

Pengoperasian dan Umur Guna Waduk (Studi Kasus : Waduk Cimeta Padalarang)

Sri Legowo¹⁾
Iwan K. Hadihardaja²⁾
Susi Rabuanawati³⁾

Abstrak

Metode simulasi dan optimasi merupakan dua metode yang sering digunakan dalam pengelolaan sumberdaya air. Dalam penulisan jurnal ini metode tersebut digunakan untuk memperoleh suatu metode pemanfaatan sumberdaya air dari Waduk Cimeta pada Sungai Cimeta - Jawa Barat. Metode simulasi yang digunakan adalah untuk mencoba berbagai pemanfaatan kebutuhan air diantaranya air minum, irigasi dan industri mulai dari tahun 2005 sampai 2030. Dari optimasi dengan program linier untuk fungsi tujuan memaksimalkan release dan keuntungan menghasilkan keuntungan untuk tahun 2005 (Rp. 5,341,963,401.29), tahun 2010 (Rp. 5,502,992,697.29), tahun 2020 (Rp. 6,220,765,679.09) dan tahun 2030 (Rp. 7,508,548,171.86). Peningkatan keuntungan tersebut terjadi karena adanya peningkatan kebutuhan air. Hasil perhitungan optimasi dengan program linier didapatkan bahwa Waduk Cimeta hanya mencapai optimum pada tahun 2010 karena release yang dihasilkan belum mampu memenuhi kebutuhan air minum, irigasi dan industri pada tahun 2020 dan 2030.

Metode yang digunakan untuk menentukan umur guna Waduk Cimeta adalah metode dengan Trap Efficiency yang tergantung pada perbandingan antar kapasitas tampungan waduk (C) dan inflow (I) tahunan dari waduk yang bersangkutan. Efficiency tangkapan suatu waduk akan berkurang sejalan dengan umurnya, karena kapasitas waduk akan dikurangi oleh tumpukan sedimen. Dengan diketahuinya kapasitas storage ($0.7996 \times 10^6 \text{ m}^3$) dan inflow sedimen tahunan ($0.0777 \times 10^6 \text{ m}^3$) maka penentuan umur guna waduk terhadap kapasitas tampungan pada elevasi + 735 dengan berbagai nilai Trap Efficiency pada beberapa persentase penurunan volume storage ($\Delta V = 5\%$, 10% , 20% dan 80%) menunjukkan bahwa umur guna waduk berdasarkan waktu pengisian tampungan oleh sedimen adalah 21.49 tahun dengan $\Delta V = 5\%$, 21.337 tahun dengan $\Delta V = 10\%$, 20.641 tahun dengan $\Delta V = 20\%$ dan 19.038 tahun dengan $\Delta V = 80\%$. Jadi pada berbagai tahap persentase volume tampungan (ΔV) yang dipakai adalah pada tahap penurunan yang paling besar yaitu $\Delta V = 5\%$ dengan umur guna waduk adalah 21.49 tahun

Kata-kata Kunci: Simulasi neraca air, optimasi program linier, Waduk Cimeta, trap efficiency.

Abstract

Simulation and optimization methods is often used in management of water resources. In this journal, the methods are used to get method exploiting of water resources from accumulating Cimeta reservoir at River of Cimeta - West Java. Method Simulation is used to try various exploiting of amount of water required among others drinking water, irrigation and industrial start from year 2005 until 2030. From optimization method with linear program to target function of maximizing advantage and release yield advantage for year 2005 (Rp. 5,341,963,401.29), year 2010 (Rp. 5,502,992,697.29), year 2020 (Rp. 6,220,765,679.09) and year 2030 (Rp. 7,508,548,171.86). The increasing of benefit is got because there is increasing of water demand. The result of calculation optimization method with linear program is got that Cimeta reservoir is only reach optimum in 2010 because release is produced by Waduk Cimeta is not good enough to meet the demand water for domestic, irrigation and industry in 2020 and 2030.

The method is used to determine the useful age of Cimeta reservoir is Trap Efficiency method which depend on comparison between capacity of storage reservoir (C) and inflow (I) annual of the reservoir. Capture efficiency of reservoir will decrease in line with the age, because capacity of reservoir will decreased by sediment filled. As known that capacity of storage ($0.7996 \times 10^6 \text{ m}^3$) and annual sediment inflow ($0.0777 \times 10^6 \text{ m}^3$) then determination useful age of reservoir to capacity of storage at elevation + 735 by various value Trap Efficiency at some percentages degradation volume of storage ($\Delta V = 5\%$, 10% , 20% dan 80%) indicate that the useful of

-
1. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-ITB
 2. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-ITB
 3. Mahasiswa Pascasarjana Rekayasa Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil, FTSL-ITB.

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 28 Agustus 2006 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 11 September 2006 - 12 Oktober 2006. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 13 Oktober 2006 hingga 29 Nopember 2006.

age is based on the time of filling storage by sedimen is 21.49 years at $\Delta V=5\%$, 21.337 years with $\Delta V=10\%$, 20.641 years with $\Delta V=20\%$ and 19.038 years with $\Delta V=5\%$. So at various phase of percentage volume storage (ΔV) which is used is the biggest degradation phase that is $\Delta V=5\%$ with the useful age of reservoir is 21.49 years.

Keywords: Balance water simulation, linear program optimation, Cimeta Reservoir, trap effisiensi.

1. Pendahuluan

Kebutuhan air dimasa mendatang akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan berkembangnya pembangunan di segala bidang. Kondisi ideal yang diinginkan oleh setiap orang adalah tersedianya air sepanjang waktu dalam jumlah yang cukup dan dengan kualitas yang memadai. Oleh karena itu upaya-upaya yang ditujukan untuk melestarikan sumber daya air demi meningkatkan ketersediaan air akan sangat berguna bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Pembangunan sumberdaya air dalam kaitannya dengan pengembangan wilayah sungai merupakan salah satu bagian dari pembangunan nasional secara menyeluruh untuk mencapai tujuan dalam rangka meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat.

Pengembangan wilayah sungai sebagai unsur sumber daya alam adalah merupakan salah satu kegiatan pembangunan untuk mencapai tujuan tersebut. Manfaat yang paling optimal dapat dipandang dalam berbagai aspek tergantung dari fungsi dan masalah dari waduk yang ditinjau. Aspek yang ditinjau tersebut adalah aspek pemenuhan kebutuhan air di hilir waduk yaitu:

1. Meminimalkan kekurangan air (*minimal shortage*)
2. Memaksimalkan penyaluran air (*maximum release*) atau memaksimalkan keuntungan

Kebutuhan air tidak selamanya terpenuhi oleh sumberdaya air yang ada, oleh karena itu diperlukan tampungan untuk menampung kelebihan air pada saat kelebihan dan menyalurkan pada saat dibutuhkan. Salah satu bentuk tampungan adalah waduk. Dengan adanya waduk diharapkan dapat mengubah pola aliran sedemikian rupa sehingga lebih bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Keterbatasan akan sumberdaya air yang ada menyebabkan perlunya pola operasi waduk agar pemanfaatan air yang dilakukan bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal, salah satunya adalah dengan metode simulasi dan optimasi program linier.

Dalam melestarikan waduk sebagai sarana pemanfaatan sumber air, masalah berat yang dihadapi adalah masalah erosi dan sedimentasi yang memenuhi seluruh tampungan waduk sehingga dikhawatirkan tidak akan mencapai umur waduk yang direncanakan. Dengan menggunakan beberapa formula serta batasan

yang jelas dalam suatu daerah aliran sungai pada suatu periode tertentu dan tak dapat dihindari waduk yang merupakan potensial besar sebagai tempat sedimentasi. Besarnya sedimentasi dapat dihitung dengan beberapa formula dan ini sangat mempengaruhi umur waduk.

2. Kajian Daerah Studi

Letak dan lokasi waduk Cimeta terletak pada sungai Cimeta. Secara administrative lokasi pekerjaan kajian teknis kelayakan Pembangunan Waduk Cimeta masuk wilayah dua Kecamatan yaitu Kecamatan Ngamprah dan Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bandung. Skema inflow dan outflow disajikan pada **Gambar 1**.

Inflow yang masuk ke waduk berasal dari sungai Cimeta dengan luas aliran sungai 182,62 km². Adapun data teknis waduk disajikan pada **Tabel 1**.

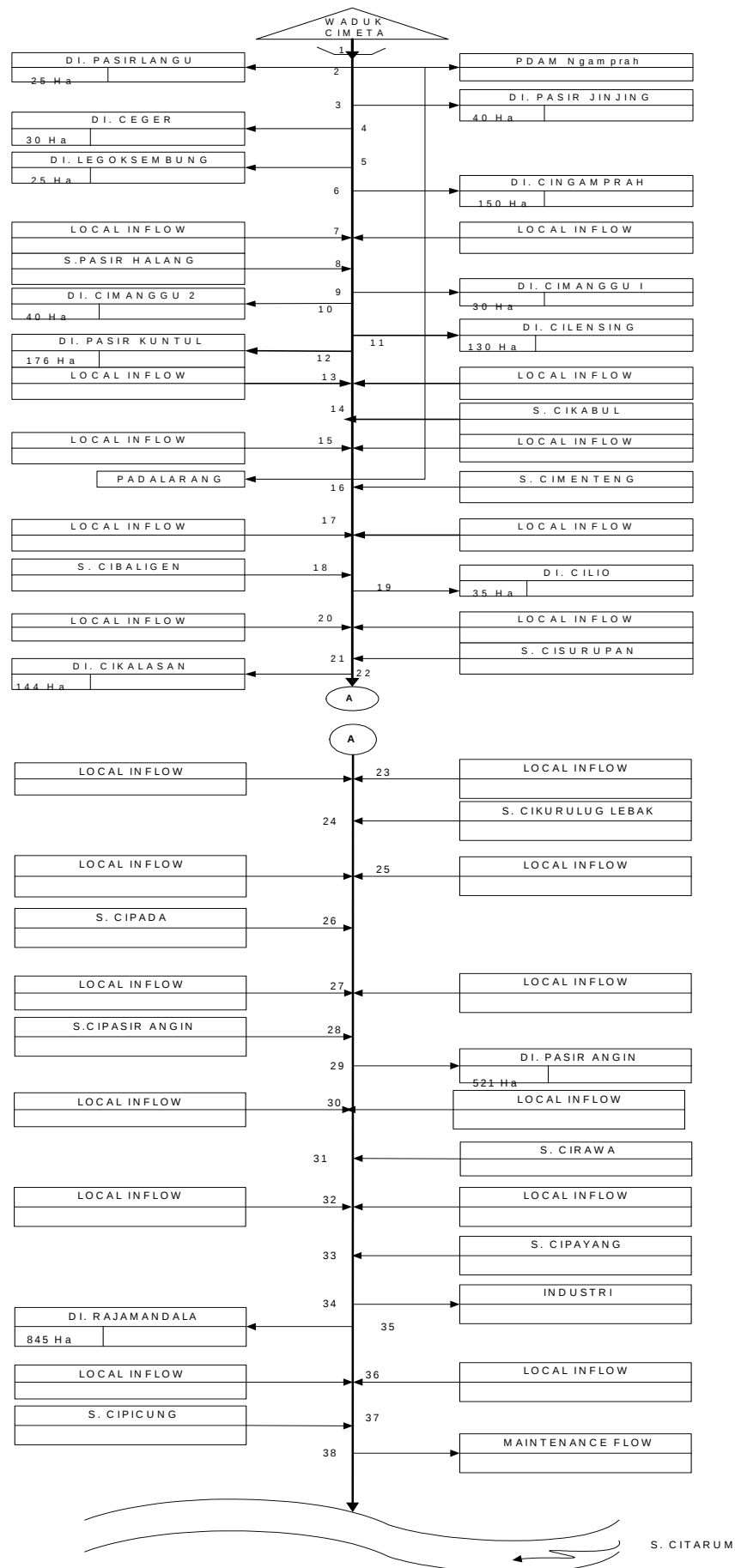
Sungai Cimeta yang mempunyai hulu di Gunung Burangrang dan bermuara di sungai Citarum dengan titik pertemuan di hilir jembatan Citarum Rajamandala, mempunyai panjang ±39,50. Masukan untuk waduk Cimeta ini adalah untuk kurun waktu 25 Th yaitu mulai tahun 2005 sampai dengan tahun 2030. Ketersediaan data curah hujan DPS Cimeta dan sekitarnya meliputi Sta. Sukawana (147), Bandung Meteo (163), Ciranjang (122), Rajamandala (124), Pasir Gombang (123) dan Cibuni (133).

3. Model Program Linier

Analisis sistem adalah suatu metode untuk mempelajari dan menganalisa berbagai aspek dari suatu sistem. Analisa sistem sumber daya air bertujuan untuk memodifikasikan bekal air (*water supply*) yang tersedia secara alami. Dengan menggunakan metode analisis sistem, diharapkan air yang tersedia secara alami tersebut dan pengoperasiannya yang belum dilakukan secara optimal, dapat menjadi bekal air yang dapat diandalkan dan didistribusikan

Tabel 1. Data teknis waduk

Parameter	Besaran
Elevasi Muka Air Maks (m)	+740
Volume Air Maks (m ³)	1,349,421
Elevasi Muka Air Min (m)	+710
Volume Air Min (m ³)	1580
Luas genangan (ha)	122,240
Luas DPS (km ²)	182,62
Tinggi waduk (m)	29
Panjang waduk (m)	140
Lebar mercu (m)	8



Gambar 1. Skema inflow dan outflow sepanjang Sungai Cimeta

secara optimal. Menurut Warren A. Hall dan John A. Dracup, 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*). Dengan keseimbangan air di waduk adalah sebagai berikut:

$$S_o + I_j + P_j - E_j - O \geq S_{maks},$$

$$\text{maka } S_j = S_{maks} \quad (1)$$

$$S_o + I_j + P_j - E_j - O \leq S_{min},$$

$$\text{maka } S_j = S_{min} \quad (2)$$

dimana:

P_j = Presipitasi (mm);

S_o = storage awal (m^3);

S_{maks} = storage maksimum (m^3);

S_{min} = storage minimum (m^3);

E_j = evaporasi (mm);

E_p = evaporasi pan (mm);

A_j = luas permukaan waduk (m^2).

Teknik optimasi adalah proses sistematis yang bergantung dari algoritma optimasi untuk memperoleh hasil terbaik. Model optimasi juga disebut sebagai model pengambilan keputusan, dimana pada dasarnya mempunyai sistematisa kerja yang membandingkan semua keputusan-keputusan yang dapat dilaksanakan dan pada tahap akhir dapat dipilih satu alternatif yang terbaik.

Metode optimasi dilakukan dengan program linier yaitu bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan dan release dari kebutuhan air yang didapat dari hasil proses simulasi, yaitu untuk kebutuhan air minum, irigasi dan industri.

Teknik optimasi program linier yang dilakukan pada studi ini dikombinasikan dengan teknik simulasi, sehingga dapat dilakukan perbandingan hasil kedua metode tersebut. Menurut Undang-undang no. 11 tahun 1974, prioritas penggunaan air adalah untuk air minum, selanjutnya diikuti irigasi, industri, PLTA dan lain-lain. Fungsi tujuan pada teknik optimasi program

linier pada pengelolaan waduk (alokasi air) dalam studi ini adalah sebagai berikut:

Max Benefit $Z =$

$$C_1 \sum_{t=1}^{12} X(PDAM) + C_2 \sum_{t=1}^{12} X(DI) + C_3 \sum_{t=1}^{12} X(IND)$$

dimana:

C_1 = harga satuan air minum (Rp);

C_2 = harga satuan air untuk irigasi (Rp);

C_3 = harga satuan air untuk industri (Rp);

XPDAM= Outflow untuk PDAM (m^3)

XDI = Outflow untuk Irigasi (m^3)

XIND = Outflow untuk Industri (m^3)

Persamaan untuk pengoperasian waduk dinyatakan sebagai berikut :

$$Max R = \sum_{t=1}^{12} R_t \quad (3)$$

Fungsi tujuan memaksimalkan Release R:

$$V_t = V_{t-1} + I_t - R_t - E_t \quad (4)$$

Fungsi kendala :

$$V_t \leq V_{max}$$

$$V_t \geq V_{min}$$

dimana:

V_t = Volume tampungan akhir pengoperasian (m^3)

V_{t-1} = Volume tampungan awal pengoperasian (m^3)

I_t = Inflow bulanan (m^3)

R_t = Release bulanan (m^3)

E_t = Evaporasi bulanan (m^3)

4. Sedimentasi Mempengaruhi Umur Guna Waduk

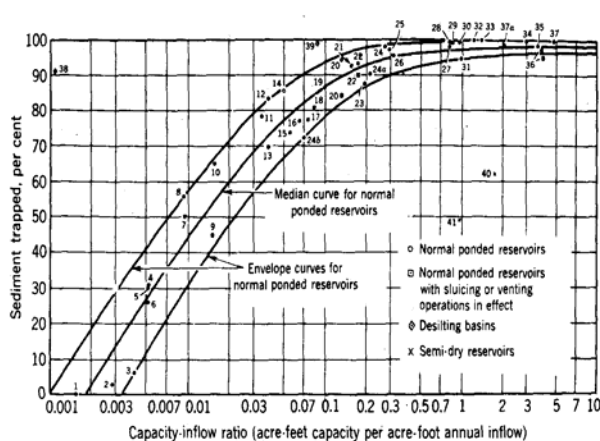
Tujuan akhir dari semua waduk adalah diisinya dengan sedimen. Jika sedimen inflow besar dibandingkan dengan kapasitas waduk, umur guna waduk mungkin menjadi lebih singkat. Persediaan air waduk yang kecil pada sungai Solomon dekar Osborne, Kansas, yang diisi dengan sedimen sepanjang tahun pertama setelah selesai. Perencanaan waduk harus juga mempertimbangkan laju kemungkinan sedimentasi untuk menentukan apakah umur guna waduk yang diusulkan akan cukup terjamin pembangunan.

Pengetahuan kita mengenai sedimentasi waduk yang didasarkan pada survei untuk menentukan akumulasi laju sedimen pada waduk yang telah ada pada beberapa tahun. Survei ini mengidentifikasi berat spesifik jatuhnya sedimen dan persentase masuknya sedimen yang mana disimpan di waduk. Data ini perlu

untuk menginterpretasikan data aliran beban sedimen yang berkaitan sedimentasi waduk. Data ini perlu untuk menginterupsi data aliran beban sedimen yang memperlihatkan berbagai umur simpanan dan karakter sedimen. Berat jenis kering sampel sedimen dari waduk berkisar dari 40 lb/cu ft ke 110 lb/cu ft dengan rata-rata berkisar 60 lb/cu ft untuk sedimen yang baru dan 80 lb/cu ft untuk sedimen yang lama. Persen masuknya sedimen yang ditahan pada waduk (*Trap Efficiency*) sebagai fungsi rasio kapasitas waduk pada total inflow. Pada waduk yang kecil dengan aliran yang besar yang melewati inflow yang begitu cepat sehingga butiran-butiran sedimen tidak jatuh tetapi debit aliran menurun. Disamping itu pada waduk yang besar air yang ditampung untuk beberapa tahun dan membiarkan hampir keseluruhan sedimen melayang berpindah. **Gambar 2** menjelaskan hubungan *Trap Efficiency* waduk dengan rasio kapasitas inflow pada basis data dari hasil survei pada waduk-waduk yang ada. *Trap Efficiency* suatu waduk menurun sesuai dengan umur kapasitas waduk yang semakin berkurang dengan akumulasi sedimen. Oleh karena pengisian waduk secara penuh membutuhkan waktu yang sangat panjang, tetapi sebenarnya umur guna waduk dapat diakhiri jika kapasitasnya dipenuhi oleh sedimen yang cukup untuk mencegah waduk beroperasi sesuai dengan tujuan yang dimaksud. Pada **Gambar 2** bisa digunakan untuk menghitung jumlah sedimen yang terperangkap di waduk jika aliran beban sedimen rata-rata tahunan diketahui. Volume yang dipenuhi oleh sedimen dapat juga kemudian dihitung dengan menggunakan harga berat jenis yang beralasan untuk sedimen yang tersimpan. Umur guna ini bisa dihitung dengan menentukan jumlah waktu yang di perbolehkan untuk mengisi volume tampungan kritis.

5. Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air

Pada pembangunan waduk Cimeta ini ada beberapa sumber inflow yang memberikan sumbangan dalam



Gambar 2. *Trap efficiency* waduk sebagai fungsi dari rasio kapasitas inflow

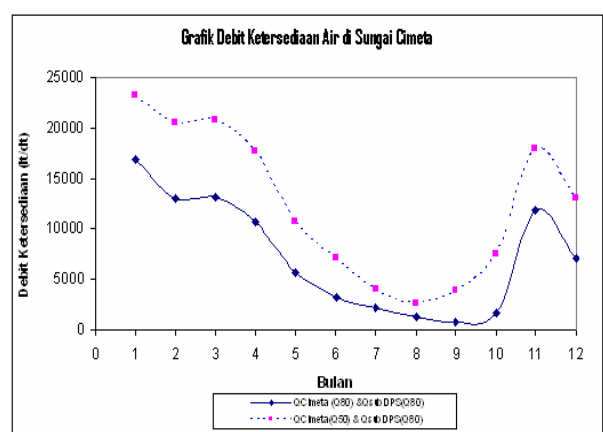
ketersediaan air. Sumber inflow tersebut untuk memenuhi berbagai kebutuhan untuk 2 (dua) kecamatan di kabupaten Bandung yaitu kecamatan Padalarang dan Ngamprah.

Pada studi ini, inflow dari sungai-sungai tersebut menggunakan debit dengan kejadian 80% (Q_{80}) dan 50% (Q_{50}). Debit dengan kejadian 80% (Q_{80}) digunakan untuk perhitungan simulasi air ketika tanpa adanya waduk dan air mengalir sebagai *direct runoff*. Pengambilan Q_{80} karena di sepanjang sungai Cimeta banyak terdapat daerah irigasi. Hal tersebut karena untuk keperluan irigasi biasa digunakan debit andalan 80%, artinya dengan kemungkinan 80% debit yang terjadi adalah lebih besar atau sama dengan debit tersebut. Debit Q_{50} digunakan ketika adanya waduk Cimeta dan akan dilakukan pengaturan pengeluaran air melalui waduk tersebut.

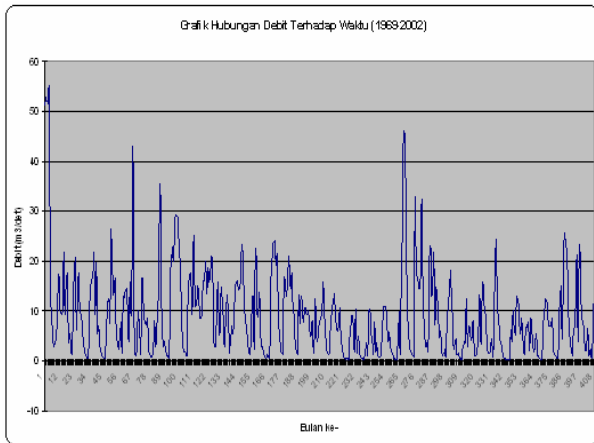
Untuk lebih jelasnya debit rata-rata bulanan DPS Cimeta dapat dilihat pada **Gambar 3**. Sedangkan debit bulanan untuk 34 tahun DPS Cimeta disajikan pada **Gambar 4**.

Waduk Cimeta merupakan waduk yang direncanakan fungsinya untuk memenuhi kebutuhan seperti air minum, irigasi, industri, dan sport center. Sesuai dengan kebijakan pemerintah waduk Cimeta prioritaskan pemanfaatannya adalah untuk air minum, apabila air minum telah terpenuhi, maka kelebihannya akan dimanfaatkan untuk yang lain seperti irigasi, industri dan sport center. Kebutuhan untuk air minum adalah 150 lt/KK/hr, mengairi daerah irigasi maksimal 2191 Ha, untuk industri sebesar 60 liter/pekerja/hari.

Besarnya kebutuhan air total untuk tahun 2005 dan proyeksi jangka pendek, menengah dan panjang sampai tahun 2030 dalam bentuk tabel kebutuhan air untuk DMI (Domestik, Municipal, Industri) dan kebutuhan air untuk irigasi selengkapnya disajikan pada **Tabel 2** dan **Gambar 5**.



Gambar 3. Grafik debit ketersediaan air Sungai Cimeta



Gambar 4. Debit bulanan DPS Cimeta 34 tahun

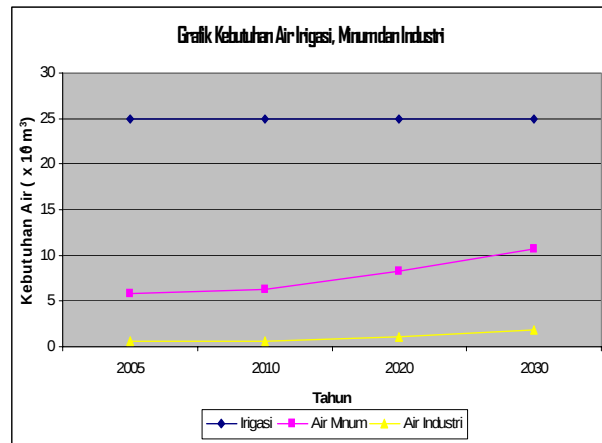
Berdasarkan perhitungan Neraca air (*Water Balance*) diperoleh hasil bahwa pada musim kemarau (Juni, Juli dan Agustus) terjadi kelebihan dan memenuhi kebutuhan pada tahun-tahun yang diproyeksikan yaitu untuk saat sekarang (2005), jangka pendek (2010), jangka menengah (2020) dan jangka panjang (2030).

Dari hasil kumulatif keseluruhan volume ketersediaan air dibandingkan jumlah keseluruhan kebutuhan air terjadi kelebihan air untuk saat sekarang, jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang. Untuk saat ini (2005) terjadi kelebihan air sebesar **28,387,359.36 m³**, untuk jangka pendek (2010) terjadi kelebihan sebesar **21,049,381.44 m³**, untuk jangka menengah (2020) terjadi kelebihan sebesar **18,559,117.44 m³** dan jangka panjang (2030) terjadi kelebihan sebesar **15,238,765.44 m³**.

Hal tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa:

$S \text{ Volume Ketersediaan Air} > \Sigma \text{ Volume Kebutuhan Air.}$

Dari hasil perhitungan neraca air tersebut dapat disimpulkan bahwa pada DPS Cimeta diperlukan rekayasa bangunan air berupa sarana penampungan air (waduk) yang bertujuan untuk perencanaan pengalokasian air. Sehingga diharapkan pada tiap-tiap bulannya kebutuhan air dapat terpenuhi dengan memprioritaskan kebutuhan yang paling mendesak. Kondisi saat ini Kota Padalarang dan industrinya sangat membutuhkan suplai air baku tersebut,

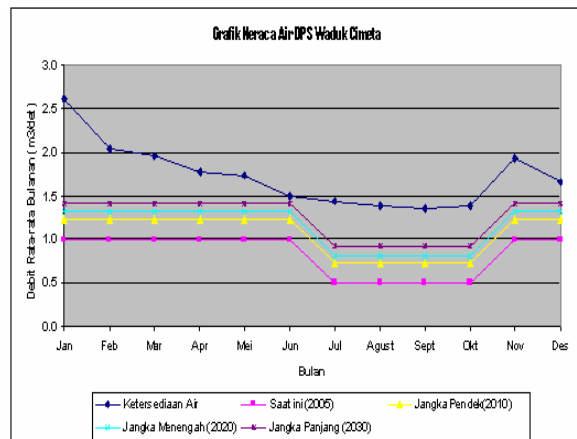


Gambar 5. Grafik kebutuhan air irigasi, minum dan irigasi

sedangkan Sport Centre dan Kota Ngamprah yang direncanakan sebagai ibu kota Kabupaten Bandung Barat, masih dalam tahap rencana. Mengacu pada hal tersebut maka pembangunan Waduk Cimeta (Alternatif 3) lebih mendesak, dengan demikian untuk Detail desain dipilih Waduk Cimeta (Alternatif 3). Adapun hasil perhitungan Neraca Air DPS Waduk Cimeta dapat disajikan pada **Gambar 6**.

6. Analisis dan Diskusi

Metode simulasi dilakukan dengan menggunakan hukum keseimbangan air (*water balance*) di waduk. Pada studi ini proses simulasi air ini menggunakan 2



Gambar 6. Grafik neraca air DPS Waduk Cimeta

Tabel 2. Kebutuhan air irigasi, minum dan industri

Tahun	Keb.irigasi m ³	Air minum m ³	Air Industri m ³	Total kebutuhan m ³
2005	24890371.20	5865696.00	553141.44	31309208.64
2010	24890371.20	6338736.00	630720.00	31859827.20
2020	24890371.20	8262432.00	1072224.00	34225027.20
2030	24890371.20	10692864.00	1766016.00	37349251.20

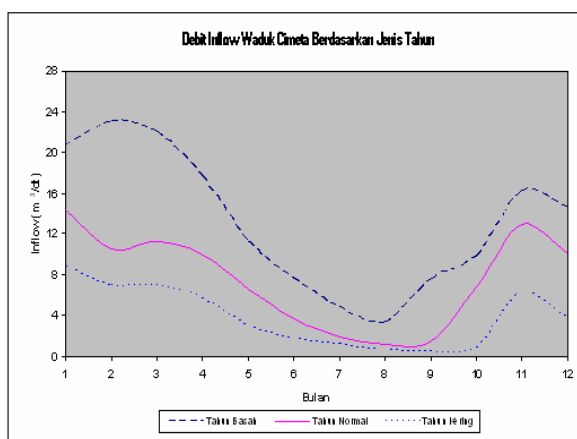
(dua) alternatif, yaitu:

1. Inflow dari DPS Cimeta yang dikeluarkan **tanpa** waduk Cimeta menggunakan debit dengan kejadian 80% atau lebih (Q_{80}) dan inflow dari hilir DPS Cimeta sungai dan kawasan *local inflow* pada sungai Cimeta juga menggunakan Q_{80} . Selanjutnya alternatif ini disebut dengan Q_{80} .
2. Inflow dari DPS Cimeta yang dikeluarkan **oleh** waduk Cimeta menggunakan debit rata-rata bulanan (Q_{50}) dan inflow dari hilir DPS Cimeta sungai dan kawasan *local inflow* pada sungai Cimeta menggunakan debit dengan kejadian 80% atau lebih (Q_{80}). Selanjutnya alternatif ini disebut dengan Q_{50} .

Simulasi neraca air dilakukan melalui perhitungan dengan cara pohon simulasi untuk memenuhi kebutuhan air minum, irigasi dan industri.

Program optimasi program linier menggunakan hanya satu inflow pada setiap *stage* untuk satu kali perhitungan. Nilai inflow yang digunakan berdasarkan pembagian jenis tahun dan dilakukan untuk operasi bulanan. Dalam perencanaan pengoperasian waduk dengan program optimasi program linier, perhitungan inflow didasarkan atas jenis tahun basah, normal dan kering disajikan **Gambar 7**.

Metode optimasi keuntungan dilakukan dengan menggunakan program linier yang mempunyai fungsi tujuan untuk memaksimumkan keuntungan dan release. Pemilihan kombinasi metode simulasi dan program linier didasarkan pada pertimbangan bahwa hasil simulasi masih dapat dioptimalkan pemanfaatannya dengan program linier. Pengoptimalan fungsi tujuan adalah untuk mendapatkan sejumlah air untuk kebutuhan air penduduk, irigasi dan industri sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal.



Gambar 7. Grafik debit inflow Waduk Cimeta berdasarkan jenis tahun

Hasil yang didapat dari perhitungan optimasi adalah besarnya keuntungan yang diperoleh dari air minum, irigasi dan industri, besarnya volume tampungan setiap bulan, outflow untuk air irigasi, minum dan industri setiap bulan. Proses perhitungan optimasi dilakukan dengan maximize benefit (keuntungan) Z bulanan untuk tahun 2005, 2010, 2020 dan 2030 pada tahun kering, normal dan basah.

Adapun Hasil perhitungan optimasi benefit (keuntungan) program linier tahun 2005 sampai 2030 disajikan pada **Gambar 8**. sampai **Gambar 10**.

Dari hasil perhitungan optimasi keuntungan program linier untuk tahun 2005 pada tahun Normal diperoleh keuntungan sebesar Rp. **5,341,963,401.29** pertahun. Air minum tahunan adalah sebesar **12,869,812.63 m³**. Air industri tahunan adalah sebesar **500,271.84 m³**. Untuk Air irigasi tahunan adalah sebesar **22,329,118.52 m³**. Outflow untuk air irigasi berbeda-beda untuk tiap-tiap bulannya. Outflow irigasi terbesar pada bulan Januari, Maret, Mei dan Desember yaitu sebesar **2.541.801,60 m³**.

Hasil eksekusi pemodelan pengoperasian waduk dengan fungsi tujuan memaksimalkan keuntungan untuk program linier untuk tahun 2010 diperoleh keuntungan sebesar Rp. **5,502,992,697.29** pertahun. Air minum tahunan adalah sebesar **14,897,171.21 m³**. Air industri tahunan adalah sebesar **561,589.63 m³**. Untuk Air irigasi tahunan adalah sebesar **20,949,991.72 m³**. Outflow untuk air irigasi berbeda-beda untuk tiap-tiap bulannya. Outflow irigasi terbesar pada bulan Januari, Maret, Mei dan Desember yaitu sebesar **2.541.801,60 m³**.

Dari hasil perhitungan optimasi keuntungan program linier untuk tahun 2020 diperoleh keuntungan sebesar Rp **6,220,765,679.09** pertahun. Air minum tahunan adalah sebesar **16,795,983.12 m³**. Air industri tahunan adalah sebesar **917,308.44 m³**. Untuk Air irigasi tahunan adalah sebesar **24.890.371,20 m³**. Outflow untuk air irigasi berbeda-beda untuk tiap-tiap bulannya. Outflow irigasi terbesar pada bulan Januari, Maret, Mei dan Desember yaitu sebesar **2.541.801,60 m³**.

Hasil perhitungan optimasi keuntungan program linier untuk tahun 2030 diperoleh keuntungan sebesar Rp. **7,508,548,171.86** pertahun. Air minum tahunan adalah sebesar **18,429,855.40 m³**. Air industri tahunan adalah sebesar **1,065,689.42 m³**. Untuk Air irigasi tahunan adalah sebesar **19,960,593.60 m³**. Outflow untuk air irigasi berbeda-beda untuk tiap-tiap bulannya. Outflow irigasi terbesar pada bulan Januari, Maret, Mei dan Desember yaitu sebesar **2.541.801,60 m³**.

Hasil eksekusi dari optimasi keuntungan dengan menggunakan program linier diperoleh outflow irigasi terkecil untuk tahun 2005, 2010, 2020 sampai dengan tahun 2030 terjadi pada bulan September yaitu sebesar **0 m³**. Pada bulan Januari debit air per luas areal irigasi (q) dalam pola tanam bernilai paling besar yaitu **2.299 m³/detik/ha**. Debit air per luas areal irigasi (q) pada bulan Agustus bernilai paling kecil yaitu **0.197 m³/detik/ha**.

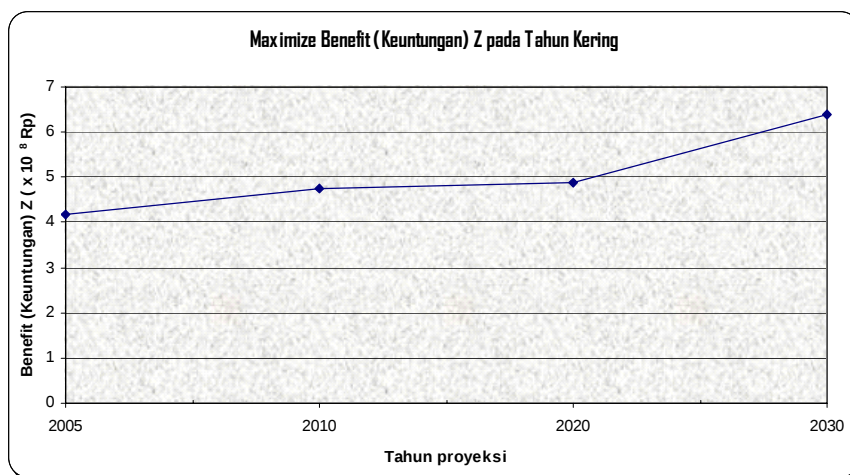
Hasil perhitungan untuk tahun basah, normal dan kering merupakan dasar pada pengoperasian waduk. Jika pengoperasian mengakibatkan elevasi tampungan mendekati atau melebihi batas tahun basah, hal tersebut harus diantisipasi karena akan membahayakan bila terjadi debit yang besar, di mana waduk tidak mampu menampung kelebihan air. Sedangkan jika elevasi tampungan mendekati atau lebih kecil dari batas tahun kering, hal tersebut menyebabkan waduk tidak dapat memenuhi kebutuhan air di hilir waduk untuk waktu yang akan datang.

Pada grafik release optimasi pada tahun kering, normal dan basah diatas dihasilkan bahwa optimasi di tahun-tahun yang diproyeksikan (tahun 2005, 2010, 2020 dan 2030) pada dasarnya memiliki trend yang sama. Hal ini dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa pada bulan Juni hingga September mengalami penurunan release karena pada bulan-bulan tersebut merupakan musim kemarau dimana debit yang masuk ke waduk mulai mengecil dari bulan Juni hingga September. Akan tetapi release yang dihasilkan pada tahun 2030 bulan September di tahun kering sangat kecil jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya dan terjadi peningkatan yang signifikan pada bulan Desember pada tahun 2030 di tahun kering, normal dan basah dan merupakan release yang terbesar. Adapun release yang dihasilkan Waduk Cimeta berdasarkan tahun Normal, Tahun Kering dan Tahun Basah disajikan pada **Gambar 11**.

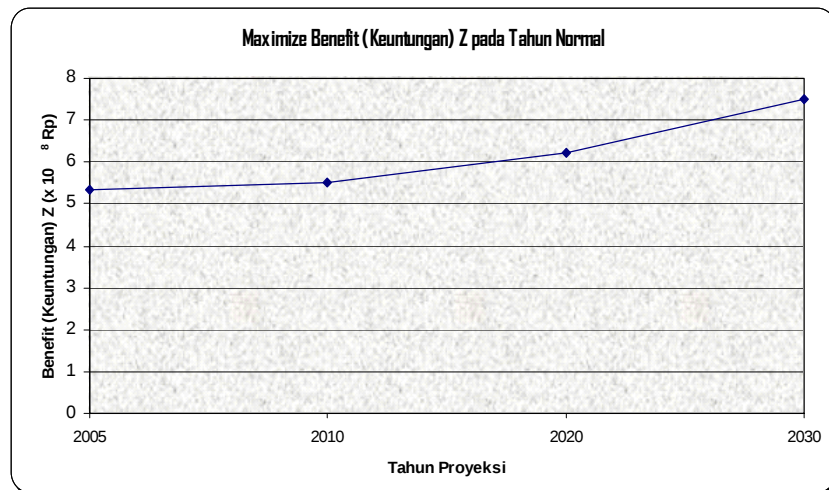
Adapun perbandingan supply dan demand pada setiap pemanfaatannya dapat dilihat pada **Gambar 12 hingga 23**.

Tabel 3. Maximize benefit (keuntungan) Z bulanan pada tahun kering

Bulan	Benefit (Keuntungan) dalam Rupiah			
	2005	2010	2020	2030
Jan	504,512,128.80	521,900,301.60	585,935,488.80	690,103,821.60
Feb	455,688,374.40	471,393,820.80	529,232,054.40	1,055,388,700.80
Mar	494,843,340.34	516,780,269.53	572,646,336.73	666,368,909.53
Apr	448,280,724.77	471,913,166.78	525,977,102.78	616,676,366.78
Mei	392,791,941.35	423,481,174.58	176,013,479.82	573,069,814.58
Jun	279,757,903.27	377,247,878.13	417,288,695.47	437,226,359.47
Jul	239,297,653.14	343,595,921.97	342,278,149.17	362,880,401.97
Aug	177,796,772.97	241,575,170.01	240,586,840.41	256,038,530.01
Sep	148,191,314.20	210,068,521.49	208,793,257.49	228,730,921.49
Okt	201,744,424.84	309,663,952.80	309,663,952.88	330,266,205.63
Nov	408,425,113.46	435,632,099.89	490,971,299.89	581,670,563.89
Des	410,434,469.09	439,111,665.56	496,295,505.56	590,018,078.36
Total	4,161,764,160.64	4,762,363,943.15	4,895,682,163.41	6,388,438,674.12



Gambar 8. Grafik maximize benefit (keuntungan) pada tahun kering



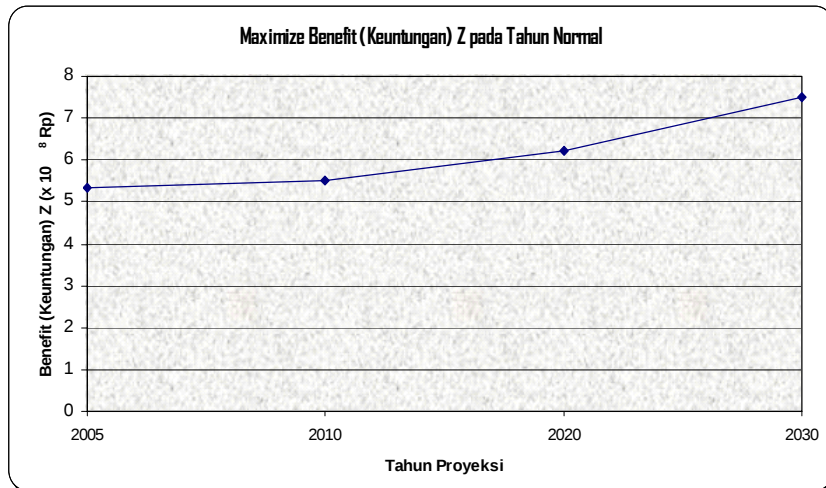
Gambar 9. Grafik maximize benefit (keuntungan) pada tahun normal

Tabel 4. Maximize benefit (keuntungan) Z bulanan pada tahun normal

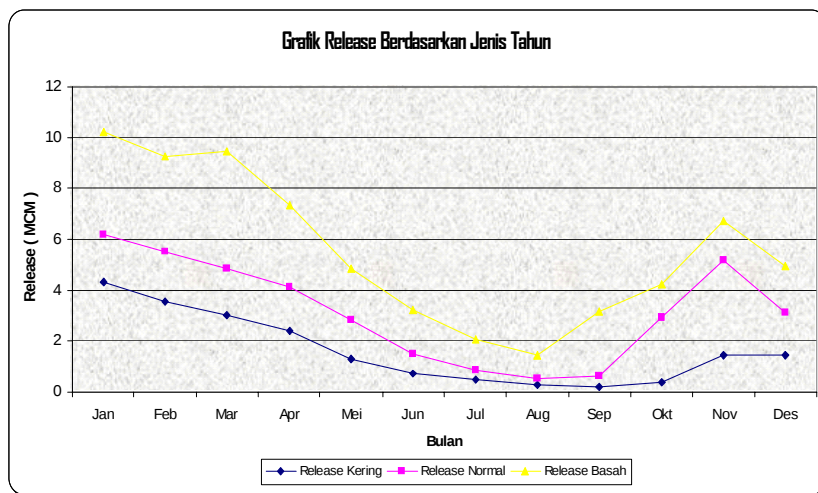
Bulan	Benefit (Keuntungan) dalam Rupiah			
	2005	2010	2020	2030
Jan	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Feb	455,667,206.40	471,372,652.80	537,174,892.80	1,055,367,532.80
Mar	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Apr	488,214,864.00	505,042,128.00	575,544,528.00	667,819,728.00
Mei	477,261,437.79	492,640,810.59	557,324,170.59	642,229,450.59
Jun	398,383,694.20	413,266,958.20	475,863,758.20	558,030,158.20
Jul	374,815,745.72	390,195,118.52	454,878,478.52	490,134,533.68
Aug	322,545,879.85	323,534,209.45	329,158,849.45	337,997,569.45
Sep	343,633,250.93	358,516,514.93	381,443,243.93	394,803,601.54
Okt	482,145,955.22	497,525,328.02	562,208,688.02	647,113,968.02
Nov	488,214,864.00	505,042,128.00	575,544,528.00	667,819,728.00
Des	502,103,117.57	502,103,117.57	582,165,850.37	667,071,130.37
Total	5,341,963,401.29	5,502,992,697.29	6,220,765,679.09	7,508,548,171.86

Tabel 5. Maximize benefit (keuntungan) Z bulanan pada tahun basah

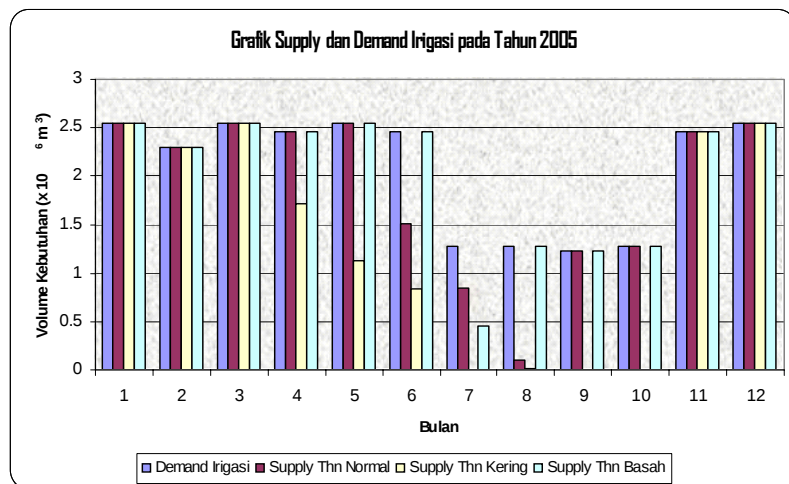
Bulan	Benefit (Keuntungan) dalam Rupiah			
	2005	2010	2020	2030
Jan	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Feb	455,667,206.40	471,372,652.80	537,174,892.80	1,055,367,532.80
Mar	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Apr	488,214,864.00	505,042,128.00	575,544,528.00	667,819,728.00
Mei	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Jun	474,316,334.95	489,199,598.95	551,796,398.95	633,962,798.95
Jul	429,776,513.94	445,155,886.74	509,839,246.74	594,744,526.74
Aug	371,867,587.75	386,917,517.35	449,725,997.35	531,685,037.35
Sep	457,473,890.96	472,357,154.96	534,953,954.96	617,120,354.96
Okt	504,488,692.80	521,876,865.60	594,729,345.60	690,080,385.60
Nov	488,214,864.00	505,042,127.86	575,544,528.00	667,819,728.00
Des	504,488,692.80	504,488,692.80	594,729,345.60	690,080,385.60
Total	5,687,974,725.99	5,867,083,221.85	6,708,226,274.79	8,218,921,634.79



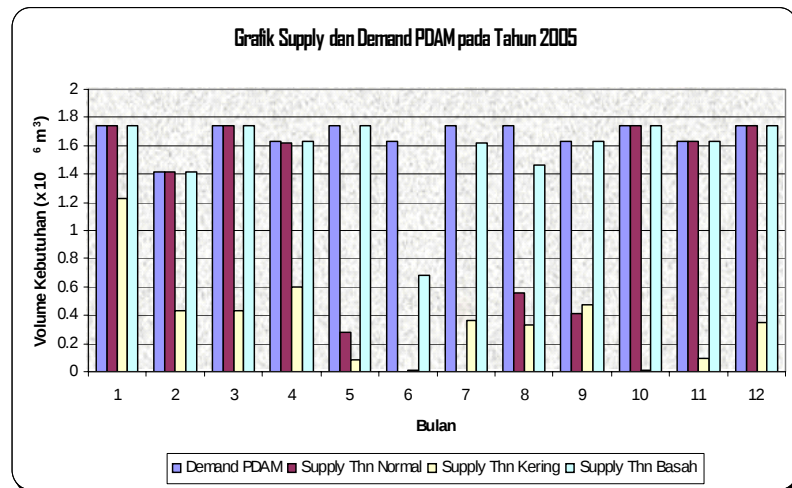
Gambar 10. Grafik *maximize benefit* (keuntungan) pada tahun basah



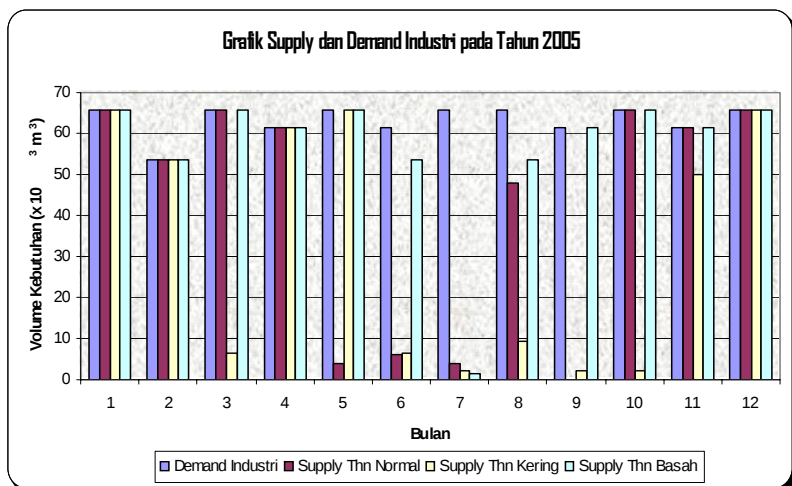
Gambar 11. Grafik release berdasarkan pada jenis tahun



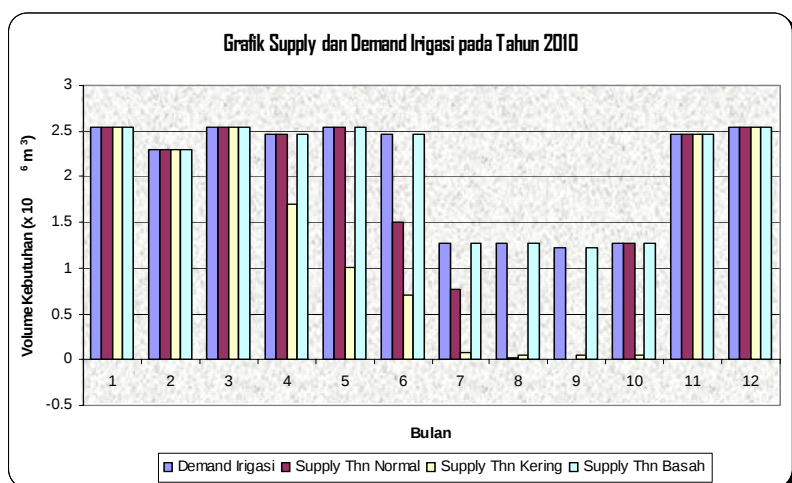
Gambar 12. Grafik *supply* dan *demand* irigasi pada tahun 2005



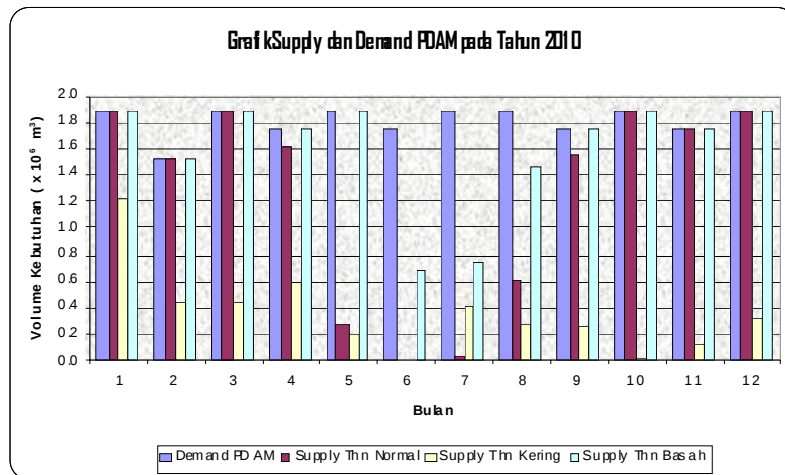
Gambar 13. Grafik supply dan demand PDAM pada tahun 2005



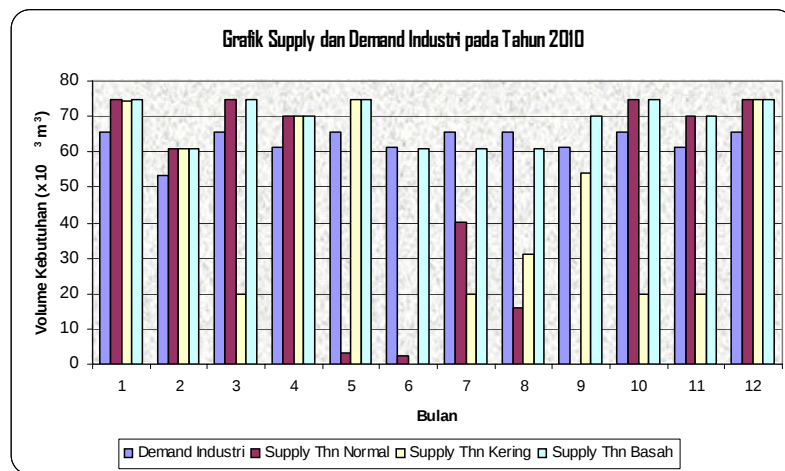
Gambar 14. Grafik supply dan demand industri pada tahun 2005



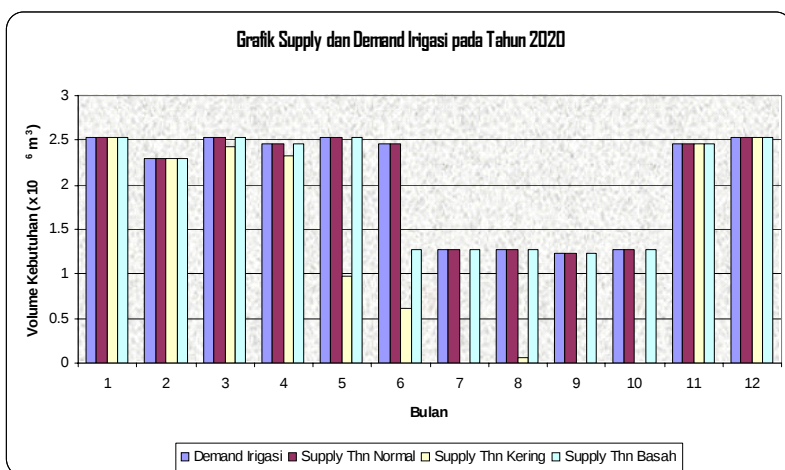
Gambar 15. Grafik supply dan demand irigasi pada tahun 2010



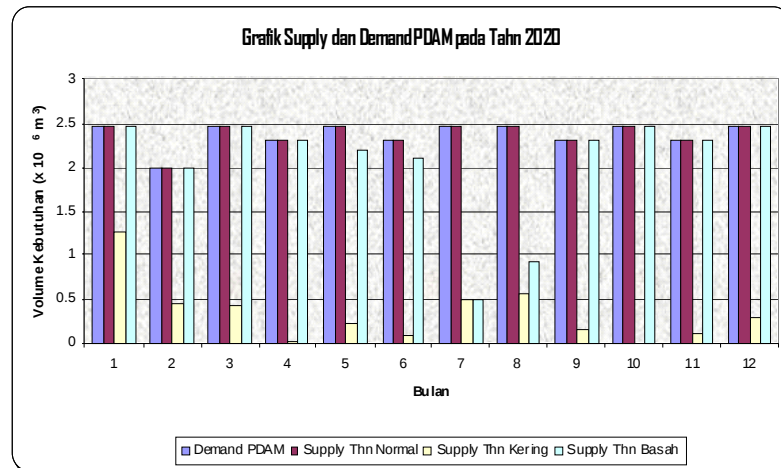
Gambar 16. Grafik *supply* dan *demand* PDAM pada tahun 2010



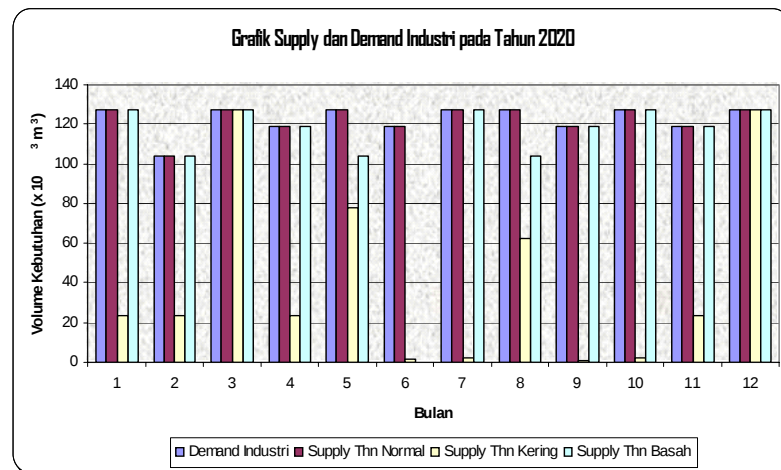
Gambar 17. Grafik *supply* dan *demand* industri pada tahun 2010



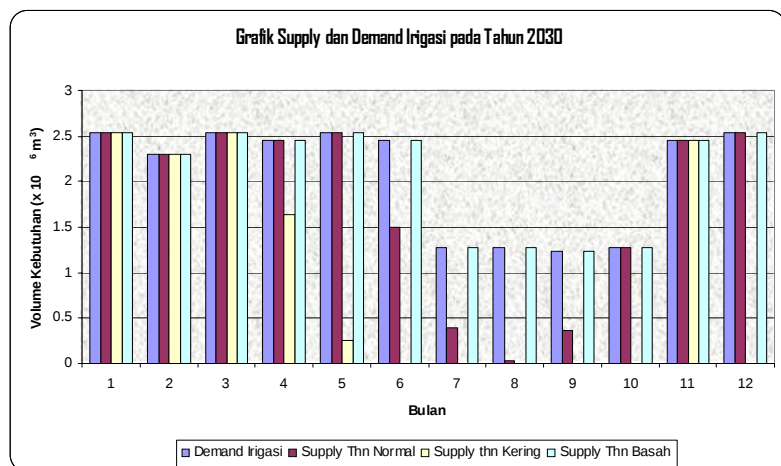
Gambar 18. Grafik *supply* dan *demand* irigasi pada tahun 2020



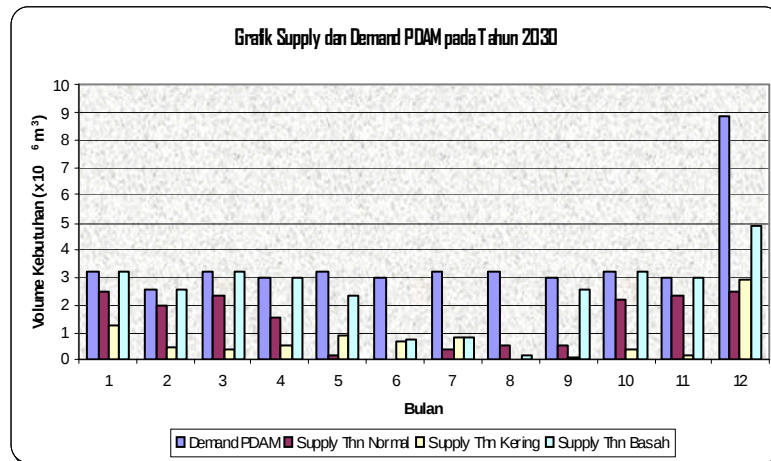
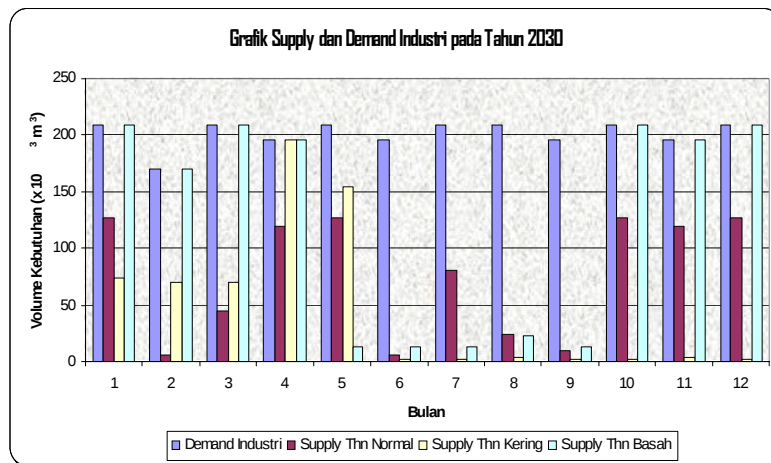
Gambar 19. Grafik supply dan demand PDAM pada tahun 2020



Gambar 20. Grafik supply dan demand industri pada tahun 2020



Gambar 21 Grafik supply dan demand irigasi pada tahun 2030

Gambar 22. Grafik *supply* dan *demand* PDAM pada tahun 2030Gambar 23. Grafik *supply* dan *demand* Industri pada tahun 2030

Pada grafik perbandingan *supply* dan *demand* pada setiap pemanfaatannya yang dihasilkan dari program optimasi linier diatas menunjukkan bahwa *supply* yang dihasilkan pada umumnya dapat memenuhi kebutuhan (*demand*) yang ada terutama pada tahun normal dan tahun basah. Grafik diatas merupakan hasil hitungan optimasi operasi Waduk Cimeta yang dilakukan dengan model optimasi program linier .Hasil optimasi dengan program linier tersebut adalah pola operasi dengan tujuan memaksimalkan release dan keuntungan.

Pada **Gambar 12** menunjukkan bahwa *supply* tahun kering tidak dapat memenuhi *demand* irigasi yang ada pada bulan April hingga Oktober. Malahan pada bulan Juli, September dan Oktober pada tahun kering *supply* yang dihasilkan waduk adalah nol. Sedangkan *supply* pada tahun normal tidak dapat memenuhi *demand* irigasi pada bulan Juni hingga Agustus. Hal ini dilakukan karena untuk mendapatkan maksimum keuntungan dimana harga air irigasi air merupakan harga yang paling murah untuk pemanfaatannya dibandingkan dengan harga air untuk kebutuhan lain.

Pada **Gambar 13** menunjukkan bahwa *supply* pada tahun kering tidak mampu memenuhi *demand* PDAM yang ada sepanjang tahunnya. Sedangkan *supply* pada tahun normal memperlihatkan bahwa Waduk Cimeta hanya dapat memenuhi *demand* PDAM pada bulan Januari, Februari, Maret, Oktober, November dan Desember.

Sedangkan pada **Gambar 14** menunjukkan bahwa *supply* pada tahun kering hanya mampu memenuhi *demand* Industri yang ada pada bulan Januari, Februari, April dan Desember. Sedangkan *supply* pada tahun normal tidak dapat memenuhi *demand* PDAM pada tahun 2005 pada bulan Mei hingga September. Malahan pada bulan September, *supply* yang dihasilkan Waduk Cimeta adalah sebesar 0 m³. Selain itu pada *supply* pada tahun basah tidak mampu memenuhi *demand* yang ditetapkan pada bulan Juni hingga Agustus.

Pada **Gambar 15** menunjukkan bahwa *supply* pada tahun kering yang dihasilkan Waduk Cimeta tidak dapat memenuhi *demand* Irigasi yang ada pada bulan

April hingga Oktober. Sedangkan supply pada tahun normal hanya dapat memenuhi demand Irigasi pada tahun 2010 pada bulan Januari hingga Mei dan Oktober hingga Desember. Sedangkan pada bulan September, supply yang dihasilkan adalah sebesar 0 m³.

Pada **Gambar 16** menunjukkan bahwa supply pada tahun kering tidak mampu memenuhi demand PDAM yang ada sepanjang tahun. Sedangkan supply pada tahun normal tidak dapat memenuhi demand PDAM pada tahun 2010 di bulan April hingga September. Selain itu supply pada tahun basah tidak dapat memenuhi demand yang ada pada bulan Juni hingga Agustus.

Sedangkan pada **Gambar 17** menunjukkan bahwa supply pada tahun kering tidak mampu memenuhi demand Industri yang ada pada bulan Maret, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober dan November. Selebihnya pada bulan Januari, Februari, April, Mei dan Desember dihasilkan supply yang melebihi demand Industri di tahun 2010 yang ditetapkan. Sedangkan supply pada tahun normal hanya mampu memenuhi demand Industri pada tahun 2010 di bulan Januari hingga April dan bulan Oktober hingga Desember dimana bulan-bulan tersebut supply yang tersedia melebihi demand yang ada. Pada supply tahun basah menjelaskan bahwa pada bulan Juli dan Agustus Waduk Cimeta tidak dapat memenuhi demand Industri di tahun 2010. Selain itu pada bulan Januari hingga Mei dan bulan September hingga Desember, supply yang dihasilkan melebihi demand Industri yang ditetapkan pada tahun 2010.

Pada grafik supply dan demand Irigasi pada tahun 2020 menunjukkan bahwa supply pada tahun kering tidak mampu memenuhi demand irigasi yang ada di bulan Maret hingga Oktober. Pada grafik tersebut juga menjelaskan bahwa supply Waduk Cimeta yang dihasilkan pada tahun normal dan tahun basah mampu memenuhi demand yang ada sepanjang tahunnya.

Grafik pada **Gambar 19** memperlihatkan bahwa supply pada tahun kering tidak mampu memenuhi demand PDAM sepanjang tahun tersebut. Sedangkan supply yang dihasilkan Waduk Cimeta pada tahun normal mampu memenuhi demand PDAM di tahun 2020 sepanjang tahun yang diproyeksikan. Akan tetapi supply Waduk Cimeta pada tahun basah hanya mampu memenuhi demand PDAM di bulan Januari hingga April dan bulan September hingga Desember. Hal ini disebabkan pada tahun 2020 karena kebutuhan yang meningkat dan tidak dapat diimbangi dengan debit yang masuk ke waduk.

Pada **Gambar 20** menunjukkan bahwa supply pada tahun kering Waduk Cimeta hanya mampu memenuhi demand Industri di tahun 2020 pada bulan Maret dan

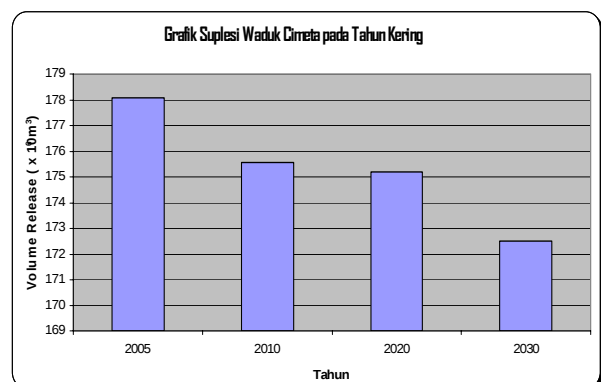
Desember. Sedangkan supply pada tahun normal dan tahun basah mampu memenuhi demand Industri sepanjang tahun tersebut.

Pada grafik supply dan demand irigasi pada tahun 2030 menunjukkan bahwa supply pada tahun kering tidak mampu memenuhi demand Irigasi yang ada di bulan April hingga Oktober dan bulan Desember dimana pada bulan Juni hingga Oktober dan Desember, waduk Cimeta tidak menghasilkan supply sama sekali. Sedangkan supply pada tahun normal menunjukkan bahwa Waduk Cimeta tidak dapat memenuhi demand Irigasi pada bulan Juni hingga September.

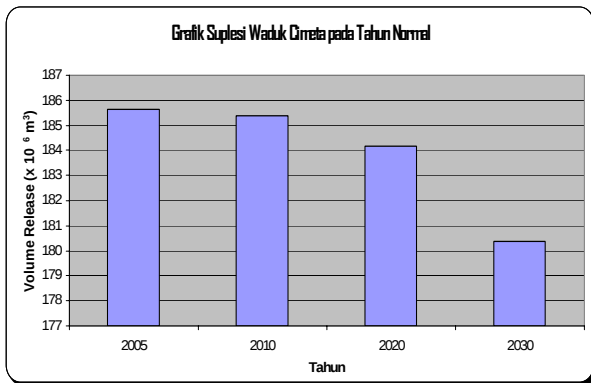
Sedangkan pada **Gambar 22** menjelaskan bahwa supply pada tahun kering dan normal yang dihasilkan Waduk Cimeta ternyata tidak dapat memenuhi demand PDAM sepanjang tahun yang diproyeksikan. Pada supply di tahun basah menunjukkan Waduk Cimeta tidak dapat memenuhi demand PDAM di tahun 2030 pada bulan Mei hingga September. Akan tetapi pada bulan Desember, supply pada tahun basah yang dihasilkan waduk Cimeta melebihi demand PDAM yang ada.

Pada grafik Supply dan Demand Industri pada tahun 2030 menunjukkan bahwa supply pada tahun kering hanya mampu memenuhi demand Industri pada bulan April saja. Sedangkan supply pada tahun normal menunjukkan waduk Cimeta tidak mampu memenuhi demand Industri sepanjang tahun tersebut. Dari grafik ini juga menjelaskan bahwa supply pada tahun basah tidak mampu memenuhi demand Industri yang ada di bulan Mei hingga September.

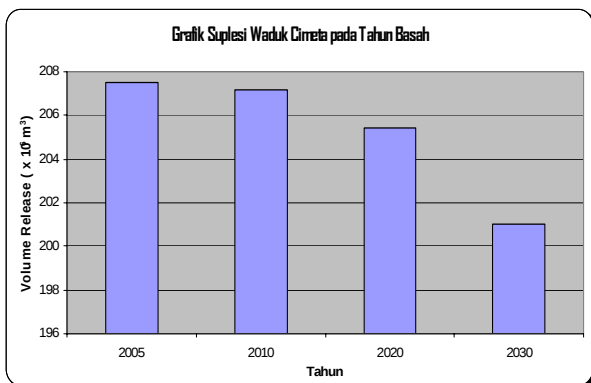
Hasil eksekusi pemodelan pengoperasian waduk bulanan berdasarkan tahun kering, normal dan basah didapatkan bahwa suplesi Waduk Cimeta ke Sungai Citarum meningkat pada tahun-tahun yang diproyeksikan. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada **Gambar 24, 25 dan 26**.



Gambar 24. Grafik suplesi Waduk Cimeta pada tahun kering



Gambar 25. Grafik suplesi Waduk Cimeta pada tahun normal



Gambar 26. Grafik suplesi Waduk Cimeta pada tahun basah

7. Perhitungan Umur Guna Waduk

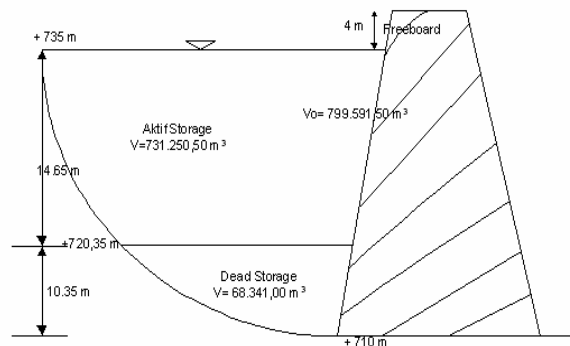
Dalam menghitung umur guna dan pengoperasian waduk Cimeta, kita harus mengetahui perhitungan sedimen yang masuk ke waduk. Perhitungan sedimen yang masuk waduk akan menentukan besarnya tampungan mati. Tampungan mati ini perlu diperhatikan karena secara alami waduk akan terisi oleh sedimen yang akan mempengaruhi volume efektif waduk yang bisa digunakan.

Setiap bendungan atau waduk pada akhirnya akan terisi oleh sedimen. Untuk menentukan umur ekonomis dari waduk, maka perlu dihitung seberapa banyak sedimen yang akan terperangkap di dalam waduk selama waktu tersebut. Volume waduk yang di cadangkan untuk menampung sedimen tersebut dinamakan sebagai tampungan mati atau dead storage.

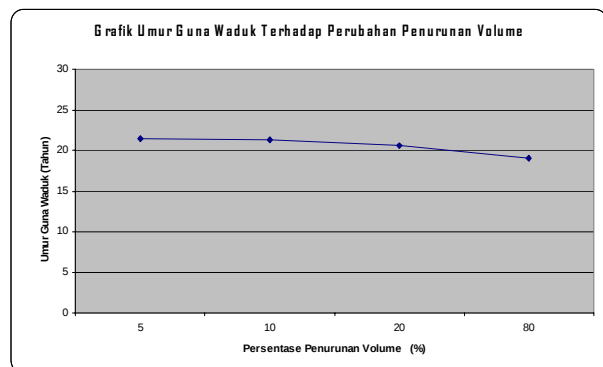
Metode yang digunakan untuk memperkirakan besarnya trap Efficiency secara empiris yang didasarkan pada pengukuran endapan sedimen di beberapa waduk besar telah dikemukakan oleh Gunner Brune (1953), bahwa "Trap Efficiency" tergantung pada perbandingan antar kapasitas tampungan waduk (C) dan inflow (I) tahunan dari waduk yang bersangkutan. Efficiency tangkapan suatu

waduk akan berkurang sejalan dengan umurnya, karena kapasitas waduk akan dikurangi oleh tumpukan sedimen.

Pada **Gambar 27** menunjukkan bahwa tampungan total V_0 sebesar $799.591,50 \text{ m}^3$ yang meliputi tampungan aktif (Active Storage) dari waduk Cimeta mencapai $731.250,50 \text{ m}^3$ dan tampungan mati (Dead Storage) adalah $68.341,00 \text{ m}^3$. Jadi umur guna dicapai ketika sedimen sudah mencapai 80% dari V_0 . Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa waktu pengisian tampungan (storage) oleh sedimen menurun sesuai dengan penambahan persentase penurunan volume tampungan. Dengan diketahuinya kapasitas storage ($0.7996 \times 10^6 \text{ m}^3$) dan inflow sedimen tahunan ($0.0777 \times 10^6 \text{ m}^3$) maka penentuan umur guna waduk terhadap kapasitas tampungan pada elevasi + 735 dengan berbagai nilai Trap Effisiensi pada beberapa persentase penurunan volume storage ($\Delta V = 5\%$, 10% , 20% dan 80%) menunjukkan bahwa umur guna waduk berdasarkan waktu pengisian tampungan oleh sedimen adalah 21.49 tahun dengan $\Delta V = 5\%$, 21.337 tahun dengan $\Delta V = 10\%$, 20.641 tahun dengan $\Delta V = 20\%$ dan 19.038 tahun dengan $\Delta V = 80\%$. Jadi pada berbagai tahap persentase volume tampungan (ΔV) yang dipakai adalah pada tahap penurunan yang paling besar yaitu $\Delta V = 5\%$ dengan umur guna waduk adalah 21.49 tahun. Adapun sisa sedimen yang tidak terperangkap dalam waduk terbawa sebagai release.



Gambar 27. Penampang melintang waduk dengan dead storage dan aktif storage



Gambar 28 Grafik umur guna waduk terhadap perubahan penurunan volume

8. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan dalam makalah ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Perhitungan debit dilakukan dengan menggunakan metode Rasional dan NRECA. Untuk perhitungan simulasi dan optimasi digunakan debit rata-rata dari metode Rasional karena metode ini memiliki simpangan yang relatif kecil dari kondisi aktual. Hal ini bisa dilihat dari grafik perbandingan kedua metode tersebut dimana debit yang mendekati debit pengamatan adalah debit dengan metode Rasional yang simpangannya kecil. Akan tetapi debit yang dihasilkan dengan metode NRECA memiliki simpangan yang cukup besar dan menjauh dari debit pengamatan.

Sumber inflow di sepanjang Sungai Cimeta berasal dari DPS Waduk Cimeta, subDPS anak sungai dan dari kawasan lokal inflow. Oleh karena subDPS anak sungai lebih besar daripada luas kawasan inflow, maka menghasilkan debit subDPS. yang lebih besar daripada debit lokal inflow

Kebutuhan air irigasi dari tahun 2005 sampai 2030 tidak terjadi perubahan, hal tersebut terjadi karena diasumsikan bahwa tidak terjadinya perubahan terhadap daerah irigasi di sekitar Sungai Cimeta. Sedangkan kebutuhan air DMI (Domestik, Municipal, Industri) mengalami peningkatan, karena adanya peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan kawasan industri dan komersil.

Volume tampungan waduk mengalami peningkatan sampai tahun 2030. Peningkatan volume tampungan waduk tersebut disebabkan karena terjadi peningkatan kebutuhan air sampai tahun 2030.

Dari hasil perhitungan optimasi dengan program linier didapatkan bahwa Waduk Cimeta hanya mencapai optimum pada tahun 2010 karena release yang dihasilkan belum mampu memenuhi kebutuhan air minum, irigasi dan industri pada tahun 2020 dan 2030.

Sistem pengoperasian Waduk Cimeta yang dimodelkan dengan menggunakan optimasi program linier belum dapat dijadikan alternatif untuk menentukan pola operasi dan pemanfaatan air Waduk Cimeta secara optimal. Hal ini disebabkan karena masih adanya demand yang belum terpenuhi oleh release yang dihasilkan Waduk Cimeta pada tahun-tahun yang diproyeksikan.

Dalam UU SDA No.7 Thn 2004 bahwa tidak boleh terjadi memprioritaskan pada suatu kebutuhan tertentu dengan meminimalkan dan mengabaikan kebutuhan yang lain untuk mendapatkan benefit (keuntungan) maksimum.

Dari hasil pembahasan dan analisa maka saran-saran yang dapat diberikan dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kalibrasi debit model NRECA sebaiknya dilakukan dengan data yang menggunakan data yang panjang tetapi tidak dengan coba-coba karena hal ini untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan lebih cepat.
2. Perhitungan proyeksi peningkatan kebutuhan air minum, irigasi dan industri disarankan tidak didasarkan pada laju tingkat pertumbuhan yang konstan.
3. Pelepasan air untuk irigasi disesuaikan dengan jadwal dan banyaknya debit. Selain itu juga disarankan harus mengikuti rencana kebutuhan air irigasi untuk masa tanam yang berlaku dan harus memperhatikan taraf muka air waduk.
4. Dengan mempertimbangkan bahwa waktu pengisian yang dikaitkan dengan umur waduk lebih pendek jika dibandingkan terhadap umur rencana waduk maka perlu dilakukan berbagai cara untuk mengurangi tumpukan sedimen misalnya ; sarana untuk mengalirkan sedimen keluar waduk sebelum terjadi pengendapan dan membangun cek dam untuk mencegah sedimen agar tidak masuk ke waduk.

Daftar Pustaka

- Cooper, Leon and Mary W., 1981, *"Introduction to Dynamic Programming"*, Pergamon Press, USA.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1986, *"Petunjuk Perencanaan Irigasi"*, Direktorat Jenderal Pengairan, Jakarta.
- Dracup, John A., Hall, Warren A., 1970, *"Water Resources Systems Engineering"*, McGraw Hill, USA.
- Haan, Charles T., 1977, *"Statistical Methods in Hydrology"*, The Iowa State University Press, Iowa.
- Kridasantausa, Iwan., 2002, *"Analisa Sistem Sumber Daya Air"*, Bahan Kuliah Jurusan Teknik Sipil ITB.
- J. Doorrenbos, 1977, *"Guidelines for Predicting Crop Water Requirements"*, FAO, Roma.
- Nahthan Buras, 1975, *"Scientific Allocation of Water Resources"*, American Elsevier Publishing Company, Inc New York.

- Norman H. Crouford, 1986, "*Small Hydropower: Hydrological Methodologi Without Streaflow Data*", Journal.
- Paul J. Ossenbruggen, 1984, "*System Analysis for Civil Engineering*", University of New Humpshire, Durham-New Hampshire.
- Intimulya Multikencana, PT, "*Laporan akhir Pekerjaan Kajian Teknis Kelayakan Pembangunan Waduk Cimeta di Kabupaten Bandung*".
- Legowo, Sri., 2002, "*Perencanaan dan Pengelolaan Daerah Irigasi*", Bahan Kuliah Jurusan Teknik Sipil ITB.
- Wurbs, Ralph A., 1996, "*Modelling and Analysis of Reservoir System Operations*", Prentice Hall, USA.