

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Pengoperasian waduk tunggal

**Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman ini termasuk dalam Gugus Kerja Hidraulika, Hidrologi, Lingkungan, Air Tanah dan Air Baku pada Sub Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 10 September 2003 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini menyajikan tentang pengoperasian waduk tunggal serta prosedur yang diperlukan dalam penyusunan kurva pola operasi dan pengoperasian waduk tunggal.

Dengan diterbitkannya pedoman ini para perencana dan pelaksana pekerjaan dalam merencanakan mengoperasikan waduk tunggal dapat menyesuaikannya dan melakukan sesuai dengan prosedur yang tertuang dalam pedoman ini.

Daftar isi

Prakata	i
Daftar isi	ii
Pendahuluan	iii
1. Ruang lingkup	1
2. Acuan normatif	1
3. Istilah dan definisi	1
4. Hal-hal yang diperlukan dalam penyusunan pola operasi waduk	2
4.1 Klasifikasi penggunaan waduk	2
4.2 Karakteristik waduk	3
4.3 Penentuan kapasitas waduk	3
4.4 Masukan air (<i>inflow</i>) ke waduk	3
4.5 Keluaran (<i>outflow</i>) dari waduk	4
4.6 Prakiraan sedimentasi	5
5. Penyusunan pola operasi waduk	6
5.1 Persamaan dasar dalam simulasi waduk	6
5.2 Pendekatan dalam pola operasi waduk	6
5.3 Metode dalam penyusunan pola operasi waduk	6
6. Prosedur dalam penyusunan/pembuatan pola operasi dan pengoperasian waduk tunggal	8
6.1 Prosedur penyusunan/pembuatan pola operasi waduk	8
6.2 Prosedur pola pengoperasian waduk tunggal	9
Lampiran A. Contoh penentuan kapasitas waduk	11
Lampiran B. Contoh penentuan inflow kondisi basah, normal, kering	14
Lampiran C. Contoh penghitungan kebutuhan air	18
Lampiran D. Contoh penghitungan pengoperasian waduk	23
Lampiran E. Daftar nama dan lembaga	27
Bibliografi	28

Pendahuluan

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan air dan menurunnya pasokan air pada musim kemarau, diperlukannya suatu tampungan yang mampu menampung kelebihan air pada musim hujan, dan mendistribusikannya pada musim kemarau.

Untuk pengaturan pendistribusian air secara optimal, diperlukan suatu pedoman pengoperasian waduk. Banyak hal yang berpengaruh dan harus diperhatikan dalam penyusunan kurva pola operasi dan pengoperasian waduk, antara lain, masukan air ke waduk, karakteristik waduk, keluaran air dari waduk, metode, serta pendekatan yang dipergunakan dalam mengoptimalkan pengoperasian waduk tersebut.

Pedoman ini memuat aspek-aspek yang berkaitan dengan penyusunan kurva pola pengoperasian waduk, pola operasi, dan contoh penghitungan yang dibahas pada bab-bab dan lampiran.

Pengoperasian waduk tunggal

1 Ruang lingkup

Pedoman ini dimaksudkan untuk memudahkan perencana/pelaksana pengoperasian dalam menyusun pola operasi dan pengoperasian waduk tunggal.

Ruang lingkup pedoman ini menguraikan tentang pengoperasian waduk tunggal dengan berbagai hal-hal yang perlu diketahui/ditentukan sebelumnya antara lain :

- Klasifikasi pemanfaatan waduk
- Penentuan kapasitas waduk
- *Inflow* ke waduk dan *outflow* dari waduk
- Kendala yang dihadapi
- Pendekatan dan metode dalam penyusunan pola operasi waduk
- Prosedur pembuatan pola operasi waduk
- Prosedur operasi waduk

2 Acuan normatif

- SNI 03-2821-1992 : Metode penghitungan evapotranspirasi potensial dengan panci penguapan kelas A.
- SNI 03-6737-2002 : Metode perhitungan awal laju sedimentasi waduk.

3 Istilah dan definisi

3.1 Daerah pengaliran sungai (DPS) adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah terutama dibatasi oleh punggung-punggungan bukit dimana air meresap dan atau mengalir dalam suatu sistem pengaliran melalui lahan, anak sungai dan sungai induknya.

3.2 Debit aliran adalah volume air yang mengalir melalui penampang melintang sungai atau saluran dalam satuan waktu tertentu, dinyatakan dalam satuan l/det atau m³/det.

3.3 Kapasitas tampungan (*storage capacity*) adalah kemampuan suatu waduk menampung sejumlah air sampai pada tinggi normal.

3.4 Tinggi normal adalah elevasi muka air sampai elevasi mercu, dinyatakan dalam satuan meter (m).

3.5 Tinggi muka air minimum adalah elevasi muka air terendah suatu waduk. Pada elevasi ini waduk tidak dapat dioperasikan lagi. Satuan yang dipakai adalah meter (m).

3.6 Tinggi Muka Air (TMA) waduk adalah tinggi muka air waduk atau danau yang diukur dengan alat ukur yang dipasang di tepinya. TMA waduk berkaitan/dihubungkan dengan volume atau luas permukaan waduk atau danau.

3.7 Luas genangan adalah luas permukaan genangan air dalam suatu waduk atau danau. Satuan yang dipergunakan biasanya hektar (ha) atau kilometer persegi (km²).

3.8 Kurva elevasi–luas permukaan waduk–tampungan adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara Tinggi Muka Air (TMA), luas permukaan waduk dan volume waduk.

3.9 Pola operasi waduk adalah patokan operasional bulanan suatu waduk di mana debit air yang dikeluarkan oleh waduk harus mengikuti ketentuan agar elevasinya terjaga sesuai dengan rancangan.

3.10 Tahun normal adalah tahun pada saat debit air yang masuk ke waduk merupakan debit rata-rata dari data pengamatan yang terjadi, yang deviasinya berkisar antara nilai rata-rata + σ y sampai - σ y. Nilai σ adalah standar deviasinya dan y adalah suatu besaran yang tergantung dari resiko dan tingkat akurasi yang diinginkan.

3.11 Tahun basah adalah tahun pada saat debit air yang masuk ke waduk merupakan debit yang lebih besar atau sama dengan debit rata-rata ditambah dengan σ y

3.12 Tahun kering adalah tahun pada saat debit air masuk ke waduk merupakan debit yang lebih kecil atau sama besarnya debit rata-rata dikurangi dengan σ y

3.13 Tampungan efektif adalah suatu wadah yang muka airnya terletak antara tinggi muka air normal dan tinggi muka air minimum.

3.14 Tampungan mati (*dead storage*) adalah suatu wadah atau tempat yang terletak di bawah tinggi muka air minimum. Wadah tersebut direncanakan untuk kantong lumpur.

3.15 Volume waduk adalah volume air yang tertampung dalam suatu waduk pada tinggi TMA tertentu. Satuan yang digunakan biasanya juta meter kubik (10^6 m³).

3.16 Waduk tunggal adalah suatu tampungan yang tidak berhubungan dengan waduk tunggal atau waduk jamak lainnya.

3.17 Waduk eka guna adalah suatu tampungan yang pemanfaatan airnya hanya digunakan untuk satu jenis kebutuhan saja.

3.18 Waduk multiguna adalah suatu tampungan yang pemanfaatan airnya untuk memenuhi berbagai kebutuhan seperti irigasi, PLTA, pengendali banjir dan lain-lain.

4 Hal-hal yang diperlukan dalam penyusunan pola operasi waduk

4.1 Klasifikasi penggunaan waduk

Berdasarkan fungsinya, waduk dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu:

a) Waduk eka guna (*single purpose*)

Waduk eka guna adalah waduk yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan, misalnya kebutuhan air irigasi, air baku, atau PLTA. Pengoperasian waduk eka guna lebih mudah karena tidak terjadi konflik dalam pengoperasiannya atau konflik kepentingan. Pada waduk eka guna pengoperasian hanya mempertimbangkan pemenuhan satu kebutuhan.

b) Waduk multi guna (*multi purpose*)

Waduk multi guna adalah waduk yang dioperasikan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, misalnya memenuhi kebutuhan air irigasi, air baku, dan PLTA. Kombinasi dari berbagai

kebutuhan dimaksudkan untuk mengoptimalkan fungsi waduk dan meningkatkan kelayakan pembangunan suatu waduk.

Hal yang harus diperhatikan dalam mengoperasikan waduk multiguna adalah konflik kepentingan terutama bila potensi sumber airnya terbatas. Konflik kepentingan terjadi karena setiap jenis kebutuhan memiliki persyaratan dalam mengoptimalkannya, misalnya : PLTA mempertahankan muka air tinggi agar didapatkan energi listrik yang besar, sedangkan irigasi tidak mempertimbangkan TMA tetapi volume air yang dikeluarkan. Contoh lain konflik adalah waduk yang mempunyai fungsi pembangkitan tenaga listrik dan pengendalian banjir. Pola operasi waduk untuk pengendalian banjir, mengusahakan agar waduk sebelum musim penghujan dalam kondisi kosong sedangkan waduk yang berfungsi untuk PLTA tetap mempertahankan tinggi muka air yang tetap. Pola operasi yang digunakan dalam kondisi ini adalah kompromi antara berbagai kebutuhan meskipun tidak akan diperoleh hasil yang maksimal.

4.2 Karakteristik waduk

Karakteristik waduk yang diperlukan dalam penyusunan pola operasi suatu waduk adalah data fisik waduk (lebar dan elevasinya pelimpah, ada/tidak adanya pintu di atas pelimpah, data *outlet* dari waduk, data elevasi maksimum pengoperasian, data tampungan mati dan tampungan efektif) dan data hubungan antara elevasi – luas dan volume dari waduk. Data hubungan antara elevasi-luas dan elevasi-volume didapatkan dari hasil pengukuran/pemeruman kedalaman waduk yang perlu dilakukan secara rutin.

4.3 Penentuan kapasitas waduk

Kapasitas waduk ditentukan dari beberapa metode sebagai berikut.

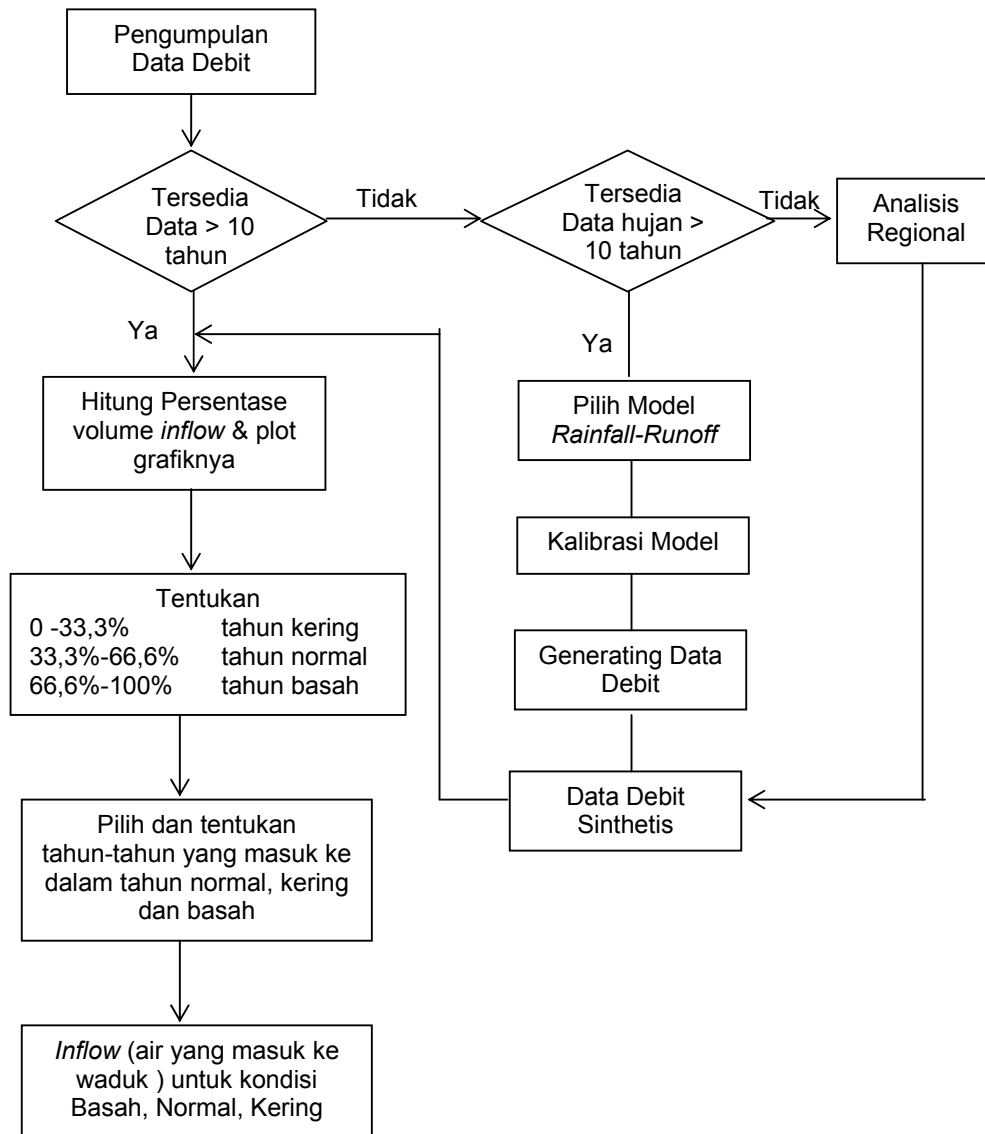
- 1) Metode analisa kurva masa dengan pendekatan secara grafis, membandingkan grafik kumulatif masukan ke waduk dengan grafik kumulatif keluaran dari waduk. Kapasitas tampung didapatkan dengan menggeser-geser kedua grafik tersebut hingga didapatkan jarak terbesar antara kedua grafik.
- 2) Metode analitis dengan tahapan:
 - tentukan besarnya *inflow* dan *outflow* untuk suatu tahun operasi,
 - hitung besarnya $S_{t+1} = S_t + O_t - I_t$
untuk kondisi dimana S_{t+1} negatif, dibuat $S_{t+1} = 0$, ambil awal *Storage* $S_t = 0$.
 - hitung S_{t+1} untuk 2 s/d 3 siklus *inflow* dan *outflow*,
 - ambil nilai tertinggi S_{t+1} , yang merupakan kapasitas waduk yang diperlukan.

Contoh penghitungan dapat dilihat pada Lampiran A.

4.4 Masukan air ke waduk

Air yang masuk ke waduk diklarifikasikan dalam tiga kondisi, yaitu : masukan air ke waduk pada kondisi tahun basah, normal, dan kering. Air yang masuk ke waduk dapat berupa aliran air yang masuk dari sungai, dari daerah sekelilingnya, dan dari curah hujan yang jatuh langsung pada permukaan waduk.

Untuk menentukan besarnya masukan air (*inflow*) dari sungai untuk tahun basah normal dan kering, prosedur yang dibutuhkan untuk kondisi dimana data debit tersedia maupun data debit tidak tersedia dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 1. Contoh penghitungan *inflow* untuk kondisi tahun bash, normal, dan kering dapat dilihat pada Lampiran B.



Gambar 1 Diagram alir penentuan air yang masuk (*inflow*) ke waduk

4.5 Keluaran dari waduk

Kebutuhan air ditentukan oleh fungsi dari waduk tersebut. Untuk waduk yang mempunyai manfaat tunggal, keluaran air waduk dihitung hanya untuk pemenuhan suatu kebutuhan saja namun pada waduk yang dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, keluaran dari waduk merupakan total dari seluruh kebutuhan seperti untuk irigasi, PLTA, air baku, dan perikanan. Meskipun seringkali terjadi konflik dalam pengoperasiannya namun hal tersebut dapat dikompromikan/disusun sesuai dengan skala prioritas yang telah dituangkan dalam undang-undang pengairan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Kebutuhan air dapat dikategorikan menjadi:

- ♦ Kebutuhan Air Minum dan Kegiatan Perkotaan
- ♦ Kebutuhan Air untuk Industri
- ♦ Kebutuhan Air untuk Pemeliharaan Sungai
- ♦ Kebutuhan Air untuk Perikanan
- ♦ Kebutuhan Air untuk Peternakan
- ♦ Kebutuhan Air untuk Irigasi

Metode untuk memperkirakan kebutuhan air dapat dilihat pada Lampiran C.

4.6 Prakiraan sedimentasi

Permasalahan yang sering dialami suatu waduk setelah beroperasi adalah menurunnya kapasitas tampung dari waduk karena laju sedimentasi yang tinggi.

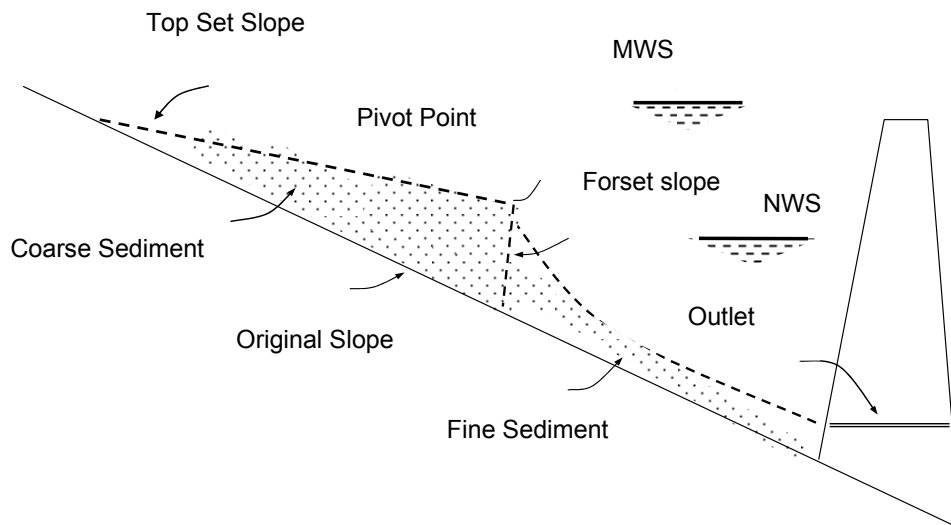
Sedimentasi ini disebabkan oleh :

- perubahan tata guna lahan di hulu yang berakibat rusaknya daerah pengaliran sungai;
- tidak optimalnya pengoperasian waduk sehingga terjadi endapan sedimentasi yang besar di waduk.

Untuk mengantisipasi menurunnya umur waduk karena sedimentasi perlu dilakukan :

- pemantauan secara periodik besarnya sedimentasi yang terbawa aliran masuk ke waduk dengan melakukan pengambilan contoh air dan butiran dari sedimen yang masuk ke waduk secara rutin.
- pemeruman dari waduk.
- perbaikan daerah pengaliran sungai di hulu waduk, misalnya melakukan reboisasi.

Adapun sketsa dari profil pengendapan sedimentasi di waduk terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Karakteristik pengendapan sedimentasi di waduk

5 Penyusunan pola operasi waduk

5.1 Persamaan dasar dalam simulasi waduk

Persamaan dasar simulasi neraca air di waduk merupakan fungsi dari masukan, keluaran dan tampungan waduk yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$I - O = ds/dt \dots\dots\dots (01)$$

dengan:

I adalah masukan

O adalah keluaran

$ds/dt = \Delta S$ adalah perubahan tampungan

Atau secara rinci dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$S_{t+1} = S_t + I_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_{St} \dots\dots\dots (02)$$

dengan:

S_t adalah tampungan waduk pada periode t

S_{t+1} adalah tampungan waduk pada periode t+1

I_t adalah masukan waduk pada periode t

R_t adalah hujan yang jatuh di atas permukaan waduk, pada periode t

E_t adalah kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

L_t adalah kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

O_t adalah total kebutuhan air

O_{St} adalah keluaran dari pelimpah

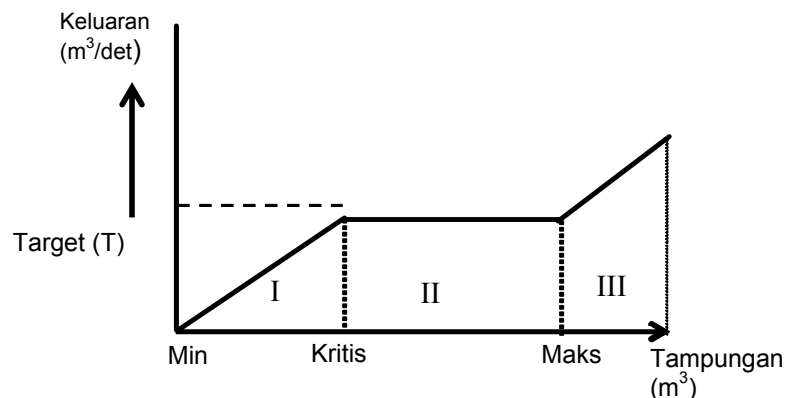
5.2 Pendekatan dalam pola operasi waduk

Pendekatan yang dapat digunakan didalam pengoperasian waduk adalah sebagai berikut.

- 1) Pola pengoperasian dengan pendekatan tahunan (*one year return*) artinya waduk pada awal operasi dalam kondisi penuh dan untuk periode satu tahun operasi waduk diusahakan kembali penuh.
- 2) Pola pengoperasian dengan pendekatan beberapa tahun (*multi years return*) artinya waduk pada awal operasi dalam kondisi penuh dan tidak merupakan suatu keharusan/target bahwa pada akhir operasi dalam satu tahun elevasinya kembali seperti pada awal operasi. Elevasi muka air dalam kondisi penuh kembali setelah beberapa tahun operasi.

5.3 Metode dalam penyusunan pola operasi waduk

5.3.1 Pola konvensional



Gambar 3 Kurva operasi waduk konvensional

Pada pola konvensional waduk dioperasikan dengan ketentuan seperti pada Gambar 3 sebagai berikut:

- apabila tampungan di waduk pada kondisi I (antara tampungan minimum pengoperasian dan kondisi awal kritis), keluaran air dari waduk lebih kecil dari target (kebutuhan).
- apabila tampungan berada pada kondisi II, keluaran air dari waduk sesuai dengan kebutuhan air yang diperlukan atau sesuai target
- apabila tampungan pada kondisi III dimana volume tampungan sama atau lebih besar dari tampungan maksimum, keluaran air dari waduk besarnya sama dengan kebutuhan/target ditambah dengan besarnya debit yang terbuang melalui pelimpah.

“Pola operasi yang optimal menjaga agar terjadi limpasan air di atas pelimpah dan tidak adanya pengurangan kebutuhan akibat tampungan yang cenderung menurun di bawah ambang kritis”.

5.3.2 Metode simulasi

Dalam metode ini muka air waduk disimulasikan dengan berbagai kondisi tipe masukan (*inflow*) dan karakteristik waduk sehingga didapatkan kurva/ambang pola pengoperasian. Skema model simulasi dapat dilihat pada Gambar 4. Ada tiga ambang batas yang akan ditentukan dari hasil simulasi yaitu suatu ambang batas untuk pengoperasian waduk pada kondisi basah, ambang batas untuk kondisi normal dan ambang batas untuk kondisi kering. Dengan diketahuinya ketiga ambang tersebut maka pengeluaran air dari waduk dapat dikendalikan sehingga tidak sampai waduk dalam kondisi yang sangat kritis pada akhir operasi dan diusahakan agar waduk penuh kembali pada akhir operasi sebelum masuk pada tahun pengoperasian selanjutnya.

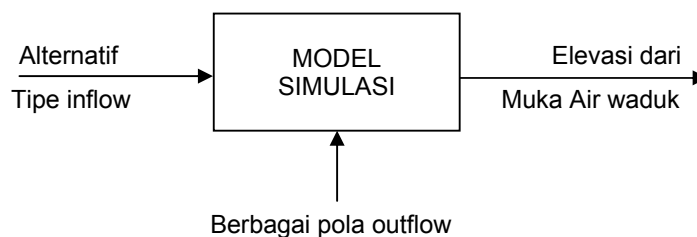
Dalam tahap operasional, pengoperasian waduk/keluaran air dari waduk sangat tergantung pada elevasi waduk pada tiap akhir periode (mingguan, bulanan). Untuk kondisi muka air masih dalam ambang basah dan normal, pengeluaran air sesuai dengan target. Apabila muka air waduk telah mencapai ambang kering maka pengeluaran air perlu dikurangi sesuai dengan prioritas yang telah diatur dalam undang-undang SDA.

Kelebihan dari metode simulasi adalah :

- a) Dapat mensimulasi masukan data dalam jumlah yang cukup banyak.
- b) Dapat membandingkan beberapa manajemen kebijaksanaan.

Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah :

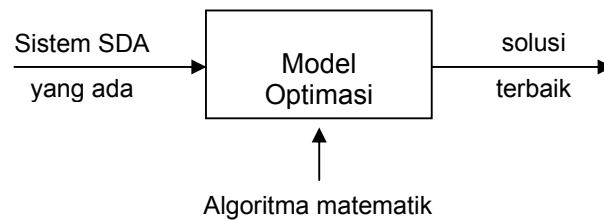
- a) Proses harus dilakukan dengan cara coba-coba.
- b) Memerlukan lebih banyak waktu dan dana.
- c) Tidak dapat memberikan hasil yang optimal.



Gambar 4 Skema model simulasi

5.3.3 Metode optimasi

Operasi pemanfaatan sumber daya air yang optimal merupakan aspek yang sangat penting dalam pendayagunaan sumber daya air khususnya pada perencanaan operasi waduk. Prinsip dari metode optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 5 Skema Model Optimasi

Ada tiga tahapan dalam mempersiapkan model optimasi, yaitu :

- a) Mengidentifikasi fungsi objektif.
Fungsi objektif mengukur efektivitas atau kegunaan yang menghubungkan beberapa kombinasi dari variabel. Fungsi objektif merupakan fungsi yang dioptimasi baik maksimum atau minimum. Contoh fungsi objektif adalah minimum kekurangan (*minimum shortage*), atau maksimum keuntungan.
- b) Mengidentifikasi *decision variable* secara kuantitatif dan menentukan ketelitiannya.
- c) Mengidentifikasi faktor-faktor tertentu yang membatasi (*decision variable*), tahapan ini akan menghasilkan persamaan kendala (*constraints*) yaitu persamaan aljabar atau ketidaksamaan atau dalam beberapa kasus sama dengan persamaan differensial dimana persamaan tersebut harus dipenuhi dalam menentukan nilai maksimum atau minimum dari fungsi objektif.

Program teknik optimasi yang dapat digunakan adalah Program linier, non linier, dan dinamik. Pemilihan suatu teknik optimasi sangat tergantung pada karakteristik waduk yang ditinjau, ketersediaan data, tujuan, dan kendala (*constraints*) yang ada.

6 Prosedur dalam pembuatan pola operasi dan pengoperasian waduk tunggal

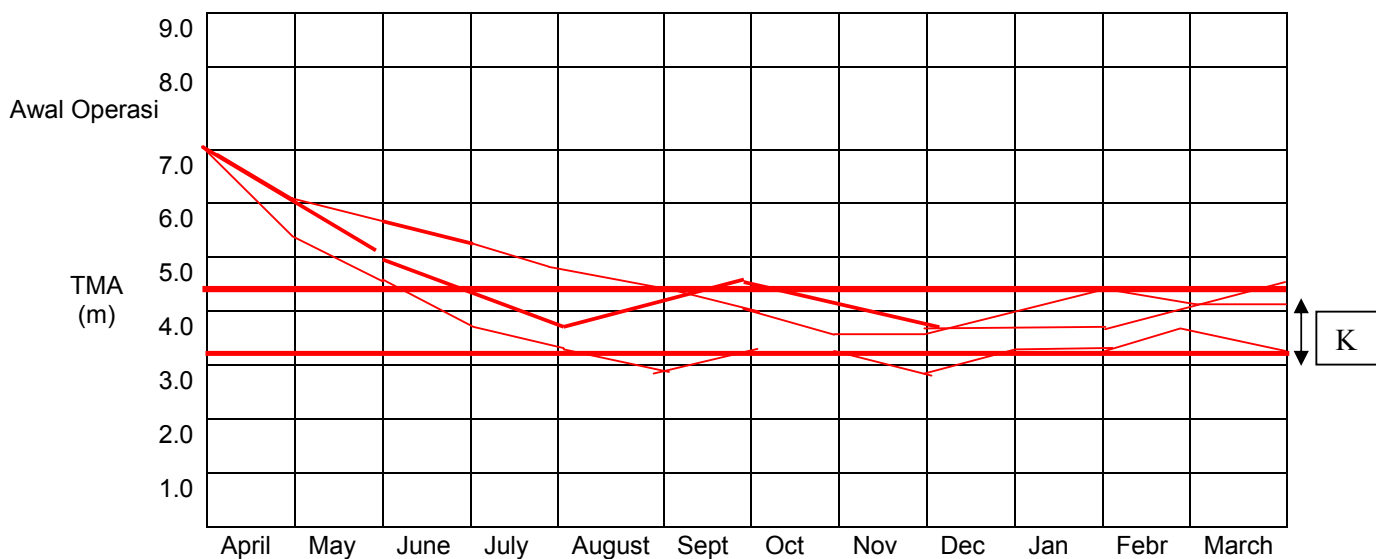
6.1 Prosedur penyusunan/pembuatan pola operasi waduk

- 1) tentukan/hitung besarnya *inflow* (hasil observasi/sintetis) yang akan masuk ke waduk untuk berbagai kondisi Tahun Kering, Normal, dan Basah.
- 2) tentukan hubungan antara elevasi-luas dan volume dari suatu waduk yang senantiasa diperbaharui karena adanya pendangkalan akibat sedimentasi.
- 3) tentukan kondisi fisik dari suatu waduk (*dead storage*, *efektif storage*, dan *flood storage*).
- 4) tentukan rencana pola operasi waduknya untuk periode tahunan atau periode beberapa tahun.
- 5) tentukan besarnya *outflow* yang akan dikeluarkan dari suatu waduk tunggal atau waduk multiguna (hasil dari penjumlahan kebutuhan air hilir yang harus dilayani dari waduk tersebut)
- 6) hitung besarnya volume tampungan dengan persamaan dasar neraca air $S_{t+1} = S_t + I_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_{st}$ (dimana t adalah periode operasi). Dengan hubungan elevasi – volume tampungan, tentukan TMA waduk setiap waktu (t)
- 7) mensimulasikan tinggi muka air untuk berbagai tipe kondisi *inflow* (basah, kering, normal) dengan pola *outflow* sesuai target (hasil dari penghitungan kebutuhan air) untuk mendapatkan ambang batas TMA kondisi basah, normal dan kering. Simulasi dilakukan untuk berbagai kondisi sebagai berikut :

	Simulasi	Aktual Operasi
<i>Kondisi Inflow</i>	<i>Outflow</i>	<i>Outflow</i>
Tahun Basah	Target	Target
Tahun Normal	Target	Target
Tahun Kering	Target	< Target

- 8) Bilamana TMA pada akhir operasi tidak dapat kembali seperti TMA pada saat awal operasi maka pola *outflow* diubah-ubah sehingga di dapat besaran *outflow* yang memenuhi untuk kondisi kering.
- 9) Dari hasil simulasi didapat ambang batas dan pola *outflow* untuk operasi pada tahun basah, tahun normal, dan tahun kering.

Contoh untuk mendapatkan ambang kering dapat dilihat pada Gambar 6.



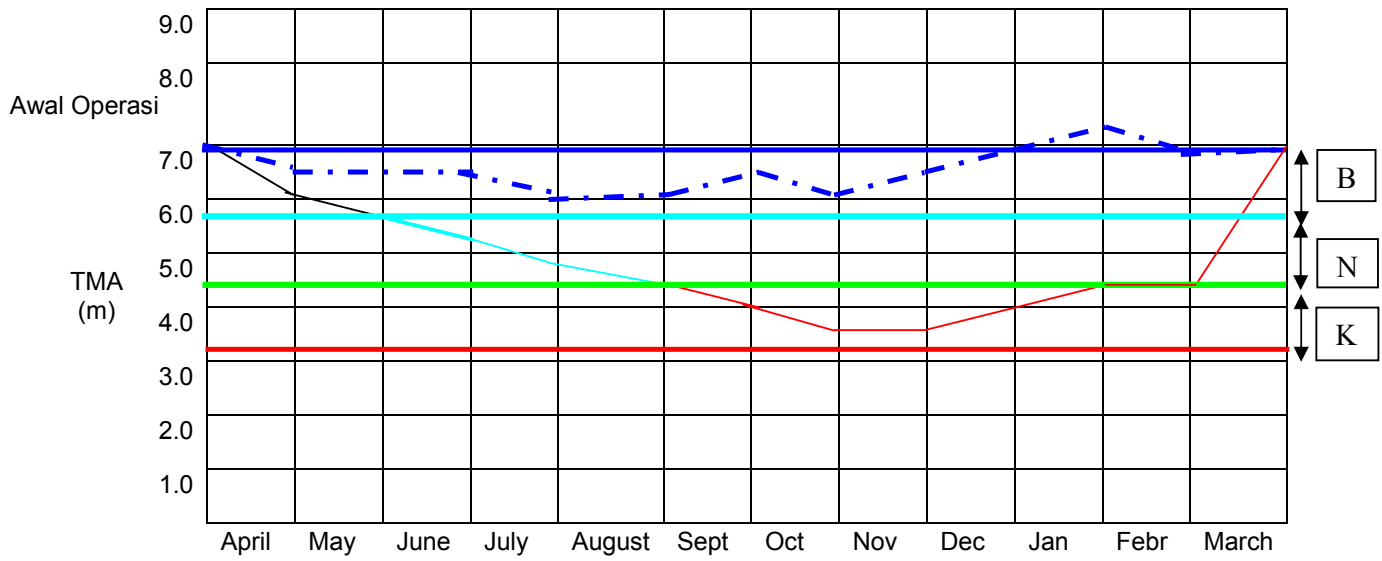
K : Kering

Gambar 6 Penentuan Ambang Operasi Tahun Kering

6.2 Prosedur pengoperasian waduk tunggal

Prosedur ini digunakan untuk pengoperasian waduk dengan pendekatan tahunan (*one year return*)

- 1) tentukan bulan awal pengoperasian dan elevasi waduk saat akan dioperasikan
- 2) operasikan waduk sesuai dengan target kebutuhan untuk waduk eka guna/multiguna selama durasi waktu (bulanan/mingguan)
- 3) periksa elevasi muka air di waduk pada akhir bulan/minggu
- 4) apabila elevasi di waduk masih di ambang basah atau normal, lanjutkan pengoperasian waduk sesuai dengan target kebutuhan untuk bulan/minggu selanjutnya
- 5) apabila elevasi waduk berada pada ambang kering, operasikan waduk sesuai dengan kondisi pola *outflow* kering atau kurangi besarnya *outflow* sesuai dengan prioritas.
- 6) Pada akhir tahun operasi usahakan muka air kembali seperti pada saat awal operasi. Pengoperasian secara aktual dapat dilihat pada Gambar 7.

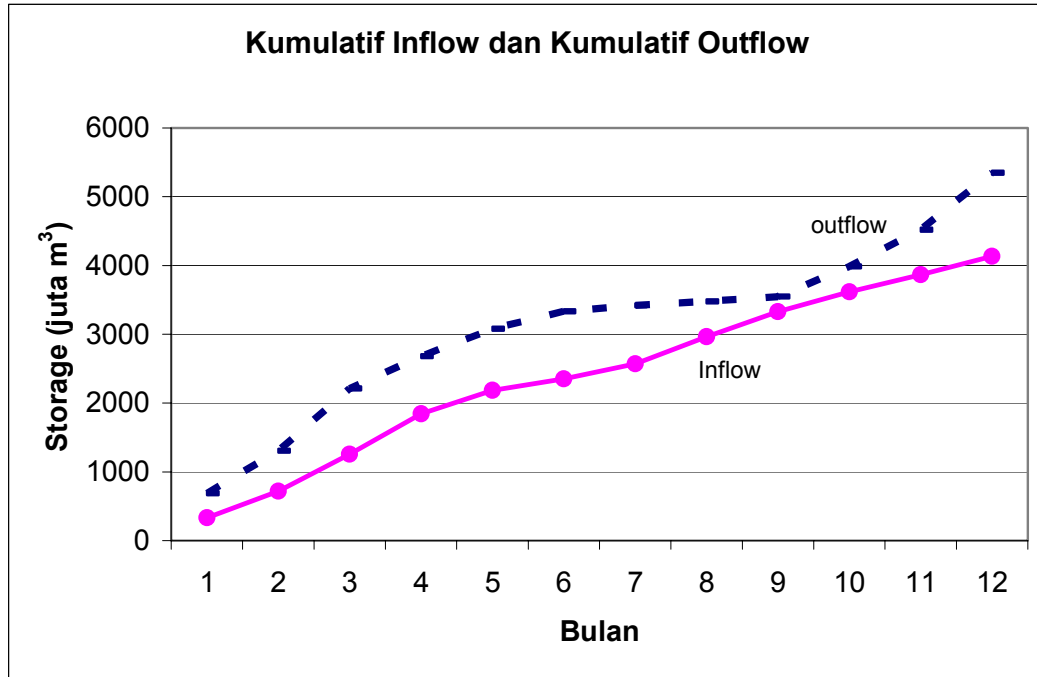


B : Basah, N : Normal, K : Kering

Gambar 7 Pengoperasian Waduk

Lampiran A

Contoh penentuan kapasitas waduk



Gambar A.1 Contoh analisis secara grafis untuk menentukan kapasitas tampung

Tabel A.1 Metode numerik untuk penghitungan kapasitas tampungan

$$S_{t+1} = S_t + O_t - I_t$$

Bulan	$S_t (10^6)$	$O_t (10^6)$	$I_t (10^6)$	$(O_t - I_t) (10^6)$	$S_{t+1} (10^6)$
	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)
Januari	0	686	332	-354	0
Februari	0	618	388	-230	0
Maret	0	909	539	-370	0
April	0	468	584	116	116
Mei	116	399	343	-56	60
Juni	60	252	166	-86	0
Juli	0	87	217	130	130
Agustus	130	58	394	336	466
September	466	71	367	296	762
Oktober	762	439	287	-152	610
November	610	531	248	-283	327
Desember	327	828	271	-557	0
Januari	0	686	332	-354	0
Februari	0	618	388	-230	0
Maret	0	909	539	-370	0
April	0	468	584	116	116
Mei	116	399	343	-56	60
Juni	60	252	166	-86	0
Juli	0	87	217	130	130
Agustus	130	58	394	336	466
September	466	71	367	296	762
Oktober	762	439	287	-152	610
November	610	531	248	-283	327
Desember	327	828	271	-557	0

Total Kapasitas Tampungan yang Dibutuhkan : $762 \times 10^6 M^3$

Lampiran B

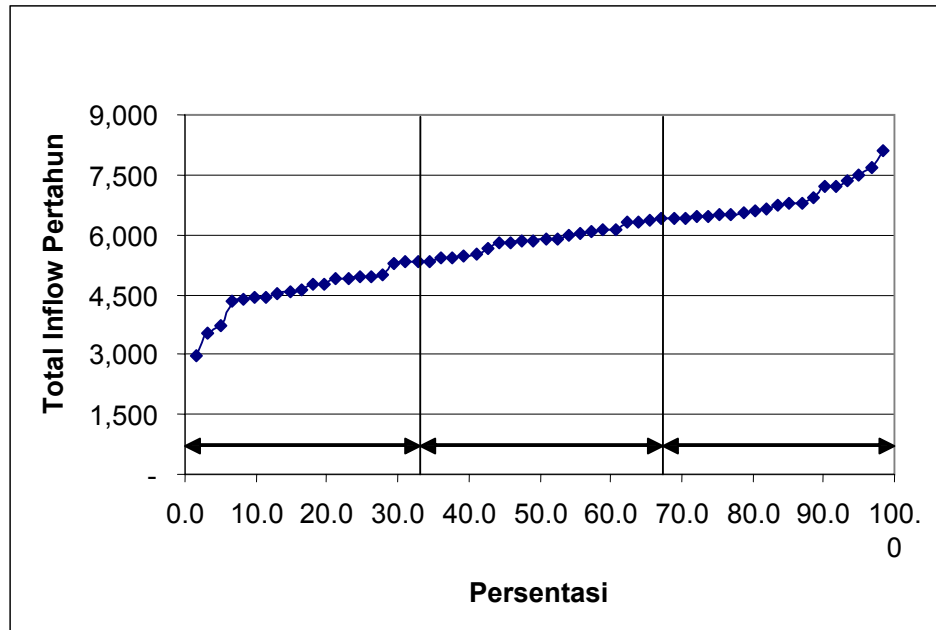
Contoh penentuan inflow kondisi basah, normal, kering

Tabel B.1 Persentase volume inflow

Tahun	Ranking	Volume (10^6 m^3)	$n/\sum_{i=1}^n$	%
1963	1	2,961	0.0164	1.64
1925	2	3,532	0.0328	3.28
1961	3	3,732	0.0492	4.92
1967	4	4,312	0.0656	6.56
1976	5	1,386	0.0820	8.20
1921	6	4,412	0.0984	9.84
1959	7	4,414	0.1148	11.48
1929	8	4,542	0.1311	13.11
1923	9	4,580	0.1475	14.75
1972	10	4,638	0.1639	16.39
1926	11	4,775	0.1803	18.03
1953	12	4,776	0.1967	19.67
1960	13	4,887	0.2131	21.31
1964	14	4,923	0.2295	22.95
1951	15	4,934	0.2459	24.59
1945	16	4,950	0.2623	26.23
1965	17	5,006	0.2787	27.87
1934	18	5,296	0.2951	29.51
1935	19	5,316	0.3115	31.15
1939	20	5,321	0.3279	32.79
1966	21	5,346	0.3443	34.43
1948	22	5,420	0.3607	36.07
1946	23	5,442	0.3770	37.70
1949	24	5,464	0.3934	39.34
1977	25	5,530	0.4098	40.98
1957	26	5,642	0.4262	42.62
1969	27	5,773	0.4426	44.26
1936	28	5,796	0.4590	45.90
1950	29	5,836	0.4754	47.54
1952	30	5,839	0.4918	49.18
1920	31	5,875	0.5082	50.82
1927	32	5,913	0.5246	52.46
1922	33	5,974	0.5410	54.10
1962	34	6,032	0.5574	55.74
1971	35	6,086	0.5738	57.38
1944	36	6,136	0.5902	59.02
1941	37	6,144	0.6066	60.66
1932	38	6,314	0.6230	62.30
1942	39	6,325	0.6393	63.93
1956	40	6,369	0.6557	65.57
1947	41	6,401	0.6721	67.21
1924	42	6,407	0.6885	68.85
1930	43	6,419	0.7049	70.49
1954	44	6,449	0.7213	72.13
1943	45	6,468	0.7377	73.77
1974	46	6,481	0.7541	75.41
1931	47	6,498	0.7705	77.05
1933	48	6,551	0.7869	78.69
1979	49	6,591	0.8033	80.33
1937	50	6,666	0.8197	81.97
1970	51	6,756	0.8361	83.61
1968	52	6,766	0.8525	85.25
1975	53	6,805	0.8689	86.89
1938	54	6,943	0.8852	88.52
1928	55	7,208	0.9016	90.16
1973	56	7,217	0.9180	91.80
1978	57	7,351	0.9344	93.44
1940	58	7,479	0.9508	95.08
1958	59	7,666	0.9672	96.72
1955	60	8,114	0.9836	98.36

Tabel B.2 Pembagian jenis tahun berdasarkan persentase volume inflow

Persentase (%)	Volume Inflow (m^3)	Jenis Tahun
0 - 33,3	< 5321	Kering
33,3 - 66,7	5346 - 6369	Normal
66,7 - 100	> 6369	Basah



Gambar B.1 Contoh grafik kurva inflow

Tabel B.3 Data volume inflow untuk tahun kering (10^6 m^3)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
1963	602	447	465	292	71	34	21	18	47	168	234	562	2961
1925	583	597	486	668	294	84	81	45	45	76	121	452	3532
1961	1014	754	463	363	499	234	39	32	34	34	66	200	3732
1967	615	738	570	912	352	92	39	24	34	50	237	649	4312
1976	857	510	520	646	321	92	45	66	42	205	549	533	4386
1921	618	549	752	936	250	155	142	116	74	93	244	576	4505
1959	463	1038	744	494	549	297	218	100	74	71	158	208	4414
1929	541	783	778	686	321	187	84	66	47	171	318	560	4542
1923	315	731	365	300	515	486	591	102	66	76	363	670	4580
1972	846	741	922	668	486	92	63	47	16	32	247	478	4638
1926	434	899	1085	418	652	181	89	45	58	271	265	378	4775
1953	560	644	872	812	736	237	113	74	39	37	284	368	4776
1960	533	523	712	1093	402	118	118	84	55	87	618	544	4887
1964	434	321	528	849	573	171	100	152	205	457	560	573	4923
1951	1025	841	420	410	371	208	179	250	181	289	171	589	4934
1945	436	612	675	623	292	173	147	147	363	439	531	512	4950
1965	1201	1225	486	449	318	145	100	39	24	39	197	783	5006
1934	909	515	323	809	452	150	102	74	202	215	657	888	5296
1935	599	907	809	959	439	268	71	42	47	137	465	573	5316
1939	418	570	484	518	321	463	533	326	150	279	465	794	5321

Tabel B.4 Data volume inflow untuk tahun normal (10^6m^3)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
1966	686	618	909	468	399	252	87	58	71	439	531	828	5346
1948	851	377	962	497	252	173	271	147	171	181	623	915	5420
1946	502	1125	1022	399	215	171	171	166	268	147	381	875	5442
1949	765	373	686	699	652	376	166	147	147	368	657	428	5464
1977	1049	972	707	565	549	79	42	100	16	284	423	744	5530
1957	591	449	820	972	442	273	578	213	79	131	313	781	5642
1969	1004	949	696	878	363	336	131	84	265	218	463	386	5773
1936	452	759	1122	812	539	237	129	116	74	221	738	597	5796
1950	591	594	720	717	615	363	357	147	158	360	791	423	5836
1952	838	773	1014	662	279	244	97	137	197	444	539	615	5839
1920	862	862	915	807	318	210	210	108	300	455	515	313	5875
1927	533	423	736	817	707	315	176	139	102	202	691	1072	5913
1922	597	794	996	978	244	163	158	113	378	549	394	610	5974
1962	449	665	925	823	460	237	363	158	92	407	512	941	6032
1971	767	787	468	786	515	289	150	100	32	447	812	933	6086
1944	1067	904	812	807	410	176	150	147	281	213	628	541	6136
1941	531	547	859	1104	875	439	189	81	81	231	279	928	6144
1932	691	583	978	1196	1017	515	181	81	189	163	326	394	6314
1942	983	741	612	541	686	444	202	263	221	486	689	457	6325
1956	815	434	625	809	486	689	478	229	276	468	576	484	6369

Tabel B.5 Data volume inflow untuk tahun basah (10^6m^3)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
1947	1062	633	636	586	258	147	415	152	423	531	612	946	6401
1924	654	599	825	1122	618	300	194	79	79	507	652	778	6407
1930	399	646	1009	1064	1204	263	181	97	79	368	573	536	6419
1954	757	662	636	389	531	402	168	250	281	323	1001	1049	6449
1943	830	560	972	946	573	449	242	260	102	512	707	315	6468
1974	423	502	334	986	786	155	273	465	397	767	720	673	6481
1931	494	733	1461	804	670	452	147	142	79	386	336	794	6498
1933	912	752	646	562	415	463	229	218	494	449	562	849	6551
1979	649	922	599	907	675	352	124	147	258	305	704	949	6591
1937	515	865	1012	941	857	636	150	74	118	336	271	891	6666
1970	662	562	1356	786	851	447	244	95	147	218	791	597	6756
1968	625	439	794	675	710	625	620	641	329	215	423	670	6766
1975	915	886	833	754	539	244	150	137	336	678	878	455	6805
1938	838	515	1135	694	736	565	470	289	105	108	744	744	6943
1928	1070	767	854	1064	402	315	145	202	121	247	865	1156	7208
1973	778	938	891	941	975	357	252	221	397	434	426	607	7217
1978	665	368	901	468	541	604	578	449	478	447	696	1156	7351
1940	544	909	1603	1075	1049	541	339	189	71	89	292	778	7479
1958	644	1130	925	946	770	276	536	470	250	310	544	865	7666
1955	528	943	809	1198	702	436	618	518	194	583	757	828	8114

Lampiran C

Contoh penghitungan kebutuhan air

Kebutuhan air minum, kegiatan perkotaan

Kebutuhan air diperkirakan dengan mengalikan besarnya konsumsi air per orang per hari dengan besarnya populasi. Parameter, besarnya konsumsi air per orang per hari dapat diperoleh dari Direktorat Air Bersih, Direktorat Jendral Cipta Karya dan atau FAO. Proyeksi konsumsi air per orang per hari dibagi menjadi tiga kategori yaitu kota dengan penduduk lebih kecil dari 1,000,000 orang, lebih besar dari 1,000,000 orang dan daerah pedesaan. Hasil proyeksi yang dilakukan oleh JICA-FIDP tahun 1993 untuk konsumsi air per orang per hari (Tabel C.1) digunakan sebagai dasar dalam penghitungan kebutuhan air MPI.

Tabel C.1 Proyeksi konsumsi air per orang per hari

Daerah	1990-2000	2000-2015	2015-2020
Kota > 1,000,000 orang	250	270	280
Kota < 1,000,000 orang	150	170	180
Desa	30	38	40

Kebutuhan air minum, kegiatan perkotaan per bulan untuk setiap daerah selanjutnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$QMin(i) = H(i) \times \left(\frac{q_k}{1000} \times P_k + \frac{q_d}{1000} \times P_d \right)$$

dimana,

QMin (i) = kebutuhan air minum dan kegiatan perkotaan pada bulan i (m^3 bulan⁻¹)

H(i) = jumlah hari dalam bulan i

q_k = konsumsi air per orang per hari untuk daerah perkotaan (liter orang⁻¹ hari⁻¹)

q_d = konsumsi air per orang per hari untuk daerah pedesaan (liter orang⁻¹ hari⁻¹)

P_k = populasi di kota

P_d = populasi di desa

Kebutuhan air untuk Industri

Pendekatan yang digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan air untuk sector industri adalah sebagai berikut:

Dari laporan "Inventarisasi Sumber Daya Air untuk Pengembangan Perencanaan dan Penyusunan Program (Sulawesi Utara dan Sulawesi Tengah)" (AFH International Inc. dan PT. Lenggogeni, 1992) diperoleh besaran konsumsi air per tenaga kerja per hari sebagai berikut.

- Industri Besar = 450 ~ 500 liter/tenaga kerja/hari
- Industri Sedang = 100 ~ 200 liter/tenaga kerja/hari
- Industri Kecil = 80 ~ 100 liter/tenaga kerja/hari

Sedangkan dalam buku “Pedoman Studi Proyek-proyek Pengairan” yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral Pengairan (1985) dinyatakan bahwa untuk Formal Industri kebutuhan air industri adalah 800 liter/tenaga kerja/hari. Sedangkan untuk industri kecil diasumsikan bahwa kebutuhan air adalah 75 liter/orang/hari.

Kebutuhan air untuk industri per bulan untuk setiap daerah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{Ind}(i) = H(i) \times \left(\frac{q_b}{1000} \times P_b + \frac{q_s}{1000} \times P_s + \frac{q_k}{1000} \times P_k \right)$$

dimana,

$Q_{Ind}(i)$ = kebutuhan air industri pada bulan I (m^3 bulan $^{-1}$)

$H(i)$ = jumlah hari dalam bulan i

q_b = konsumsi air per tenaga kerja untuk Industri Besar (liter orang $^{-1}$ hari $^{-1}$)

q_s = konsumsi air per tenaga kerja untuk Industri Sedang (liter orang $^{-1}$ hari $^{-1}$)

q_k = konsumsi air per tenaga kerja untuk Industri Kecil (liter orang $^{-1}$ hari $^{-1}$)

P_b = populasi tenaga kerja untuk Industri Besar

P_s = populasi tenaga kerja untuk Industri Sedang

P_k = populasi tenaga kerja untuk Industri Kecil

Kebutuhan air untuk pemeliharaan sungai (penggelontoran)

Sesuai dengan Perencanaan Pengembangan Sumber Air Terpadu, Direktorat Jendral Pengairan, Dep. PU kebutuhan air penggelontoran untuk daerah perkotaan (urban) per orang per hari dapat dilihat pada Tabel C.2.

Tabel C.2 Kebutuhan air untuk penggelontoran per orang per hari

Proyeksi (Tahun)	Kebutuhan Air (liter orang-1 hari -1)
1990-2000	330
2000-2015	360
2015-2020	300

Dari tabel tersebut terlihat bahwa, pada saat sekarang ini kebutuhan air untuk penggelontoran per hari per orang adalah sebesar 330 liter. Untuk tahun 2000 diperkirakan akan naik menjadi 360 liter per hari per orang. Sedangkan pada tahun 2015 diperkirakan kebutuhan air untuk penggelontoran akan turun menjadi 300 liter per hari per orang dengan harapan pada saat tersebut system drainase air kotor sudah lebih baik.

Kebutuhan air untuk penggelontoran diperkirakan dengan mengalikan proyeksi populasi di daerah perkotaan dengan besarnya kebutuhan air penggelontoran per orang per hari seperti persamaan dibawah ini

$$Q_{PS}(i) = H(i) \times \left(\frac{q_p}{1000} \times P_k \right)$$

dimana,

$Q_{PS}(i)$ = kebutuhan air untuk penggelontoran pada bulan I (m^3 bulan $^{-1}$)

$H(i)$ = jumlah hari dalam bulan i

- q_p = kebutuhan air untuk penggelontoran per orang per hari (liter orang⁻¹ hari⁻¹)
 P_k = populasi di kota

Kebutuhan air untuk perikanan

Kebutuhan air untuk perikanan diperkirakan dengan mengalikan proyeksi luas kolam dengan besarnya kebutuhan air perluas kolam. Walaupun kolam membutuhkan air yang cukup banyak, tetapi sebenarnya kolam tidak mengkonsumsi air terlalu besar. Kolam ikan biasanya mengambil air dari sungai, tetapi sebagian besar akan dialirkan kembali ke sungai tersebut tidak jauh di sebelah hilir dari tempat pengambilan, sehingga konsumsi air hanya bergantung pada besarnya evaporasi dan perkolasi. JICA FIDP memperkirakan konsumsi air untuk kolam ikan per hari sebesar 7 mm hari⁻¹

Kebutuhan air untuk perikanan per bulan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$QP_k(i) = H(i) \times \left(\frac{q_{fp}}{1000} \times A_{fp} \times 10.000 \right)$$

dimana,

$QP_k(i)$ = kebutuhan air untuk perikanan pada bulan I (m³ bulan⁻¹)

$H(i)$ = jumlah hari dalam bulan i

q_{fp} = kebutuhan air untuk kolam per hari (mm hari⁻¹)

A_{fp} = luas kolam ikan (ha)

Kebutuhan air untuk peternakan

Konsumsi air untuk ternak per kepala per hari dapat dilihat pada Tabel C.3.

Tabel C.3 Konsumsi air ternak per kepala per hari

Jenis Ternak	Kebutuhan Air (liter ternak-1 hari -1)
Kuda/Kerbau/Sapi	40
Kambing/Domba	5
Babi	6

sumber: *Agricultural Compendium(1981)*

Kebutuhan air untuk ternak diperoleh dengan mengalikan proyeksi populasi ternak dengan konsumsi air per kepala per hari sebagai berikut:

$$QP_t(i) = \frac{H(i)}{1000} \times (q_{KS} \times P_{KS} + q_{KD} \times P_{KD} + q_B \times P_B)$$

dimana,

$QP_t(i)$ = kebutuhan air untuk ternak pada bulan I (m³ bulan⁻¹)

$H(i)$ = jumlah hari dalam bulan i

q_{KS} = konsumsi air untuk kuda/kerbau/sapi per kepala per hari (liter kepala⁻¹ hari⁻¹)

P_{KS} = proyeksi populasi kuda/kerbau/sapi

q_{KD} = konsumsi air untuk kambing/domba per kepala per hari (liter kepala⁻¹ hari⁻¹)

P_{KD} = proyeksi populasi kambing/domba

- q_B = konsumsi air untuk babi per kepala per hari (liter kepala⁻¹ hari⁻¹)
 P_B = proyeksi populasi babi

Kebutuhan air untuk irigasi

Kebutuhan air irigasi dihitung dengan memperhatikan hal-hal berikut ini:

- ♦ Pola tanam
- ♦ Evapotranspirasi
- ♦ Crop consumptive use
- ♦ Persiapan tanah
- ♦ Perkolasi
- ♦ Hujan efektif
- ♦ Kehilangan air

Kebutuhan air untuk irigasi dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_{ir}(i) = \frac{(Etc + Ptn + P + Pla - Re)}{I_e}$$

$$Q_{IR}(i) = \frac{q_{ir}(i)}{1000} \times (A_{IR} \times 1000)$$

dimana,

- $q_{ir}(i)$ = kebutuhan air untuk irigasi persatuan luas pada bulan I (mm bulan⁻¹)
 I_e = efisiensi irigasi
 Etc = konsumsi air untuk tanaman : $Eto \times kc$ (mm bulan⁻¹)
 Eto = evapotranspirasi (mm bulan⁻¹)
 Kc = koefisien tanaman
 Ptn = kebutuhan air untuk persiapan tanah (mm bulan⁻¹)
 P = kehilangan air karena perkolasi (mm bulan⁻¹)
 Pla = air pengganti (mm bulan⁻¹)
 Re = hujan efektif (mm bulan⁻¹)
 Q_{IR} = kebutuhan air untuk irigasi (mm³ bulan⁻¹)
 A_{IR} = luas daerah irigasi (ha)

Lampiran D

Contoh penghitungan pengoperasian waduk

Tabel D.1 Periode Satu Tahun (tahun 1935 - 1936)

Bulan	V_t ($10^6 m^3$)	E_t ($10^6 m^3$)	I_t ($10^6 m^3$)	Q_t ($10^6 m^3$)	100% Q_t ($10^6 m^3$)	V_{t+1} awal ($10^6 m^3$)	V_{t+1} akhir ($10^6 m^3$)
April '1935	3,000.0	6.8159	959	332	332	3,620.2	3,000.0
Mei	3,000.0	7.1567	439	388	388	3,043.8	3,000.0
Juni	3,000.0	6.4751	268	539	539	2,722.5	2,722.5
Juli	2,722.5	7.0058	71	584	584	2,202.5	2,202.5
Agustus	2,202.5	6.8347	42	343	343	1,894.7	1,894.7
September	1,894.7	6.1969	47	166	166	1,769.5	1,769.5
Oktober	1,769.5	6.3317	137	217	217	1,683.2	1,683.2
Nopember	1,683.2	6.3939	465	394	394	1,747.8	1,747.8
Desember	1,747.8	0.9336	573	367	367	1,952.8	1,952.8
Januari	1,952.8	3.9832	452	287	287	2,113.8	2,113.8
Pebruari	2,113.8	4.2404	759	248	248	2,620.6	2,620.6
Maret	2,620.6	6.0646	1122	271	271	3,465.5	3,000.0
April '1936	3,000.0						

Volume minimum = 1,683.2
Syarat Volume Min = 1,540.0

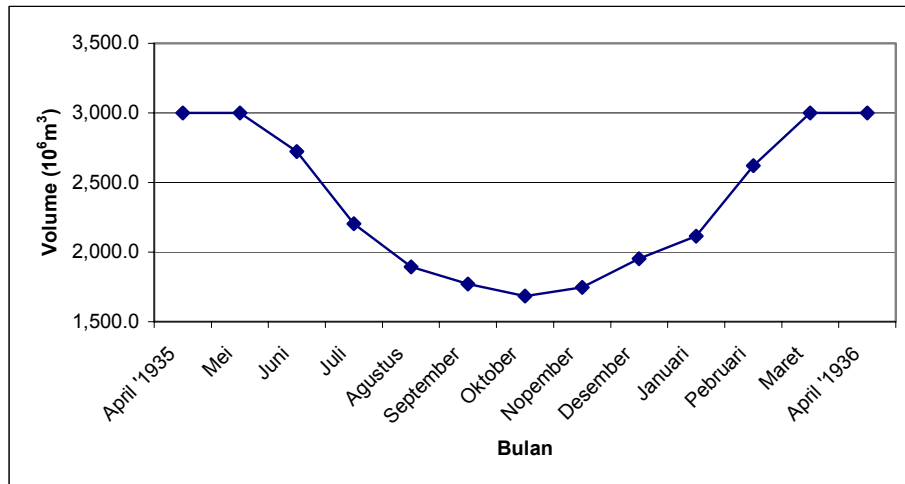
Tabel D.2 Periode Satu Tahun (tahun 1936 - 1937)

Bulan	V_t ($10^6 m^3$)	E_t ($10^6 m^3$)	I_t ($10^6 m^3$)	Q_t ($10^6 m^3$)	100% Q_t ($10^6 m^3$)	V_{t+1} awal ($10^6 m^3$)	V_{t+1} akhir ($10^6 m^3$)
April '1936	3,000.0	6.8	812.0	332.0	332.0	3,473.2	3,000.0
Mei	3,000.0	7.2	539.0	388.0	388.0	3,143.8	3,000.0
Juni	3,000.0	6.5	237.0	539.0	539.0	2,691.5	2,691.5
Juli	2,691.5	7.0	129.0	584.0	584.0	2,229.6	2,229.6
Agustus	2,229.6	6.9	116.0	343.0	343.0	1,995.7	1,995.7
September	1,995.7	6.4	74.0	166.0	166.0	1,897.3	1,897.3
Oktober	1,897.3	6.6	221.0	217.0	217.0	1,894.7	1,894.7
Nopember	1,894.7	6.8	738.0	394.0	394.0	2,231.9	2,231.9
Desember	2,231.9	1.1	597.0	367.0	367.0	2,460.8	2,460.8
Januari	2,460.8	4.6	515.0	287.0	287.0	2,684.2	2,684.2
Pebruari	2,684.2	4.9	865.0	248.0	248.0	3,296.3	3,000.0
Maret	3,000.0	6.6	1,012.0	271.0	271.0	3,734.4	3,000.0
April '1937	3,000.0						

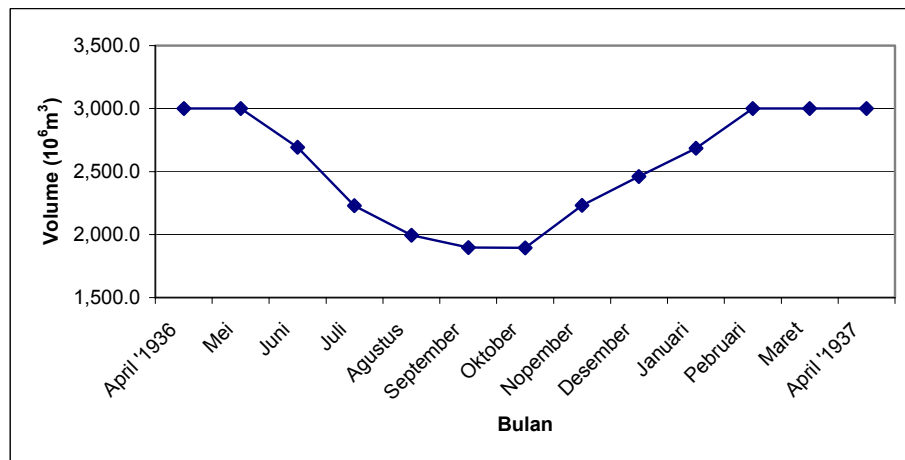
Volume minimum = 1,894.7
Syarat Volume Min = 1,540.0

Tabel D.3 Periode Satu Tahun (tahun 1937 - 1938)

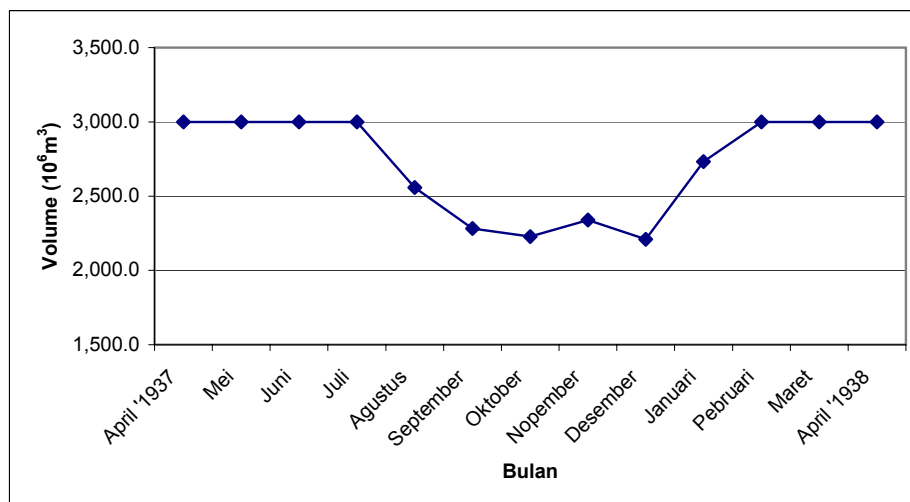
Bulan	V_t (10^6m^3)	E_t (10^6m^3)	I_t (10^6m^3)	Q_t (10^6m^3)	100% Q_t (10^6m^3)	V_{t+1} awal (10^6m^3)	V_{t+1} akhir (10^6m^3)
April '1937	3,000.0	6.8	941.0	332.0	332.0	3,602.2	3,000.0
Mei	3,000.0	7.2	857.0	388.0	388.0	3,461.8	3,000.0
Juni	3,000.0	6.5	636.0	539.0	539.0	3,090.5	3,000.0
Juli	3,000.0	7.4	150.0	584.0	584.0	2,558.6	2,558.6
Agustus	2,558.6	7.5	74.0	343.0	343.0	2,282.1	2,282.1
September	2,282.1	6.9	118.0	166.0	166.0	2,227.2	2,227.2
Oktober	2,227.2	7.2	336.0	217.0	217.0	2,339.0	2,339.0
Nopember	2,339.0	7.7	271.0	394.0	394.0	2,208.2	2,208.2
Desember	2,208.2	1.1	891.0	367.0	367.0	2,731.2	2,731.2
Januari	2,731.2	4.8	838.0	287.0	287.0	3,277.3	3,000.0
Pebruari	3,000.0	5.2	515.0	248.0	248.0	3,261.8	3,000.0
Maret	3,000.0	6.6	1,135.0	271.0	271.0	3,857.4	3,000.0
April '1938	3,000.0						
						Volume minimum =	2,208.2
						Syarat Volume Min =	1,540.0



Gambar D.1 Contoh grafik volume waduk 1 tahun (April 1935-April 1936)



Gambar D.2 Contoh grafik volume waduk 1 tahun (April 1936-April 1937)



Gambar D.3 Contoh grafik volume waduk 1 tahun (April 1937-April 1938)

Lampiran E
Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

2) Penyusun

NAMA	LEMBAGA
Dr. Ir. Agung Bagiawan Ibrahim, M.Eng	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. BCEOM and Wiratman & Ass, Water Management System for Kedung Ombo Multipurpose Dam and Irrigation project, Reservoir Operation Rules, paper no.6, Feb. 1990.
2. Chow, V.T, Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw Hill., 1964.
3. Goodman, A. Principles of Water Resources Planning, Prentice–Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
4. Maidment, D.R, Handbook of Hydrology, Chapt. 27, pp. 27.11-27.25, Mc Graw Hill., 1992
5. Puslitbang Pengairan, Pola Pengoperasian Waduk Saguling, Cirata dan Juanda, Des, 1988.
6. Yeh.W.W.G., Reservoir Management and Operation Model, A stage of the art review, Water Resources Research, Vol. 21, No. 12, pp. 1797 – 1818, 1985.