

# OPTIMASI WADUK MENGGUNAKAN PROGRAM DINAMIK STOKASTIK (KASUS WADUK SAGULING JAWA BARAT)<sup>1</sup>

Aprizal<sup>2</sup>, Suharyanto<sup>3</sup> dan Hari Nugroho<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*The increasing needs of electric power, especially at Java-Bali, cause some problems in its fulfillment. Many efforts must be done to overcome those problems by considering many handicaps that will be faced, negative effect that occur and also its settlement must be effective and efficient.*

*Among the available alternatives, the study use optimization technique and analyze performance of Saguling reservoir (included in a Java-Bali PLN interconnection net work) become a choice. Optimizing method use in the study is a stochastic dynamic program and continued with simulation. Success of optimizing technique was shown by performance of reservoir in form of reliability, resiliency, and vulnerability. On the simulation, reservoir was assumed to undergo a failure if release optimizing can not fulfill half demand that has been determined.*

*The study shows that, the application of system analyzes technique (stochastic dynamic program) is very helpful to optimize the operation of reservoir. The annual average electric product, resulted from optimization increases and better than the existing operation pattern by 21.29 % from 2,385 GWH to 2,892 GWH.*

*From simulation that calculate the performances of Saguling reservoir based on optimize operation pattern, the reservoir has reliability level of 91.67 % indicating there is 8.33 % of failures. After a failure in order to return to previous success condition, it will take 1 month because of its big resiliency. The amount of deficit ratio from the amount of target release is 0.085 indicating that only 0.85 % water supplied from PLTA can not fulfilled the target release in the time of failure. Maximum value of deficit ratio is 0.37 and the maximum deficit amount of Sanguling reservoir is 26.408 m<sup>3</sup>/sec.*

*So that, the application of stochastic dynamic program that is combined with the simulation model can be used as a guides in analyzing the operation policy of a reservoir and give guarantee of the continuous operational in fulfilling the electric consumption needs.*

*Keywords : stochastic dynamic program, simulation, system analysis, optimizing operation pattern, existing operation pattern, reliability, resiliency, vulnerability*

## PENDAHULUAN

Propinsi Jawa Barat seperti yang telah dijelaskan di atas memiliki 3 waduk utama yaitu waduk Saguling, waduk Cirata dan waduk Juanda (Jatiluhur). Ketiga waduk ini dikelola oleh institusi yang berbeda, waduk Saguling dan Cirata dikelola oleh PT. PLN karena fungsi utamanya adalah pembangkit listrik, sedangkan waduk Jatiluhur dikelola oleh PJT Jatiluhur berfungsi sebagai

pemenuhan irigasi dan penggelontoran perkotaan di Jakarta juga berfungsi sebagai PLTA.

Penentuan kebijakan pengoperasian ketiga waduk tersebut saat ini diatur oleh suatu tim yang dikenal dengan SPK TPA (Sekretariat Pelaksana Koordinasi Tata Pengaturan Air). Tim ini akan menghasilkan suatu pedoman pengoperasian waduk bersama-sama berupa

<sup>1</sup> PILAR Volume 12, Nomor 1, April 2003 : halaman 8 - 16

<sup>2</sup> Pengajar di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Bandar Lampung, Lampung

<sup>3</sup> Pengajar Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang

pola operasi (*rule curve*) waduk (Perum Otorita Jatiluhur, 1995).

Pola pengoperasian berupa *rule curve* ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah (Loucks, 1981 dan Wurbs, 1996) :

1. Secara periodik harus selalu disesuaikan dengan perkembangan musim dan kondisi pengoperasian.
2. Kurang sesuai untuk regim inflow yang memiliki variasi musiman yang sangat besar.
3. Hanya berlaku untuk kondisi-kondisi pengoperasian normal.
4. Perubahan pelepasan sering terlalu besar pada kondisi pengoperasian non-normal hingga dapat menyebabkan *overshooting* dan *undershooting*.

Kelemahan-kelemahan pola pengoperasian waduk menggunakan *rule curve* seperti diuraikan di atas perlu dilakukan evaluasi dan perlunya penggunaan teknik pemodelan pengoperasian waduk yang secara eksplisit mampu merepresentasikan keadaan pengoperasian sesungguhnya sehingga dapat dicari solusi dari kelemahan-kelemahan tersebut.

Ditambah lagi adanya perubahan yang terjadi pada *land use* bagian hulu sungai Citarum, proses sedimentasi yang terus berlangsung, berbagai aktivitas yang mengganggu ekosistem dan berbagai fenomena alam saat ini, seperti pemanasan global menyebabkan berkurangnya efektifitas waduk dalam mencapai tujuannya. Yakni waduk yang semestinya dapat menampung air pada musim hujan dan mengairi pada musim kemarau malah menjadi antagonis keadaannya.

Secara prinsip, dewasa ini ada beberapa cara penentuan pola atau kebijakan pengoperasian waduk, cara-cara tersebut adalah: 1) Pembagian zona peruntukan serta dengan cara pola operasi (*rule curve*), 2) Pola Pengoperasian Baku (*Standard Operating Policy*, SOP), 3) Program dinamik deterministik atau *implicit stokastik.*, 4) Program Linier dan 5) Program dinamik stokastik (Suharyanto, 1997).

Melihat kondisi di atas maka penentuan pola pengoperasian dengan menggunakan teknik optimasi program dinamik stokastik dan simulasi menjadi pilihan dan diharapkan dapat mengatasi berbagai permasalahan dan kendala yang timbul pada pengoperasian waduk.

Studi ini hanya meninjau waduk Saguling saja dan menganggap waduk Saguling ini sebagai suatu sistem waduk tunggal/parsial, berbeda dengan keadaan saat ini yang telah memiliki sistem *cascade serial* dengan waduk yang lain sepanjang sungai Citarum seperti yang telah dikemukakan sebelumnya. Pada sistem *cascade serial* ini, keputusan dalam penetapan pengoperasian waduk di sebelah hulu akan sangat berpengaruh dengan waduk di sebelah hilir. Pelepasan air yang tidak terkontrol akan dapat menimbulkan dampak negatif pada salah satu waduk.

Keputusan untuk meninjau waduk Saguling sebagai waduk tunggal/parsial ini dimaksudkan *pertama* karena penerapan teknik optimasi program dinamik stokastik memerlukan perhitungan dan analisa yang mendalam sehingga dibutuhkan kecermatan dalam melihat permasalahan tersebut, *kedua* waduk Saguling terletak paling hulu diantara waduk yang ada sehingga proses perhitungan tidak dipengaruhi oleh waduk yang lain namun tetap memperhatikan kebutuhan dari waduk di bawahnya, dan yang *ketiga* adalah waduk Saguling memiliki kapasitas pembangkit listrik terpasang lebih besar dari waduk yang dibawahnya sehingga pengoptimalan pemakaiannya menjadi suatu yang diprioritaskan.

## PROGRAM DINAMIK STOKATIK

Pada Program Dinamik Stokastik ini, ada beberapa peristilahan dan variabel yang menunjang untuk mencapai target yang diharapkan, antara lain sebagai berikut :

### 1) Fungsi Sasaran (*Objective Function*)

Masukan utama dalam operasi waduk adalah inflow yang merupakan proses alam yang tidak pernah deterministik, dan sifat ketidakpastian selalu terkait dalam inflow. Sifat ketidakpastian atau stokastik ini

diperhitungkan dalam optimasi dengan memasukkan sebaran probabilitas inflow pada setiap tahap optimasi.

Dengan memperhitungkan sifat stokastik inflow tersebut, maka sasaran optimasi operasi waduk dapat ditentukan, misalnya memaksimalkan produksi listrik tahunan yang diharapkan. Kata “diharapkan” dipakai untuk mencerminkan adanya harapan terhadap sesuatu yang tidak pasti, hal inilah yang merupakan ciri teknik program dinamik stokastik. Secara sistematis, sasaran tersebut dapat dinyatakan dalam fungsi sasaran (*objective function*) sebagai berikut (Shrestha, 1987) :

OF  $\equiv$  maksimumkan (TEEG)

$$= \text{maksimumkan} E \left[ \sum_{t=1}^T (TEG_t) \right]$$

OF : *Objective Function* (fungsi tujuan)

TEEG : Produksi Listrik tahunan yang diharapkan

TEGt : Produksi listrik selama bulan t

E : menyatakan nilai harapan (*expectation*)

2) Probabilitas Transisi Inflow

Probabilitas transisi ini dirumuskan sebagai berikut :

$$p_{ij} = \Pr \{ Q_{y+1} = q_i | Q_y = q_j \}$$

Probabilitas bahwa  $Q_{y+1}$  (debit di tahun sekarang) akan sama dengan  $q_j$  jika  $Q_y$  (debit di tahun sebelumnya) sama dengan  $q_i$ . Probabilitas transisi ini akan memenuhi

kondisi :  $\sum_{j=1}^n P_{ij}^t = 1$  dimana  $P_{ij}^t$  adalah

probabilitas kejadian bahwa  $Q^{t+1}$  akan berada di kelas  $j$  jika  $Q^t$  tercatat di kelas  $i$ .

Probabilitas transisi ini dapat disajikan dalam bentuk matrik, probabilitas transisi dari *state*  $q_i$  ke *state*  $q_j$  adalah sebagai berikut (misal variabel kontinu debit sungai dibagi ke dalam 3 nilai diskrit) :

**Tabel 1 Matrik Probabilitas Transisi Debit Inflow pada Waduk.**

Kelas inflow pada Periode t	Kelas inflow pada Periode t+1			Jumlah
	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	
Kelas 1	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	1
Kelas 2	$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{23}$	1
Kelas 3	$p_{31}$	$p_{32}$	$p_{33}$	1

Dalam permasalahan operasi waduk, dianggap proses yang terjadi berulang dan selalu sama dalam setiap siklus operasi. Apabila satu tahun, yang terdiri dari 12 tahap (12 bulan) merupakan satu siklus operasi T, maka nilai probabilitas transisi inflow pada suatu bulan adalah sama dengan nilai probabilitas transisi inflow pada bulan yang sama pada tahun berikutnya. Jadi, persamaan dalam satu siklus tersebut adalah :

$$P_{ij}^t = P_{ij}^{t+T}$$

3) Persamaan Pelepasan di Waduk (*Reservoir Release*)

Untuk menangani permasalahan program dinamik stokastik, membutuhkan pengenalan persamaan mengenai pelepasan waduk, yang didefinisikan sebagai  $R_{k,i,t}$  yang bergantung pada tingkat tampungan pada periode yang sedang berlangsung  $S_{k,t}$ , Inflow pada periode yang sedang berlangsung  $Q_{i,t}$  dan tingkat tampungan waduk pada periode akan datang  $S_{l,t+1}$ . Persamaan ini dapat dihitung melalui persamaan kekekalan sebagai berikut :

$$R_{k,i,t} = S_{k,t} + Q_{i,t} - S_{l,t+1} - E_{k,l,t}$$

Dimana  $E_{k,l,t}$  adalah kehilangan air yang disebabkan oleh evaporasi dan rembesan (*seepage*) pada waduk.

#### 4) Kinerja Sistem (*System Performance*)

Pengoptimalan dari pelepasan bergantung pada kinerja sistem untuk mendapatkan target pelepasan dan target tampungan. Persamaan tersebut seperti berikut :

$$B_{k,i,l,t} = (R_{k,i,l,t} - TR_t)^2 + (S_{k,t} - TS_t)^2$$

Dimana :

$B_{k,i,l,t}$  = Kinerja sistem

$TR_t$  = Target pelepasan bulanan

$TS_t$  = Target tampungan bulanan

Persamaan ini akan bernilai nol jika pelepasan sama dengan nilai targetnya. Jika terdapat deviasi dari masing-masing nilai target, maka akan mendapatkan nilai sebagai fungsi dari penyimpangan (deviasi) yang terjadi. Persamaan ini tidak tetap dalam artian dapat berubah apakah menggunakan deviasi release atau deviasi tampungan saja, bergantung pada bagian mana penekanannya. (Loucks, 1981).

#### 5) Persamaan Rekursif

Persamaan rekursif adalah persamaan yang menyatakan hubungan antara nilai variabel status sebagai hasil optimasi pada setiap tahap dengan nilai masukan variabel status tersebut dan variabel keputusan yang diambil pada tahap yang ditinjau. Hal ini disebabkan karena setiap masukan pada setiap tahap merupakan sebaran probabilitas. Bentuk persamaan rekursif adalah sebagai berikut :

$$F_t(k, i) = \underset{l}{\text{Minimum}} \left[ B_{kilt} + \sum_j P_{ij}^{t+1} F_{t+1}^*(l, j) \right]$$

Dimana :

$F_t(k, i)$  adalah nilai fungsi objektif jika volume waduk di kelas  $k$ , volume inflow di kelas  $i$ , pada waktu ke  $t$ .

$B_{k,i,l,t}$  adalah nilai fungsi objektif jangka pendek (*immediate return*) jika volume waduk bulan  $t$  ada di kelas  $k$ , inflow ke waduk kelas  $i$ , dan volume waduk adalah  $l$ .

$$P_{ij}^{t+1}$$

adalah matrik probabilitas transisi inflow dari periode/bulan  $i$  ke periode/bulan  $j$ .

$$F_{t+1}^*(l, j)$$

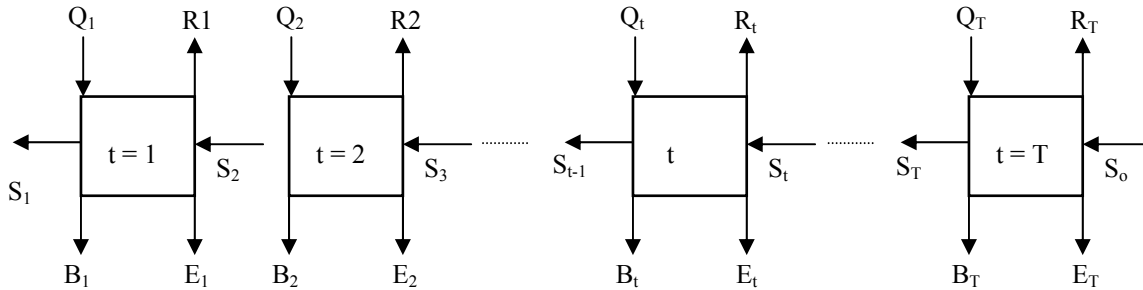
adalah nilai fungsi objektif jangka panjang (*long term periode*) yang diperoleh pada periode waktu  $t+1$  jika volume waduk pada awal periode waktu  $t+1$  berada di kelas  $l$  dan inflow berada di kelas  $j$ .

Mengingat nilai  $F_{t+1}^*(l, j)$  pada persamaan (2.12) diatas, tahap  $T$  telah diketahui sebagai kondisi awal, maka urutan optimasi dilakukan dari tahap  $T$  dan berjalan mundur sampai ke tahap pertama. Prosedur optimasi ini disebut *Backward Moving Algorithm*.

#### 6) Kriteria Konvergensi

Proses optimasi dilakukan pada setiap tahap selama satu siklus operasi. Pada awal optimasi, nilai hasil pada tahap akhir (bulan ke  $-T$ ), nilai  $f_T(l, j)$  diberi nilai awal nol. Hitungan berjalan mundur sampai tahap pertama dan kemudian diulang kembali (iterasi) sampai hasil optimasi menunjukkan hasil yang stabil.

Begitu persamaan rekursif ini terpecahkan untuk setiap periode pada tahun-tahun berikutnya, kebijakan  $l(k, i, t)$  yang ditentukan dalam setiap periode  $t$  tertentu akan dengan relatif cepat, berulang kembali pada tiap tahun berikutnya. Pada saat keadaan ini tercapai dan saat performansi tahunan harapan (*expected*) adalah konstan untuk semua *state*  $k, i$  dan untuk seluruh periode satu tahunan  $t$ , maka kebijakan pengoperasian telah mencapai kondisi *steady-state*.



**Gambar 1 Diagram Urutan Pentahapan**

Kondisi *steady-state* ini tercapai jika dan hanya jika pola operasinya tidak berubah dari tahun ke tahun. Karena kebijakan pengoperasian yang *steady-state* ini tercapai, maka pola operasi yang dihasilkan merupakan kebijakan pengoperasian yang *steady* untuk jangka panjang. Kebijakan pengoperasian waduk akan merupakan volume waduk pada akhir bulan ke

t (pada awal bulan ke t+1) yang optimum sebagai fungsi dari kombinasi debit masukan (*inflow*) bulan t-1 dan volume tampungan awal (*Storage*) pada bulan t. Sehingga dapat ditentukan besarnya pelepasan (*release*) air pada setiap periode.

**Tabel 2 Matriks Kebijakan Operasi Waduk**

State k (Kelas Tampungan waduk awal bulan t)	State i ( kelas inflow di bulan t)		
	1	2	3
0	$R_{10l} * t$	$R_{20l} * t$	$R_{30l} * t$
1	$R_{11l} * t$	$R_{21l} * t$	$R_{31l} * t$
2	$R_{12l} * t$	$R_{22l} * t$	$R_{32l} * t$

Keterangan  $l^*$  = indeks volume tampungan akhir yang optimal untuk k dan i yang memungkinkan

**UNJUK KERJA PENGOPERASIAN WADUK**

Kinerja Pengoperasian Waduk merupakan indikator waduk dalam pengoperasiannya untuk memenuhi kebutuhan. Beberapa indikator untuk menilai besarnya *performance* operasi waduk dapat meliputi keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*) (Suharyanto, 1997).

**Keandalan (Reliability)**

Keandalan merupakan indikator seberapa sering waduk untuk memenuhi kebutuhan yang ditargetkan selama masa pengoperasiannya. Untuk pengoperasian waduk paling tidak ada dua macam definisi keandalan yaitu : (Mc

Mahon dan Russel, 1978 dalam Suharyanto, 1997)

1. Prosentase keadaan dimana waduk mampu memenuhi kebutuhannya. Seringkali pada definisi keandalan ini dapat dikaitkan dengan kegagalan. Dalam hal ini, waduk dianggap gagal jika waduk tidak dapat memenuhi kebutuhannya secara total.
2. Rerata persentase pelepasan waduk dibanding dengan kebutuhannya. Dalam definisi ini, meskipun suplesi waduk tidak dapat memenuhi kebutuhannya, waduk keseluruhan, tidak dianggap gagal total. Tetapi dianggap waduk hanya dapat mensuplai sebagian dari kebutuhannya.

Secara matematis, definisi di atas dapat dituliskan dengan variabel “Zt” yang nilainya ditentukan sesuai dengan dua definisi di atas dan disajikan dalam persamaan berikut.

$$Z_t^1 = 1 \text{ untuk } R_t \geq D_t, 0 \text{ untuk } R_t < D_t$$

$$Z_t^2 = 1 \text{ untuk } R_t \geq D_t, R_t / D_t \text{ untuk } R_t < D_t$$

Dalam jangka panjang, nilai keandalan sistem untuk definisi keandalan yang pertama dapat ditulis sebagai berikut :

$$\alpha_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t^1$$

di mana :

n = Jangka waktu pengoperasian

Rt = Release pada waktu ke-t

Dt = Demand pada waktu ke-t

$\alpha_1$  = Keandalan waduk, gagal total jika kebutuhan tidak terpenuhi

$$\sum_{t=1}^n Z_t^2 = \text{Jumlah total waktu waduk}$$

mampu memenuhi kebutuhan ( $R_t \geq D_t$ ) untuk definisi keandalan ke-2.

$$\sum_{t=1}^n (1 - Z_t^2) = \text{Jumlah total waktu}$$

waduk tidak mampu memenuhi kebutuhan ( $R_t < D_t$ ) untuk definisi keandalan ke-2.

Dalam studi ini dipergunakan definisi keandalan yang pertama. Waduk dianggap gagal jika tidak dapat mensuplai kebutuhan secara total.

Kondisi tersebut dipergunakan untuk mengantisipasi pemenuhan kebutuhan energi listrik, karena jika pemenuhan kebutuhan energi listrik kurang dari yang ditargetkan maka energi listrik yang dihasilkan oleh optimasi tidak dijamin untuk dapat terpenuhi. Selain itu simulasi mempunyai nilai keandalan yang lebih kecil dari kondisi yang sebenarnya. Sehingga kondisi keandalan pertama diharapkan memberi lebih banyak nilai keamanan terhadap ketersediaan air.

### Kelentingan (*Resiliency*)

Indikator ini untuk mengukur kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan memuaskan dari keadaan gagal. Jika semakin cepat waduk kembali ke keadaan memuaskan maka dapat dikatakan bahwa waduk lebih lenting sehingga konsekuensi dari kegagalan lebih kecil. Dengan mempergunakan definisi kegagalan pertama, perhitungan masa transisi dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan dituliskan dengan variabel “Wt” sebagai berikut :

$$W_t = \begin{cases} 1 & \text{jika } R_{t-1} \leq D_{t-1} \text{ dan } R_t \geq D_t \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

Dalam jangka panjang, nilai rerata dari “Wt” akan menunjukkan jumlah rerata terjadinya transisi waduk dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan. Jumlah rerata terjadinya transisi ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t$$

dimana  $\rho$  menunjukkan probabilitas (rerata frekwensi) terjadinya transisi waduk dari keadaan gagal ke keadaan memuaskan.

Jangka waktu rerata waduk dalam keadaan gagal secara kontinu merupakan jumlah total waktu rerata waduk mengalami gagal dibagi dengan frekwensi rerata terjadinya transisi waduk dan secara matematis dapat dituliskan berikut :

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

dimana :

Tgagal = jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal secara kontinu

Dalam jangka panjang, jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal secara kontinu dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T_{\text{gagal}} = \frac{1 - \alpha_1}{\rho}$$

Semakin lama jangka waktu rerata waduk berada dalam keadaan gagal maka semakin kecil kelentingannya sebagai akibatnya maka konsekuensi dari keadaan gagal tersebut juga akan besar. Oleh karenanya indikator kelentingan didefinisikan sebagai  $\gamma_1$  berikut :

$$\gamma_1 = \frac{1}{T_{\text{gagal}}} = \frac{\rho}{1 - \alpha_1}$$

dimana :

$\gamma_1$  = Kinerja kelentingan

### Kerawanan (*Vulnerabiliy*)

Kerawanan adalah besaran dari kegagalan yang didapat dari perbedaan antara kapasitas waduk dan jumlah air yang dibutuhkan, dibagi dengan jumlah air yang dibutuhkan (Qomariah, 1992).

Dalam hal ini jika terjadi kegagalan maka dapat diukur seberapa besar suatu kegagalan yang terjadi. Dalam studi ini kerawanan didefinisikan sebagai nilai kekurangan ( $DEF_t$ ) air pelepasan dari kebutuhannya, nilai  $DEF_t$  didefinisikan sebagai berikut :

$$DEF_t = \begin{cases} D_t - R_t & \text{jika } R_t \leq D_t \\ 0 & \text{jika } R_t \geq D_t \end{cases}$$

Oleh karenanya kinerja kerawanan tersebut dapat dirumuskan dengan berbagai penafsiran sebagai berikut (Suharyanto, 1997).

1. Nilai rerata “*deficit ratio*”

$$v_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \left( \frac{DEF_t}{D_t} \right)}{\sum_{t=1}^n W_t}$$

2. Nilai maksimum “*deficit ratio*”

$$v_2 = \max_t \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\}$$

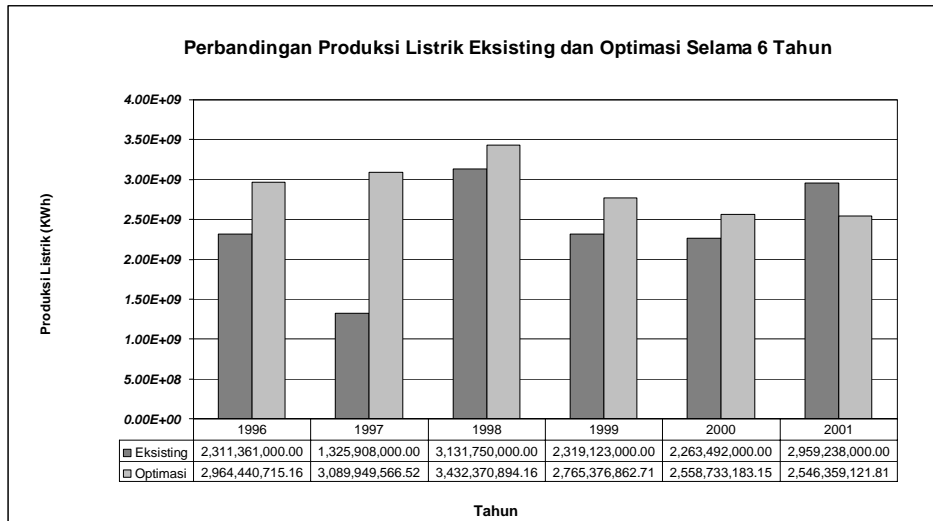
3. Nilai maksimum “*deficit*”

$$v_3 = \max_t \{DEF_t\}$$

### ANALISA DAN DISKUSI

Hasil Simulasi waduk selama 6 tahun yaitu tahun 1996 sampai tahun 2001 yang ditampilkan pada grafik di atas menunjukkan bahwa dengan penggunaan pola kebijakan operasi berdasarkan program optimasi stokastik mengalami peningkatan dalam produksi listrik tahunan sebesar 21,29 % dari 2.385 GWH menjadi 2.892 GWH.

Walaupun produksi energi listrik tahunan total hasil optimasi lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, akan tetapi pada bulan-bulan tertentu produksi energi eksisting lebih besar dari hasil optimasi. Kejadian ini terjadi pada umumnya pada bulan Juli – September yang merupakan bulan-bulan kering/kemarau.



**Gambar 2. Perbandingan Produksi Energi Listrik Total Hasil Simulasi Waduk Eksisting dan Optimasi Tahun 1996-2001**

Pada simulasi tahun 2001 terjadi penurunan produksi listrik, hal ini disebabkan karena air yang dikeluarkan ditahan untuk menjaga volume waduk agar tetap stabil, namun demikian besarnya selisih produksi antara

tahun eksisting tidak terlalu jauh yaitu 13,9 % dengan produksi listrik optimasi. Hasil perhitungan kinerja waduk dengan menggunakan pola pengoperasian waduk optimasi disajikan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Kinerja Waduk Saguling**

Keandalan	Kelentingan	Kerawanan		
		$v_1$	$v_2$	$v_3$
A	$\gamma$			
91,67 %	1	0,085	0,37	26,408 m <sup>3</sup> /det

Sumber : hasil simulasi dan perhitungan

Dari rekapitulasi kinerja waduk Saguling memiliki tingkat keandalan sebesar 91,67 % mengindikasikan bahwa waduk pada bulan-bulan tertentu terutama pada bulan-bulan yang besarnya inflow minimum berada pada kelas 1 pada tiap periode akan terjadi kegagalan. Untuk kembali ke kondisi sukses dibutuhkan waktu 1 bulan karena kelentingannya besar yaitu 1. Besarnya *deficit ratio* dari besarnya target pelepasan dalam pemenuhan kebutuhan adalah 0,085 yang mengindikasikan hanya 0,85% kebutuhan air dari PLTA tidak terpenuhi pada suatu kegagalan. Nilai maksimum *deficit ratio* adalah 0,37 dan

besarnya *deficit* dari waduk Saguling maksimum adalah 26,408 m<sup>3</sup>/det.

## PENUTUP

Dalam tulisan ini disajikan hasil optimasi dan analisa kinerja waduk yang lebih rinci yang menunjukkan bahwa program dinamik stokastik dapat membantu dalam upaya pengoptimalan pemanfaatan waduk dan menunjukkan pula keandalan waduk dalam pemenuhan target kebutuhannya, tingkat kerawana waduk jika terjadi kegagalan dan kelentingan waduk untuk kembali ke kondisi sukses tatkala terjadi kegagalan.



Pola optimasi dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memendekkan tahapan pengoperasian serta menggunakan objective function yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bogardi, J.J., 1988. *Lecture Note on Advanced Techniques in Water Resources Planning and Management*, Division of Water Resources Planning and Management, AIT, Bangkok
- Gustiana, Dewi, 1998, *Potensi Aliran Sungai di Jawa Barat Belum Dimanfaatkan Secara Optimal*, Artikel Harian Umum Republika, Jakarta.
- Linsley, Ray K., 1985, *Teknik Sumber Daya Air*, Jilid I dan II, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Loucks, Daniel P. dkk., 1981, *Water Resources System Planning and Analysis*, Prentice Hall, New Jersey.
- Loucks, Daniel P. dkk., 1984, *Stochastic Dynamic Programming Model of Reservoir Operation Optimization*, Water Resource Research, Vol. 20, No. 11, pp. 1499-1505
- Petrus, S., 1997, *Perencanaan Debit Air Masuk ke Waduk Kaskade Citarum*, PUSLITBANG Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Rao, S. S., 1978, *Optimization, Theory and Applications*, Edisi 2, Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Sheresta, D.L, 1987, *Optimum Hydropower System Configuration Considering Operational Aspects*, Master Thesis, AIT, Bangkok
- Wurbs, R. A., 1987, *Modeling and Analysis of Reservoir System Operation*, Prentice-Hall, Inc, USA
- Yeh, W. W-G., 1985, *Reservoir Management and Operations Models: A State of the Art Review*, Water Resources Research. Vol. 21, pp 1797-1818, the American Geophysical Union.