

PERBANDINGAN ANTARA MODEL ATURAN LEPASAN BERDASARKAN TAMPUNGAN DAN MODEL RULE CURVE UNTUK WADUK PENGGA

Widandi Soetopo¹, Lily Montarcih Limantara¹, Suhardjono¹, Ussy Andawayanti¹,
Rahma Dara Lufira¹, M. Qomarul Huda², M. Syamsul Anwar².

¹Dosen di Fakultas Teknik Pengairan UB - Malang

²Mahasiswa di Fakultas Teknik Pengairan UB - Malang

Fakultas Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

Jl. M.T. Haryono 167 Malang – 65145

widandi@ub.ac.id

Abstrak

Penelitian ini untuk membandingkan antara 2 alternatif aturan operasi waduk Pengga dalam mengatur debit lepasan guna memenuhi kebutuhan sepanjang tahun. Waduk Pengga beroperasi dengan periode $\frac{1}{2}$ bulanan. Ada 2 alternatif yang disarankan untuk waduk Pengga, yaitu (1) aturan lepasan yang berdasarkan status tampungan waduk pada awal periode operasi, dan (2) rule curve sebagai batas bawah tampungan waduk pada setiap periode operasi. Aturan operasi lepasan waduk dari masing-masing alternatif dioptimasi untuk meningkatkan kinerjanya sampai mencapai batas maksimum, lalu dilakukan perbandingan antara kedua alternatif tersebut. Sebelum dilakukan optimasi, dilakukan revisi terhadap struktur daripada masing-masing aturan operasi untuk meningkatkan potensi perbaikan kinerja dalam optimasi. Pada aturan lepasan berdasarkan tampungan, revisi struktur dipusatkan pada peningkatan jumlah grid tampungan, sementara juga dicoba alternatif bentuk garis lepasan yang kontinyu disamping bentuk diskrit. Sedangkan pada rule curve, revisi struktur dipusatkan pada penambahan kurva-kurva sebagai batas bawah pelepasan bertingkat. Untuk melakukan optimasi digunakan prosedur *Evolutionary Solver* yang ada pada perangkat *Add-Ins Solver* dari *MS-Excel 2010*.

Kata kunci: aturan lepasan, status tampungan, rule curve.

Abstract

This research is the comparison of two alternatives of operating rule of the Pengga Reservoir for regulating the releases to fulfill the annual water demand. The Pengga Reservoir operate in half-month periods. Two alternatives being proposed for the release operating rule of Pengga Reservoir, (1) the release rule based on the reservoir storage state at the beginning of operating period, and (2) the Rule Curve as the lower boundary of reservoir storage at every operating period. The reservoir release operating rule of each alternative is optimized to improve its performance until attain the maximum limit, then the comparison is conducted between the two alternatives. Before the optimization, structural revisions are done on each operating rule to enhance the potency of performance improvement in the optimization. In the Release Rule based on storage, the revisions are focused on the expansion of number of storage grid, beside also the trial shape of continuous release line instead of discrete. As for the Rule Curve, the revisions are focused on the additional curves as the lower bounds of stepped release. The undertaking of this optimization study will use the Evolutionary Solver procedure in Add-Ins Solver package of the MS-Excel 2010.

Keywords: release rule, storage state, rule curve.

PENDAHULUAN

Ada sejumlah alternatif sistem pengoperasian waduk, diantaranya adalah sistem-sistem yang bersifat stokastik. Kecuali pada kasus-kasus tertentu, maka semua sistem pengoperasian waduk dapat dikatakan bersifat stokastik oleh karena input debit inflow yang bersifat stokastik.

Untuk mendapatkan pedoman operasional yang optimal daripada sistem-sistem tersebut maka perlu dilakukan studi studi simulasi yang bersifat stokastik. Dalam studi penelitian ini maka sebagai obyek penelitian digunakan Waduk Pengga yang terletak di Kabupaten Lombok Tengah - NTB tertentu.

Dalam penelitian ini ditinjau 2 alternatif yang disarankan untuk aturan lepasan operasi Waduk Pengga sebagai berikut, (1) Aturan Lepas yang berdasarkan status tampungan waduk pada awal periode operasi ½ bulanan, (2) Rule Curve yang merupakan batas bawah daripada tampungan waduk pada setiap periode operasi ½ bulanan sepanjang tahun.

Kedua alternatif aturan lepasan operasi waduk Pengga tersebut telah disarankan pada studi yang terdahulu (Soetopo dkk., 2012). Dalam studi penelitian ini akan dilakukan peninjauan terhadap aturan operasi lepasan waduk dari masing-masing alternatif untuk melihat apakah masih ada potensi untuk meningkatkan kinerjanya sampai mencapai batas maksimum. Peningkatan kinerja ini dilakukan dengan cara optimasi.

PERMASALAHAN

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil optimasi daripada Aturan Lepas Operasi Waduk yang berdasarkan status tampungan waduk dan Rule Curve.
2. Di antara kedua alternatif Aturan Lepas Operasi Waduk yang ditinjau, mana yang lebih sesuai untuk diterapkan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah untuk melihat di antara kedua Aturan Lepas Operasi Waduk yang ditinjau (Berdasarkan Status Tampungan dan Berdasarkan Rule Curve) mana yang lebih sesuai untuk dijadikan aturan operasi Waduk Pengga. Untuk mencapai tujuan tersebut, terlebih dahulu dilakukan perbaikan terhadap struktur daripada kedua alternatif aturan operasi lepasan waduk Pengga. Untuk itu maka dalam penelitian ini dilakukan hal-hal yang berikut ini.

1. Perbaikan struktur grid tampungan daripada Aturan Lepas yang berda-

sarkan status tampungan waduk dengan cara menambah jumlah grid tampungan.

2. Perbaikan struktur Rule Curve dengan cara menambah kurva-kurva lagi sebagai batas-batas pelepasan air waduk secara bertingkat.

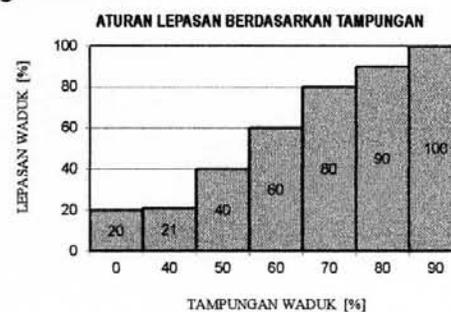
BATASAN PENELITIAN

Dalam model simulasi operasi waduk secara stokastik, maka untuk penggunaan data input dalam penelitian ini dilakukan pembatasan pada hal-hal yang berikut:

- a. Panjang seri data inflow ke waduk sepanjang 10 tahun, mulai tahun 2001 sampai dengan tahun 2010.
- b. Data kebutuhan air tahunan (untuk irigasi dari air baku) yang berlaku sama untuk setiap tahun.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada studi yang terdahulu, maka direkomendasikan 2 aturan operasi lepasan untuk Waduk Pengga (Soetopo dkk., 2012), seperti yang disajikan pada dua gambar berikut ini.



Gambar 1. Alternatif Pertama.



Gambar 2. Alternatif Kedua.

Alternatif pertama, yaitu aturan lepasan operasi waduk berdasarkan status tampungan pada awal periode operasi ($\frac{1}{2}$ bulanan). Aturan operasi yang semacam ini biasanya digunakan oleh para pengelola pasokan air perkotaan (McMahon & Mein, 1978). Pada aturan operasi ini, maka sebagai input adalah status tampungan waduk pada awal suatu periode operasi (yang pada kasus ini adalah ($\frac{1}{2}$ bulanan) dalam bentuk prosentase dari kapasitas tampungan aktif, dan dibacakan ke sumbu mendatar dan terus ditarik ke atas sehingga memotong garis lepasan. Besarnya lepasan waduk dibaca dari garis lepasan pada sumbu tegak, yang berupa prosentase dari kebutuhan pada periode yang berlaku. Aturan lepasan operasi waduk berdasarkan status tampungan ini pada dasarnya menetapkan bahwa besarnya lepasan pada suatu periode sebanding dengan besarnya ketersediaan air di tampungan waduk pada awal periode (walaupun tidak harus berbanding lurus).

Alternatif kedua adalah aturan lepasan operasi waduk berdasarkan Rule Curve, sebagai batas bawah daripada tampungan waduk. Rule Curve dapat didefinisikan sebagai tingkat tampungan sasaran, dan merupakan mekanisme untuk aturan lepasan agar dapat didefinisikan sebagai fungsi daripada tampungan (Wurbs, 1996). Garis Rule Curve sebagai batas bawah mengatur skedul tampungan waduk yang harus diikuti dengan prioritas di atas prioritas pemenuhan kebutuhan.

Pada studi yang telah dilakukan terdahulu, aturan lepasan Waduk Pengga diperoleh dengan cara simulasi acak (Soetopo dkk., 2012). Teknik semacam ini, misalnya saja teknik simulasi Monte-Carlo, telah digunakan oleh Mekalmu (2009), untuk menetapkan aturan operasi Lake Tana di Ethiopia. Jadi pada hasil aturan lepasan Waduk Pengga pada studi yang terdahulu masih tersedia ruang untuk mencapai tingkat kinerja yang lebih baik lagi.

LANDASAN TEORI

Untuk studi penelitian kali ini maka digunakanlah prosedur *Evolutionary Solver* yang ada pada perangkat *Add-Ins Solver* dari *MS-Excel 2010*, yang merupakan salah satu program aplikasi dari teknik optimasi evolusioner. Teknik-teknik optimasi evolusioner telah berkembang sejak tahun 1957 (Goldberg, 1989). Salah satu daripada teknik optimasi evolusioner adalah Algoritma Genetik, yang digunakan pada prosedur *Evolutionary Solver* (Hillier & Lieberman, 2010).

Model optimasi Algoritma Genetik adalah proses optimasi yang secara iteratif mengembangkan suatu populasi daripada kromosom-kromosom (alternatif-alternatif solusi) sehingga tercapailah suatu populasi homogen daripada kromosom yang terbaik. Secara garis besar maka proses pengembangan populasi kromosom dengan cara Algoritma Genetik terdiri daripada 3 komponen berikut ini (Goldberg, 1989).

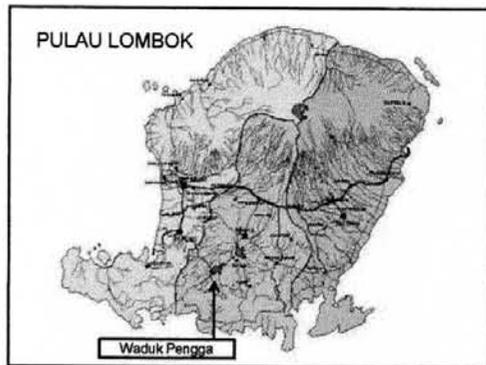
1. Reproduksi.
2. *Crossover*.
3. Mutasi

Reproduksi adalah adalah proses seleksi terhadap kromosom yang terdapat pada suatu populasi berdasarkan nilai kinerja dari masing-masing kromosom, dan dilanjutkan dengan proses copy terhadap kromosom hasil seleksi. Kromosom hasil proses copy ini merupakan generasi turunan yang berikutnya. Crossover adalah merupakan persilangan di antara kromosom-kromosom yang ada pada suatu generasi turunan. Hasil persilangan ini membentuk populasi dari generasi berikutnya. Mutasi adalah perubahan yang terkadang terjadi di antara variabel-variabel dari kromosom. Perubahan ini terjadi secara acak dan mempunyai probabilitas yang kecil.

METODE PENELITIAN

Waduk yang digunakan sebagai kasus dalam penelitian ini adalah Waduk Pengga yang terletak di Kabupaten Lom-

bok Tengah – NTB, seperti yang ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Lokasi Waduk Pengga.

Debit inflow ke Waduk Pengga ini dipasok oleh sungai Dodokan. Debit inflow ini berasal dari lepasan Waduk Batujai yang berada di sebelah hulu, ditambah dengan debit limpasan dari remaining basin di antara Waduk Batujai dan Waduk Pengga seluas 183.65 km². Menurut data per tahun 2011 waduk Pengga ini mempunyai kapasitas tampungan aktif sebesar 20.89 juta m³. Data debit inflow yang tersedia adalah data ½ bulanan sepanjang 10 tahun (2001-2010). Waduk Pengga ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada 3 musim tanam dalam setahun dan memenuhi kebutuhan air baku sepanjang tahun. Adapun sistem Waduk Pengga dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Sistem Waduk Pengga.

Model-model operasi waduk diprogramkan pada program worksheet. Sementara untuk melakukan optimasi operasi waduk digunakan Prosedur *Evolutionary Solver* yang ada pada perangkat *Add-Ins Solver*.

Sebagai Fungsi Tujuan dari optimasi maka ada 2 alternatif yang ditinjau.

1. Prosentase minimum pemenuhan kebutuhan sepanjang 10 tahun simulasi operasi waduk (maksimisasi).
2. Rerata prosentase pemenuhan kebutuhan sepanjang 10 tahun simulasi operasi waduk (maksimisasi).

Sebelum dilakukan optimasi, maka dilakukan perbaikan pada struktur aturan operasi. Untuk Aturan Lepas Operasi Waduk (ALOW) Berdasarkan Status Tampang pada awal periode operasi (½ bulanan), maka dilakukan penghalusan (penambahan) grid tampungan dalam 3 macam model sebagai berikut.

1. Model 1: Lebar grid 5 % (20 grid).
2. Model 2: Lebar grid 2.5 % (40 grid).
3. Model 3: Lebar grid 2 % (50 grid).

Jadi ada 3 macam konfigurasi grid tampungan. Untuk masing-masing konfigurasi dibuat 2 macam model garis lepasan, yaitu (1) garis lepasan diskrit, dan (2) garis lepasan kontinyu. Jadi seluruhnya ada 6 model ALOW (Aturan Lepas Operasi Waduk) Berdasarkan Status Tampang (BST), yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Model-model ALOW-BST.

No. Model	KODE	KETERANGAN
1	ALOW-BST-	20 grid Diskrit
2	ALOW-BST-	20 grid
3	ALOW-BST-	40 grid Diskrit
4	ALOW-BST-	40 grid
5	ALOW-BST-	50 grid Diskrit
6	ALOW-BST-	50 grid

Untuk perbaikan struktur Rule Curve, maka dilakukan penambahan kur-

va sebagai batas-pelepasan bertingkat. Kurva teratas merupakan pembatas le-
pasan 100% kebutuhan. (ekivalen de-
ngan kurva tunggal). Selanjutnya kurva-
kurva di bawah merupakan pembatas le-
pasan dengan prosentase kebutuhan yang
semakin mengecil. Dalam studi peneliti-
an ini direncanakan ada 4 macam penam-
bahan kurva, yaitu 0, 1, 2, dan 3. Jadi se-
luruhnya ada 4 model ALOW (Aturan
Lepasan Operasi Waduk) Berdasarkan
Rule Curve (BRC), yang ditampilkan pa-
da tabel berikut.

Tabel 2. Model-model ALOW-BST.

No. Model	KODE	KETERANGAN
1	ALOW-	Penambahan 0
2	ALOW-	Penambahan 1
3	ALOW-	Penambahan 2
4	ALOW-	Penambahan 3

Selanjutnya ke 10 model ALOW ini
diprogramkan ke dalam Program
Spreadsheet MS-Excel dan dijalankan se-
bagai langkah-langkah berikut.

1. Menyusun prosedur simulasi operasi waduk untuk masing-masing dari model-model ALOW ke dalam worksheet.
2. Mengaplikasikan prosedur Add-Ins Solver yang ada pada program Spreadsheet untuk mendapatkan hasil daripada simulasi stokastik yang optimal.
3. Membandingkan hasil-hasil optimasi simulasi stokastik daripada model-

model ALOW yang ditinjau satu sama lain.

4. Menentukan model mana yang lebih sesuai untuk aturan operasi Waduk Pengga.

Sebagai data input pada prosedur si-
mulasi stokastik dalam studi ini adalah:

- Data seri debit inflow $\frac{1}{2}$ bulanan selama 10 tahun (lihat di Lampiran).
- Data seri kebutuhan air $\frac{1}{2}$ bulanan selama 1 tahun.
- Data Evaporasi di waduk (= 4 mm/hari).
- Data Kapasitas Tampung Aktif Waduk (= 20.89 juta m³).
- Data Kapasitas Tampung Mati Waduk (= 4.41 juta m³).
- Data Lengkung Luasan Waduk.

HASIL PENELITIAN

Jadi terhadap ke-10 model-model ALOW (6 model ALOW Berdasarkan Status Tampung dan 4 model ALOW Berdasarkan Rule Curve) dilakukan optimasi dengan menggunakan prosedur *Add-Ins Solver*. Kemudian hasilnya di-
bandingkan untuk melihat model mana yang paling sesuai khususnya untuk operasi Waduk Pengga.

Untuk setiap dari ke-10 model-model ALOW yang ditinjau, maka dilak-
ukan optimasi dengan 2 Fungsi Tujuan, yaitu (1) maksimisasi prosentase mini-
mum dari pemenuhan kebutuhan, dan (2) maksimisasi nilai rerata prosentase dari pemenuhan kebutuhan. Hasilnya dapat dilihat pada tabel yang berikut ini.

Tabel 3. Fungsi Tujuan (%) Hasil Running Optimasi model-model ALOW.

Kode Model ALOW	MAKSIMISASI		MAKSIMISASI RERATA	
	Prosentase Minimum	Rerata Prosentae	Prosentase Minimum	Rerata Prosentae
ALOW-BST-	49.29	72.97	0.00	88.84
ALOW-BST-	49.83	73.01	0.00	88.84
ALOW-BST-	46.44	72.72	0.00	88.84
ALOW-BST-	49.77	72.77	0.00	88.84

ALOW-BST-	49.55	72.83	0.00	88.84
ALOW-BST-	49.85	72.11	0.00	88.84
ALOW-BRC-1	27.22	85.95	0.00	93.29
ALOW-BRC-2	56.88	76.06	0.00	91.39
ALOW-BRC-3	56.23	77.75	1.81	93.68
ALOW-BRC-4	40.67	77.89	0.00	92.60

PEMBAHASAN

Dari nilai-nilai Fungsi Tujuan (memaksimumkan Prosentase Pemenuhan Minimum), dan memaksimumkan Rerata Prosentase Pemenuhan) hasil optimasi 6 model ALOW Berdasarkan Status Tampungan, dan 4 model ALOW Berdasarkan Rule Curve dengan menggunakan Perangkat Add-Ins Solver, maka dapat dikemukakan point-point pembahasan sebagai berikut ini.

1. Untuk semua model ALOW secara umum, memaksimumkan nilai Prosentase Kebutuhan Minimum juga menghasilkan nilai Rerata Prosentase Kebutuhan yang cukup tinggi (di atas 70%). Sebaliknya dengan memaksimumkan nilai Rerata Prosentase Kebutuhan, juga menghasilkan nilai Prosentase Kebutuhan Minimum yang sangat rendah atau bahkan nol.
2. Penambahan banyaknya grid tampungan pada ALOW Berdasarkan Status Tampungan tidak berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja daripada aturan lepasan.
3. Perubahan garis lepasan dari bentuk diskrit menjadi bentuk kontinyu cukup berpengaruh terhadap peningkatan kinerja daripada aturan lepasan.
4. Penambahan banyaknya kurva pada ALOW Berdasarkan Rule Curve berpengaruh sangat signifikan terhadap peningkatan kinerja daripada aturan

lepasan. Banyaknya kurva yang paling baik adalah 2 kurva.

5. Kinerja daripada ALOW Berdasarkan Rule Curve lebih baik jika dibandingkan dengan kinerja ALOW Berdasarkan Status Tampungan (model ALOW-BRC-2).
6. Optimasi dengan model ALOW Berdasarkan Status Tampungan berlangsung cukup mudah karena strukturnya yang sederhana sehingga tidak banyak mengandung parameter.
7. Sebaliknya optimasi dengan model ALOW Berdasarkan Rule Curve berlangsung cukup rumit karena mengandung sejumlah parameter-parameter yang terlebih dahulu harus diestimasi nilainya secara heuristik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian tentang Perbandingan Aturan Operasi Waduk Pengga antara Aturan Lepas Berdasarkan Tampungan dan Rule Curve ini menghasilkan sejumlah kesimpulan dan saran sebagai berikut.

1. Hasil optimasi daripada model Aturan Lepas Operasi Waduk (ALOW) akan memberikan hasil yang bagus dan seimbang apabila menggunakan Maksimisasi Prosentase Kebutuhan Minimum sebagai Fungsi Tujuan.
2. Model Aturan Lepas Operasi Waduk (ALOW) Berdasarkan Rule Curve dengan 2 kurva batas bawah (ALOW-

BRC-2) adalah yang paling sesuai untuk aturan operasi Waduk Pengga, walaupun secara umum, walaupun secara umum maka ke-10 model ALOW dapat dipertimbangkan untuk diterapkan.

Untuk keperluan pengarahan penelitian-penelitian yang lebih lanjut, maka dapat dikemukakan saran-saran berikut.

1. Baik model ALOW Berdasarkan Status Tampungan maupun model ALOW Berdasarkan Rule Curve patut untuk dipertimbangkan pada setiap perencanaan operasi waduk-waduk berukuran sedang dan kecil.
2. Baik model ALOW Berdasarkan Status Tampungan maupun model ALOW Berdasarkan Rule Curve dapat dibuatkan program bakunya berupa paket program yang dapat digunakan untuk waduk-waduk yang lain.
3. Model ALOW Berdasarkan Status Tampungan berpotensi untuk dikembangkan lebih jauh pada sistem banyak waduk yang tersusun paralel, sedangkan model ALOW Berdasarkan Rule Curve berpotensi untuk dikembangkan lebih jauh pada sistem banyak waduk yang tersusun seri.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada semua pihak, terutama pihak BPP

Fakultas Teknik UB, yang telah membantu kami sehingga kami dapat melakukan studi dan membuat makalah ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Goldberg, D.E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts.
- Hillier, F.S. and Lieberman G.J., 2010. *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, Singapore.
- McMahon, T.A. and Mein, R.G., 1978. *Reservoir Capacity and Yield*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Melkamu, A., 2009. *Reservoir Operation using Monte-Carlo Simulation Techniques*, VDM Verlag Dr. Muller Aktiengesellschaft & Co. KG, Saarbrücken.
- Wurbs, R.A., 1996. *Modeling and Analysis of Reservoir System Operations*. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Soetopo, W., Priyantoro, D., and Suprijanto, H., 2012. *Annual Variation Independent Operating Policy For The Pengga Reservoir*. International Conference on Water Resources 2012, Langkawi-Malaysia.