 3 (tiga). Sedangkan pada bulan September level tampungan St kembali naik dan berada pada tingkat 5 (lima). Dari bulan Oktober sampai April level tampungan St berada pada tingkat 12 (duabelas).

Dari grafik pola operasi perhitungan program dinamik deterministik forward untuk tahun basah, pada bulan Juni, Juli dan Agustus level tampungan St berada pada tingkat 6 (enam). Sedangkan pada bulan September sampai dengan Mei, level tampungan St berada pada tingkat 12 (duabelas).

Pada grafik pola operasi perhitungan program dinamik deterministik forward untuk tahun normal, pada bulan Mei level tampungan St berada pada tingkat 9 (sembilan), pada bulan Juni level tampungan St berada pada tingkat 4 (empat), pada Juli dan Agustus level tampungan St berada pada tingkat 3 (tiga). Sedangkan pada bulan September level tampungan St kembali naik dan berada pada tingkat 5 (lima). Dari bulan Oktober sampai April level tampungan St berada pada tingkat 12 (duabelas).

Pada grafik pola operasi perhitungan program dinamik deterministik forward untuk tahun kering, pada bulan April level tampungan St berada pada tingkat 8 (delapan), pada bulan Mei St berada pada tingkat 6 (enam), pada bulan Juni dan Oktober St berada pada tingkat 3 (tiga), pada Juli St berada pada tingkat 2 (dua), pada bulan Agustus dan September St berada pada tingkat 1 (satu). Sedangkan pada bulan Januari, Februari, Maret, November dan Desember level tampungan St berada pada tingkat 12 (duabelas). Besar volume dan durasi shortage disajikan pada **Tabel 4** dan **Gambar 10.**

Selain pola operasi, dari perhitungan optimasi program dinamik deterministik juga diperoleh besarnya persamaan shortage dan rekursif yang terjadi pada tahun basah, normal dan kering. Besarnya shortage dan rekursif disajikan pada **Gambar 11, 12 dan 13.** Sedangkan status sistem waduk Sukawana yang ditunjukkan dengan elevasi tampungan berupa grafik pola operasi berikut ini disajikan pada **Gambar 14**.

**Tabel 3. Diskritisasi level tampungan Waduk Sukawana**

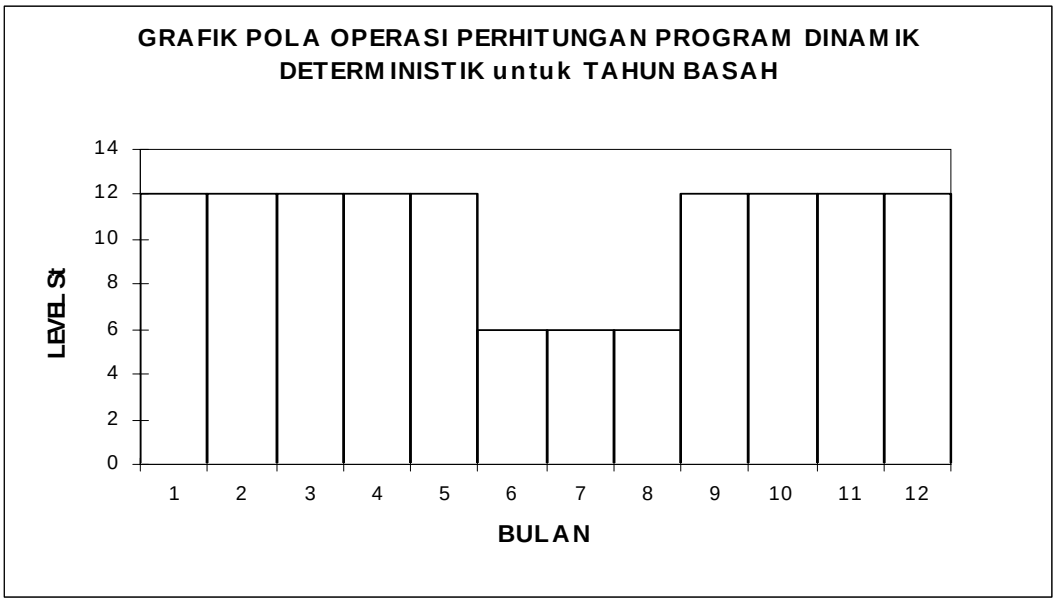
| Level tampungan | Volume ($m^3$) |
|---|---|
| 1 | 52031,50 |
| 2 | 221951,76 |
| 3 | 391872,02 |
| 4 | 561792,29 |
| 5 | 731712,55 |
| 6 | 901632,81 |
| 7 | 1071553,07 |
| 8 | 1241473,33 |
| 9 | 1411393,60 |
| 10 | 1581313,86 |
| 11 | 1751234,12 |
| 12 | 1772803,25 |

Sumber: Hasil analisis

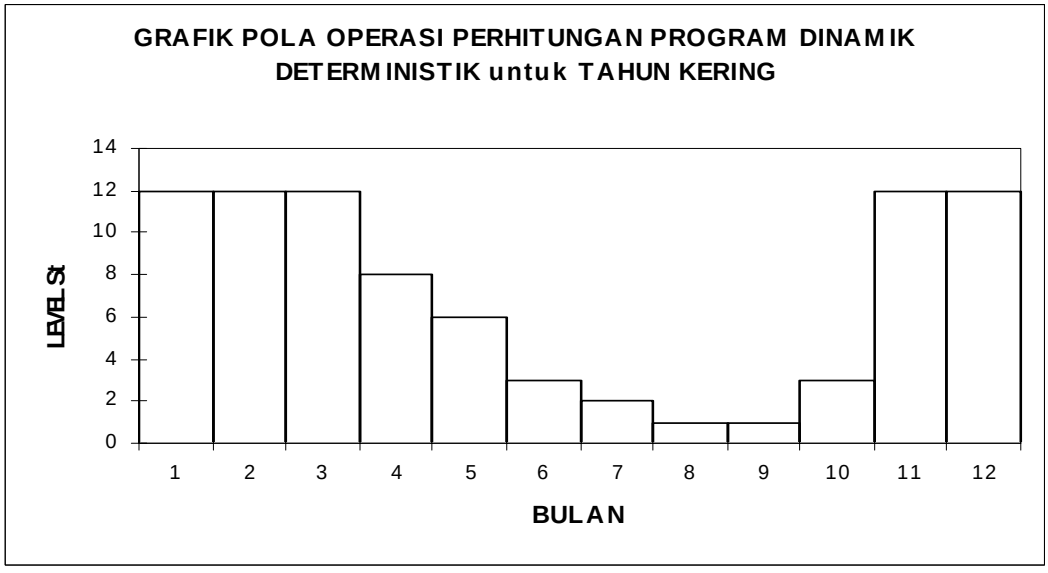
**Tabel 4. Shortage pada tahun basah, normal dan kering**

| Tahun operasi | Shortage | | Kehandalan | |
|---|---|---|---|---|
| | Total volume ($m^3$) | Durasi (bulan) | Total volume (%) | Durasi (%) |
| Basah (B) | 3.539.827 | 3 | 94,025 | 75 |
| Normal (N) | 3.582.604 | 3 | 91,782 | 75 |
| Kering (K) | 3.693.652 | 3 | 88,992 | 75 |

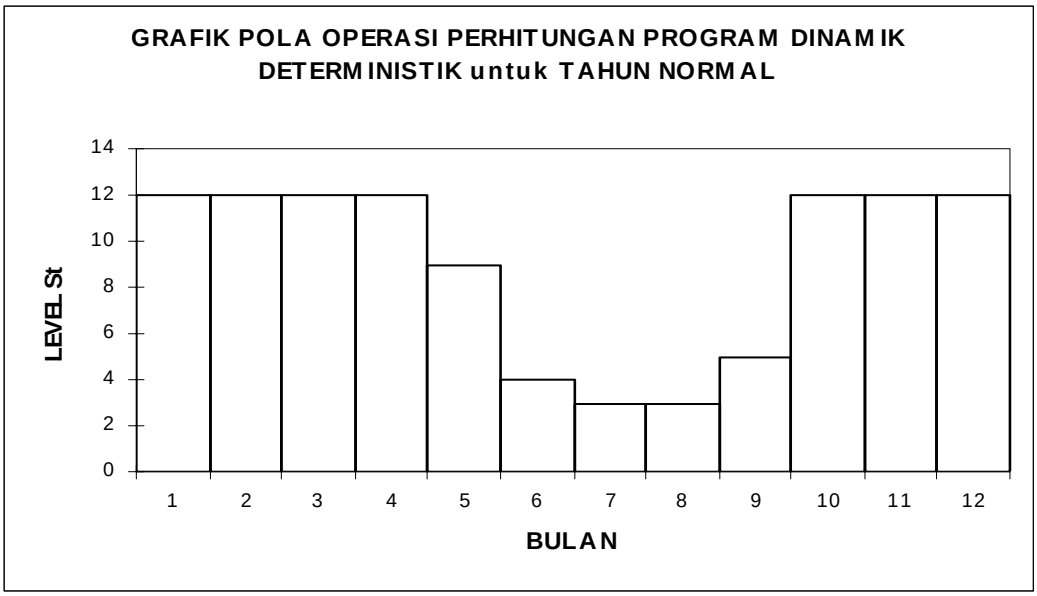
Sumber: Hasil analisis



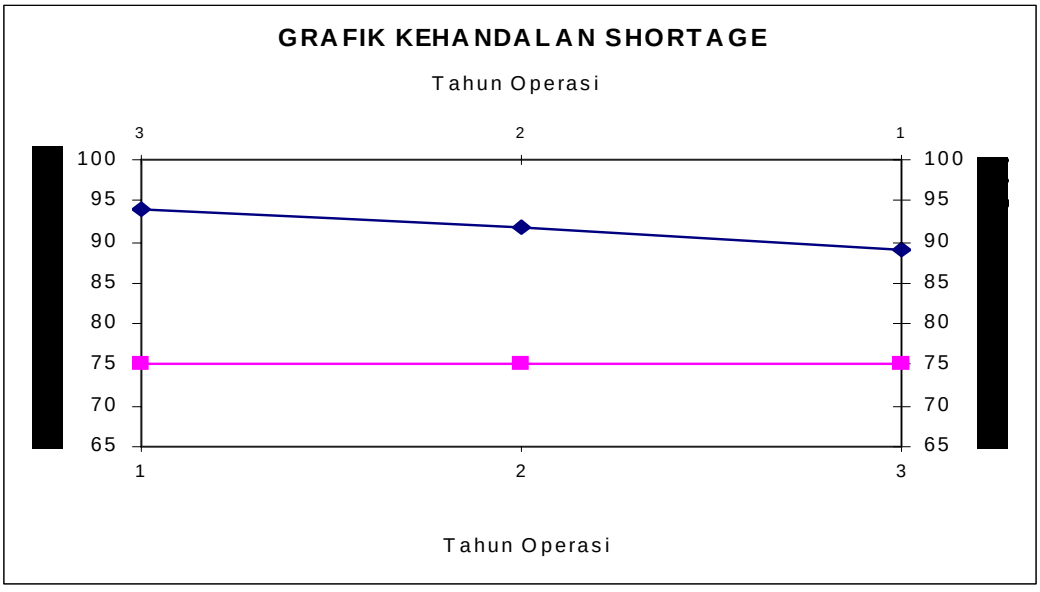

**Gambar 7. Grafik pola operasi tahun basah**



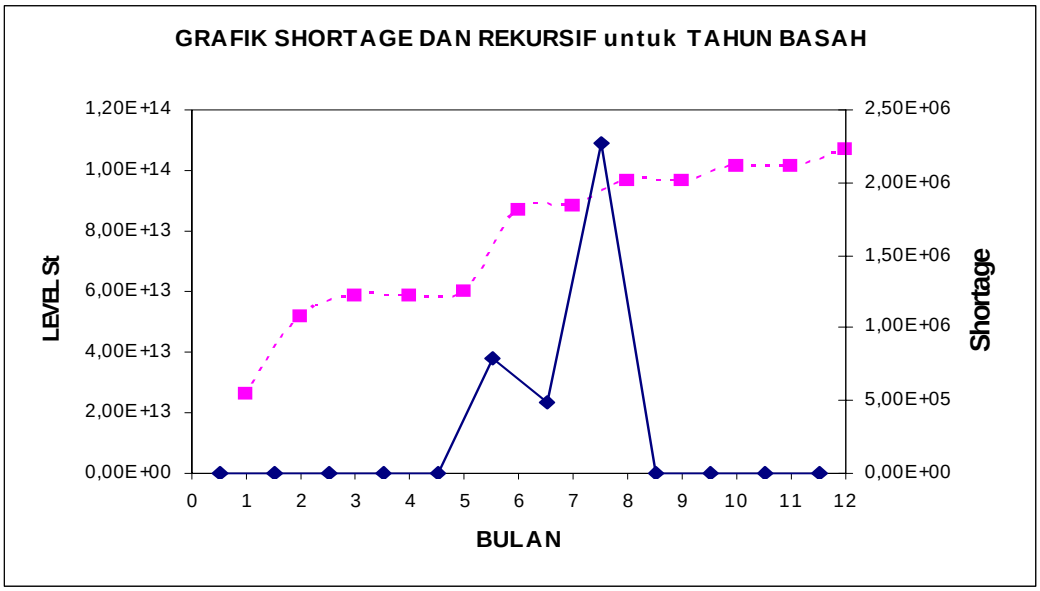

**Gambar 8. Grafik pola operasi tahun kering**



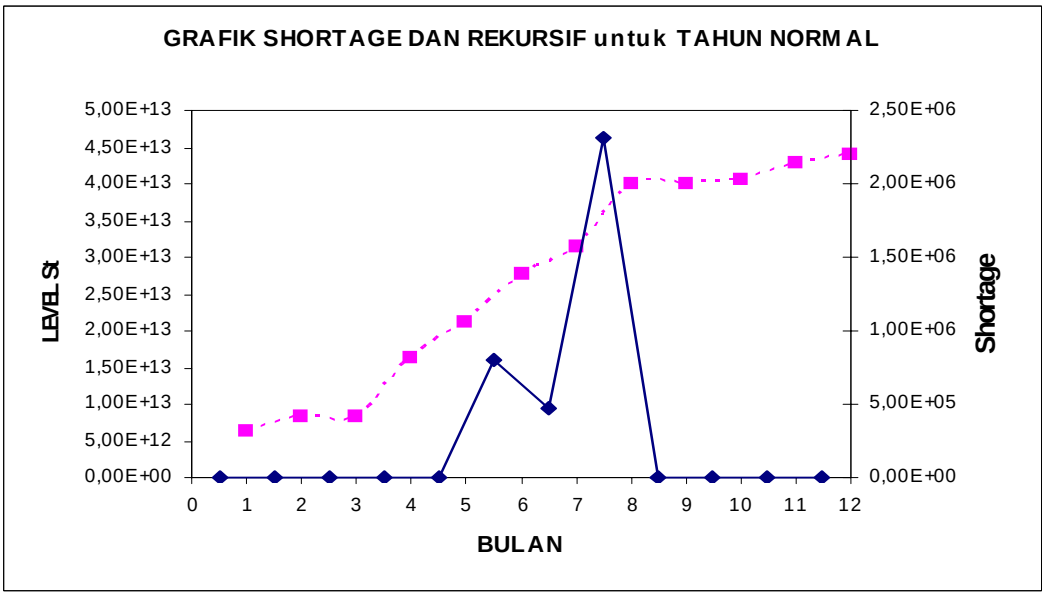

**Gambar 9. Grafik pola operasi tahun normal**



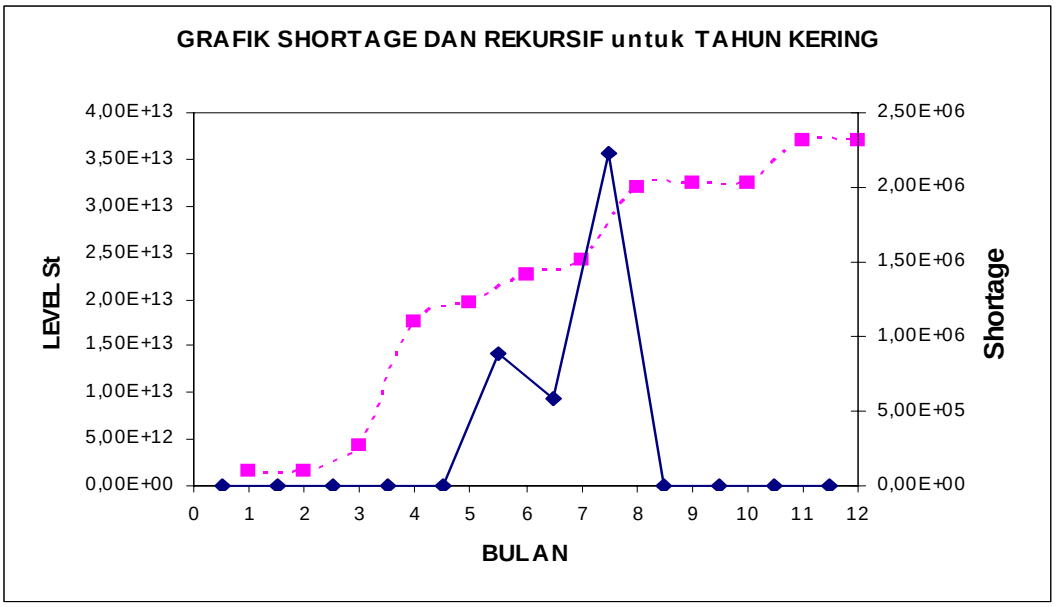

**Gambar 10. Grafik kehandalan shortage**



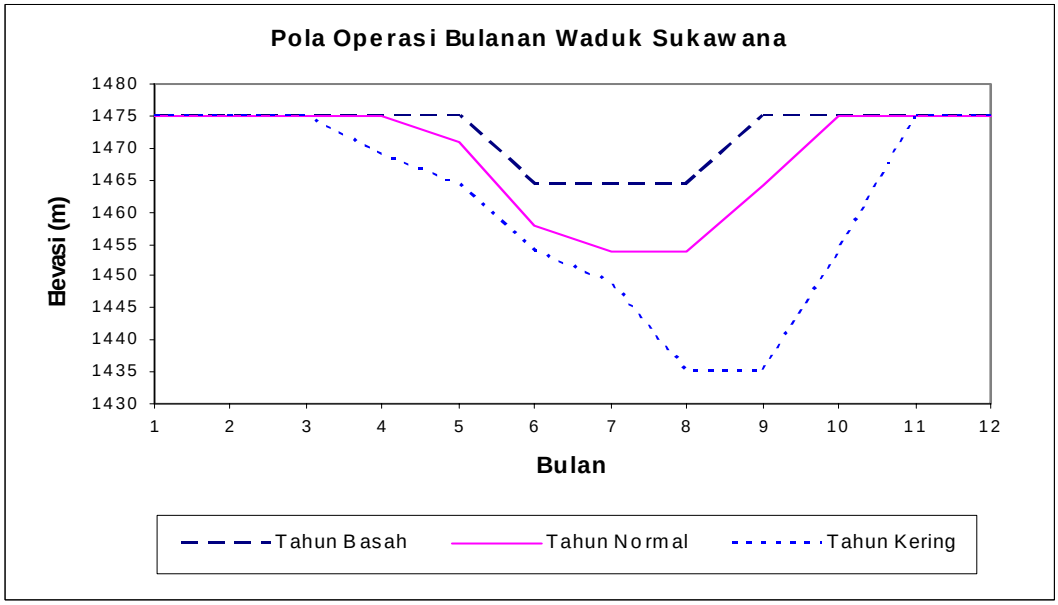

**Gambar 11. Shortage dan rekursif tahun basah**




**Gambar 12. Shortage dan rekursif tahun normal**




**Gambar 13. Shortage dan rekursif tahun kering**




**Gambar 14. Pola operasi tahun basah, normal, dan kering**

Pola operasi Waduk Sukawana dilaksanakan dengan mengacu pada pedoman operasi Waduk Sukawana. Pada tahun basah, normal dan kering, jika storage bulan Januari jatuh pada elevasi 1475m, maka storage pada bulan Desember akan jatuh pada elevasi 1475 m. Hanya saja pada bulan Mei sampai September terjadi penurunan elevasi air di waduk. Hal ini mengakibatkan pola pengoperasian waduk juga mengalami perubahan.

Taraf muka air normal perlu dijadikan pedoman dalam menjalankan operasi waduk. Taraf muka air normal yang ditentukan sebagai permulaan adalah pada bulan Mei, dimana tinggi air waduk diusahakan mencapai elevasi maksimum. Hal ini disebabkan karena pada bulan tersebut pemakaian air melebihi debit yang masuk waduk dan untuk menjamin kebutuhan air pada bulan berikutnya. Taraf muka air minimum sedapat mungkin tidak dilampaui lebih rendah. Hal ini dimaksudkan sebagai tindakan pembatasan, agar pada waktu debit pemasukan ke waduk kurang. Sehingga taraf muka air tidak terlalu rendah terutama pada musim kemarau.

Taraf muka air maksimum sedapat mungkin tidak dilampaui lebih tinggi. Hal ini untuk menjaga agar apabila terjadi banjir yang besar tidak akan menimbulkan bahaya. Untuk mencegah bahaya akibat banjir, muka air waduk antara bulan Oktober sampai dengan bulan April diusahakan di bawah air tertinggi elevasi. +1475m.

## 6. Kesimpulan

Jenis kebutuhan air pada hilir waduk Sukawana adalah untuk air Domestik, Municipal, Industri (DMI), dan irigasi. Jumlah kebutuhan air untuk tahun 2003 masing-masing adalah DMI sebesar 4.843.559,100 $m^3$ dan untuk irigasi adalah sebesar 17.397.153,09 $m^3$, sehingga besarnya kebutuhan total pada tahun 2003 adalah sebesar 22.240.712,18 $m^3$. Peningkatan kebutuhan air mendatang didasarkan pada laju pertumbuhan penduduk (i=2,46%pertahun) dan perkembangan kawasan industri dan komersil (i=2,42%pertahun). Khusus untuk kebutuhan air irigasi terjadi penurunan luas lahan irigasi (i=1,899% pertahun), hal tersebut terjadi karena adanya alih fungsi areal pertanian menjadi kawasan pemukiman, industri dan komersil.

Pohon kebutuhan air disajikan secara bulanan yang meliputi jenis kebutuhan, besar dan tempat (lokasi pusat pengambilan air) mulai dari hulu (waduk Sukawana) sampai dengan muara sungai Cimahi. Jumlah total kebutuhan air mendatang, diproyeksikan untuk jangka pendek (tahun 2008) adalah sebesar 22.720.678,81 $m^3$; untuk jangka menengah (tahun 2018) adalah sebesar 22.856.813,03 $m^3$; dan untuk jangka panjang (tahun 2028) adalah sebesar 21.484.522,63 $m^3$.

Hasil simulasi alokasi air menghasilkan defisit dan surplus air pada tiap titik kontrol pada tahun 2003 untuk surplus=154,866 $x10^6$ $m^3$ dan defisit=17,489$x10^6$ $m^3$; jangka pendek (tahun 2008) untuk surplus=154,899 $x10^6$ $m^3$ dan defisit=17,307$x10^6$ $m^3$; untuk jangka menengah (tahun 2018) untuk surplus=152,297 $x10^6$ $m^3$ dan defisit=17,919$x10^6$ $m^3$; dan untuk jangka panjang (tahun 2028) untuk surplus=146,186 $x10^6$ $m^3$ dan defisit=120,766$x10^6$ $m^3$. Dari hasil perhitungan simulasi alokasi air tersebut diperoleh volume tampungan waduk. Volume tampungan waduk mengalami peningkatan dari tahun 2003 sampai tahun 2028.

Hasil optimasi operasi waduk dengan program dinamik deterministik menghasilkan pola operasi waduk untuk tahun basah, normal dan kering. Storage bulan Januari dan Desember berada pada elevasi maksimum 1475 m. Pada bulan Mei sampai September terjadi penurunan elevasi air di waduk. Hal ini mengakibatkan pola pengoperasian waduk juga mengalami perubahan.

## Daftar Pustaka

Cooper, Leon, Mary, W.,1981, "*Introduction to Dynamic Programming*", Pergamon Press, USA.

John, A.D., Warren, A.H., 1970, "*Water Resources Systems Engineering*", McGraw Hill, USA.

Nahthan, B., 1975, "*Scientific Allocation of Water Resources*", American Elsevier Publishing Company, Inc New York.

Paul, J.O., 1984, "*System Analysis for Civil Engineering*", University of New Humpshire, Durham-New Hampshire.

## LAMPIRAN

**Tabel 5. Debit ketersediaan air Sungai Cimahi**

| Bulan | Debit rata-rata bulanan (liter/detik) |
|---|---|
| 1 | 4177,874 |
| 2 | 3043,078 |
| 3 | 3245,941 |
| 4 | 2145,021 |
| 5 | 1315,111 |
| 6 | 601,845 |
| 7 | 406,391 |
| 8 | 265,657 |
| 9 | 532,886 |
| 10 | 1264,923 |
| 11 | 3148,196 |
| 12 | 2557,406 |

**Tabel 6. Debit inflow Waduk Sukawana berdasarkan jenis tahun**

| Bulan | Debit berdasarkan jenis tahun ($m^3$/detik) | | |
|---|---|---|---|
| | Tahun basah | Tahun normal | Tahun kering |
| Januari | 2,797 | 1,799 | 1,300 |
| Februari | 2,755 | 1,335 | 0,821 |
| Maret | 2,561 | 1,427 | 0,901 |
| April | 1,956 | 1,074 | 0,483 |
| Mei | 1,035 | 0,541 | 0,337 |
| Juni | 0,395 | 0,258 | 0,160 |
| Juli | 0,381 | 0,191 | 0,079 |
| Agustus | 0,354 | 0,137 | 0,038 |
| September | 1,013 | 0,303 | 0,035 |
| Oktober | 1,558 | 1,026 | 0,152 |
| November | 2,170 | 1,712 | 0,868 |
| Desember | 2,132 | 1,611 | 0,673 |

**Tabel 7. Volume tampungan Waduk Sukawana hasil simulasi air**

| Tahun | Volume tampungan waduk hasil simulasi air ($x10^6 m^3$) | |
|---|---|---|
| | $Q_{80}$ | $Q_{50}$ |
| 2003 | 25,830 | 17,489 |
| 2008 | 25,648 | 17,307 |
| 2018 | 26,259 | 17,919 |
| 2028 | 41,267 | 20,766 |