

DROUGHT ANTICIPATION ON IRRIGATION LAND USING TRADE-OFF MODEL ON CASCADE RESERVOIR OPERATION

Azmeri¹

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, email: penulis1@gmail.com

Abstract: *An experiment based on literature review and secondary data collecting to study and develop a software that can be operated by the users interactively and friendly, has been conducted. The results show that, on the trade – off curve based on the equal service level between energy and irrigation water, gained that the level to the energy demands of the smaller line with increased service levels, meet the demands of the irrigation water. Based on the trade-off analysis, however, for the dry year of 82.5%, show that both for these demands with the equal service level, were obtained.*

Keywords : *software, trade-off curve, the equal service level, energy, irrigation, dry periode*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan software yang dapat dioperasikan oleh pengguna (operator waduk) secara interaktif dan user friendly. Pada kurva trade-off berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi dan air irigasi, diperoleh bahwa tingkat layanan terhadap kebutuhan energi semakin kecil seiring dengan peningkatan tingkat layanan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi. Berdasarkan analisa trade-off, maka untuk tahun kering diperoleh sebesar 82,5% untuk kedua kebutuhan tersebut dengan tingkat layanan yang sama.

Kata kunci : software, kurva trade-off, tingkat layanan yang sama, energi, irigasi, tahun kering.

Kebutuhan air saat ini dan mendatang makin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk berakibat pula pada peningkatan, perkembangan dan pembangunan di segala sektor. Sumberdaya air yang ada tidak selalu dapat memenuhi kebutuhan secara jumlah dan tepat waktu. Oleh karena itu diperlukan tampungan untuk menampung air pada saat kelebihan dan menyalurkan pada saat dibutuhkan yaitu berupa waduk. Waduk sebagai penampung air di saat kelebihan dan penyalur air saat dibutuhkan, sangat diperlukan. Namun, pasokan air dari

waduk sering kali tidak mencukupi bagi pemenuhan air di hilir, pada musim kemarau. Hal tersebut berdampak pada kekurangan air di lahan pertanian. Hambatan tersebut, karenanya, menimbulkan konflik antara pengguna air irigasi untuk pertanian dan pengguna air untuk pembangkit energi. Sebagai contoh, ialah bahwa dalam pengoperasian Waduk Kaskade Citarum telah terjadi konflik kepentingan antara pengguna air irigasi untuk pertanian dan pengguna air untuk pembangkit energi.

Berdasarkan hal tersebut, maka diupayakan untuk memberi solusi. Solusi

yang diambil pada masalah yang timbul ialah dibentuknya berbagai perangkat lunak untuk penentuan pola pengoperasian waduk secara optimal bagi ketiga waduk yang ada (Azmeri *et al.*, 2006). Penelitian ini mengembangkan model trade-off dengan menggunakan Algoritma Genetika [AG] yang diharapkan dapat memperbaiki penggunaan Pola Pengoperasian Waduk [Reservoir Operation, RESOP] yang digunakan hingga saat ini, yang sangat rentan pada konflik kepentingan.

KAJIAN PUSTAKA

Hal yang diperlukan dalam analisa *trade-off* pada pengoperasian Waduk Kaskade Citarum adalah menentukan prioritas tingkat layanan energi yang disebut dengan Rasio Kebutuhan Energi (RKE) dan tingkat layanan air irigasi disebut dengan Rasio Kebutuhan Air Irigasi (RKAI). Untuk menentukan prioritas tingkat layanan energi dan air irigasi, dalam memenuhi target energi listrik maupun untuk memenuhi target air irigasi termasuk irigasi, maka diperlukan suatu mekanisme tolok ukur agar prioritas untuk masing-masing tujuan dapat diketahui. Tolok ukur tersebut adalah sebagai berikut:

$$RKE(\%) = \frac{\text{Produksi Energi}}{\text{Target Energi}} \quad (1)$$

$$RKAI(\%) = \frac{\text{Release Irigasi Djuanda}}{\text{Target Irigasi Djuanda}} \quad (2)$$

Fungsi Tujuan (*Objective Functions*)

Pada penelitian ini disusun skenario fungsi tujuan yaitu fungsi tujuan untuk memaksimalkan rata-rata energi dan *release* untuk air irigasi. Model yang diterapkan merupakan model multi tujuan (*multiobjectives*) yang merangkum 2 (dua) tujuan, diantaranya memaksimalkan produksi energi dan memaksimalkan *release* air dari Waduk Djuanda untuk memenuhi kebutuhan air irigasi.

Pada metode ini, fungsi tujuannya adalah dari tipe bobot, dimana bobot dari tiap-tiap tujuan yang ditetapkan oleh para pemangku kepentingan (*stakeholder*). Fungsi tujuan dengan metode bobot adalah sebagai berikut:

$$Max(\alpha \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{t=1}^n E_{i,t}}{n} + \beta \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{t=1}^n R_{i,t}}{n}) \quad (3)$$

di mana:

E = produksi energi (GWH);

R = *Release* air Waduk Djuanda untuk memenuhi kebutuhan air irigasi (MCM);

i = jumlah waduk;

t = jumlah interval waktu; dan

α dan β = parameter bobot masing-masing untuk kebutuhan energi dan air irigasi.

Fungsi Kendala (*Constraints*)

Kendala yang akan digunakan pada penelitian dibagikan menjadi 7 (tujuh) kelompok sebagai berikut:

1. Kendala berupa *upper rule curve* dan *lower rule curve*.

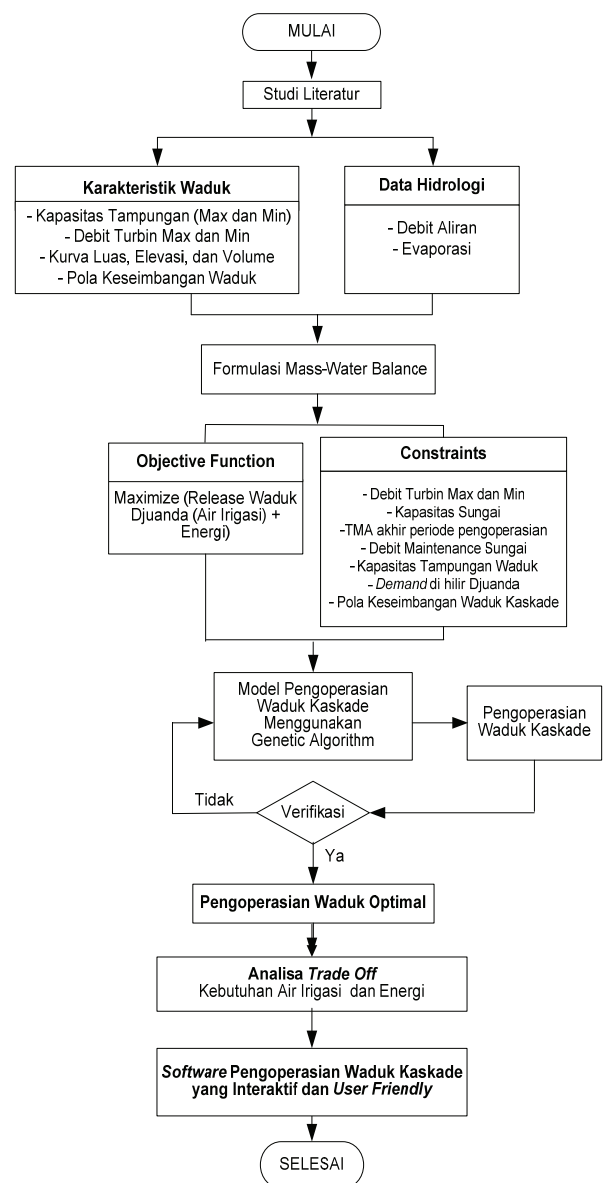
2. Kendala berupa tinggi muka air minimum di akhir periode pengoperasian.
3. Kendala berupa batasan kapasitas turbin tiap waduk.
4. Kendala berupa pola keseimbangan Waduk Kaskade Citarum.
5. Kendala berupa hubungan Tinggi Muka Air (TMA), volume tampungan, dan luas genangan tiap waduk.
6. Kendala persamaan pembatas (*state equation*) untuk masing-masing waduk.
7. Kendala berupa kapasitas sungai dan debit *maintenance*.

METODE PENELITIAN

Penelitian terdiri atas analisa teoritis dan perancangan perangkat lunak (*software*) untuk menghasilkan pola pengoperasian waduk kaskade yang optimal. Penelitian diawali dengan studi literatur, selanjutnya dilakukan pengumpulan data fisik dan karakteristik masing-masing waduk, serta data mengenai optimasi pengoperasian waduk eksisting dalam sistem Kaskade Citarum. Selanjutnya dilakukan penyiapan data model; data yang telah dikumpulkan, diedit, dan diolah, kemudian disiapkan untuk disusun menjadi data masukan model.

Analisa teoritis dilakukan dengan menggunakan konsep keseimbangan air (*water balance*) yang ada pada waduk kaskade. Setelah itu dilakukan perancangan *software* dengan terlebih dahulu menentukan fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi kendala (*constraints*) yang terdapat dalam model.

Dari pemodelan tersebut diharapkan akan diperoleh pola pengoperasian (*rule curve*) waduk yang merupakan rekomendasi prioritas pemanfaatan air waduk secara optimal. Dari pengoperasian waduk optimal tersebut selanjutnya dilakukan analisa model *trade-off* antara kebutuhan irigasi yang ada di hilir waduk Djuanda dan produksi energi. Selengkapnnya metodologi penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 . Bagan Alir Metodologi Penelitian

HASIL PEMBAHASAN

Analisa Sensitivitas Parameter AG

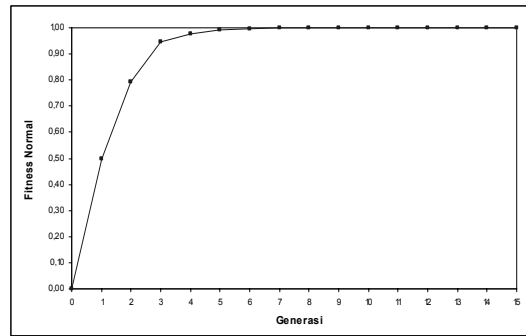
Tujuan dari analisa sensitivitas parameter AG adalah penetapan parameter model AG yang optimum. Setelah melalui tahap-tahap sensitivitas dan diperoleh parameter optimal AG, maka model telah dapat digunakan untuk memperoleh nilai *fitness* optimum dengan berbagai skenario fungsi tujuan. Parameter-parameter yang diuji adalah:

1. Probabilitas Crossover (P_c);
2. Probabilitas Mutasi (P_m); dan
3. Ukuran Populasi (P_{size} , P_s).

Parameter optimal model AG diperoleh dengan melakukan normalisasi terhadap nilai *fitness* dari fungsi tujuan. Pada fungsi tujuan memaksimalkan (*maximize*), maka grafik total *fitness* akan menuju ke arah maksimal. Dan pada sensitivitas probabilitas pertukaran gen dan probabilitas perubahan gen, parameter optimum diperoleh pada probabilitas yang menghasilkan nilai normalisasi yang paling maksimum.

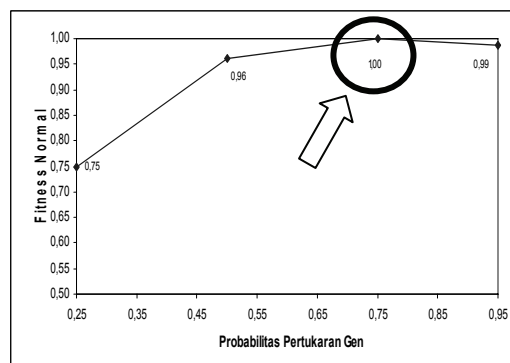
Running model AG dilakukan pada probabilitas pertukaran gen antara 0,25-0,95, dan probabilitas perubahan gen bervariasi antara 0,05-0,20. Serta ukuran populasi yang akan dianalisa antara 10 dan 50.

Nilai *fitness* dalam beberapa variasi generasi disajikan pada **Gambar 2**. Nilai *fitness* maksimum akan menemukan solusi optimum pada generasi 15.



Gambar 2. Nilai *Fitness* Optimal dari Berbagai Generasi

Global optimum untuk problem pengoperasian Waduk Kaskade Citarum adalah tipe $P_c = 0,25$; $P_m = 0,05$; $P_s = 30$; $Gen = 15$. Dan sensitivitas probabilitas pertukaran gen pada fungsi tujuan memaksimalkan rata-rata energi dan *release* untuk air irigasi pada running AG diperlihatkan pada **Gambar 3**.

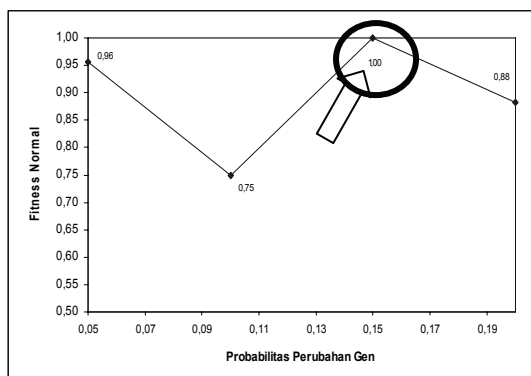


Gambar 3. Sensitivitas Probabilitas Pertukaran Gen

Secara umum bila probabilitas pertukaran gen bernilai besar maka eksplorasi yang akan terjadi menjadi lebih luas, sehingga diharapkan tidak terperangkap dalam nilai optimum lokal. Namun bila probabilitas pertukaran gen terlalu besar, maka proses komputer menjadi lambat dan solusi optimum

menjadi berlebihan (*redundant*). Wardlaw, 1999 dari DeJong, 1975 menganjurkan bahwa AG akan memberikan hasil yang baik dengan menggunakan probabilitas pertukaran gen yang tinggi. Namun parameter AG bersifat spesifik dan sangat tergantung dari domain solusi dan kendala permasalahan yang akan diselesaikan (Kusumadewi, 2003). Dari uji sensitivitas probabilitas pertukaran gen pada pengoperasian Waduk Kaskade Citarum, solusi terbaik diperoleh dari probabilitas pertukaran gen 0,75. Sehingga tipe diperoleh solusi optimum dengan tipe $P_c=0,75$; $P_m=0,05$; $P_s=30$; $Gen=15$.

Dengan diperolehnya probabilitas pertukaran gen yang optimal, maka pengaruh probabilitas perubahan gen pada running AG dilakukan dengan menggunakan probabilitas pertukaran gen 0,75. Sensitivitas probabilitas perubahan gen pada fungsi tujuan memaksimalkan rata-rata energi dan *release* untuk air irigasi diperlihatkan pada **Gambar 4**.

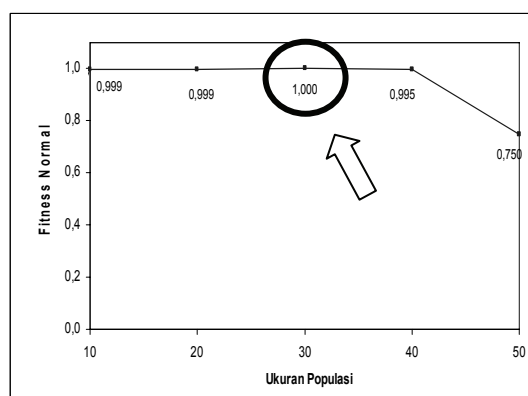


Gambar 4. Sensitivitas Probabilitas Perubahan Gen

Tujuan proses mutasi adalah agar

mahluk hidup dapat terus bertahan hidup dengan kualitas yang lebih baik. Namun bila probabilitas perubahan gen terlalu besar, maka kromosom turunan kemungkinan mulai kehilangan kesamaan dengan kromosom induk. Keadaan ini akan membuat algoritma genetika kehilangan untuk belajar dari sejarah dalam proses pencarian solusi optimum. Wardlaw, 1999 dari DeJong, 1975, menganjurkan bahwa AG akan memberikan hasil yang baik dengan menggunakan probabilitas perubahan gen yang rendah. Saat proses pencarian dilanjutkan dari probabilitas perubahan gen 0,15, maka nilai *fitness* memberikan hasil yang lebih rendah. Oleh karena itu pengaruh variasi probabilitas perubahan gen yang menunjukkan hasil terbaik adalah tipe $P_c=0,75$; $P_m=0,15$; $P_s=30$; $Gen=15$.

Sensitivitas ukuran populasi diperlihatkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Sensitivitas Ukuran Populasi

Analisa Trade-Off Berdasarkan Tingkat Layanan yang Sama antara Energi dan Air Irigasi

Analisa *trade-off* pada penelitian ini

untuk mengamati dampak peningkatan kebutuhan air irigasi dan pengaruhnya terhadap energi listrik yang dihasilkan. Analisa *trade-off* didasarkan pada Rasio Kebutuhan Air (RKE) dan Rasio Kebutuhan Air Irigasi (RKAI).

Besarnya produksi energi listrik dan *release* Djuanda untuk air irigasi yang diperoleh dari hasil optimasi pengoperasian waduk, masing-masing dibagi dengan target pencapaiannya. Tingkat layanan energi yang disebut dengan Rasio Kebutuhan Energi atau RKE dan tingkat layanan air irigasi disebut dengan Rasio Kebutuhan Air Irigasi atau RKAI. Kemudian diperoleh kurva di mana RKE dan RKAI tersebut berpotongan pada satu titik yang menunjukkan kondisi optimal dari *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi dan kebutuhan air irigasi.

Analisa *trade-off* berdasarkan tingkat layanan dihitung pada tahun kering. Hal ini disebabkan karena pada tahun kering dengan *inflow* yang berkurang menyebabkan persediaan air yang sedikit dan dapat menimbulkan perselisihan atau perebutan antara kedua objektif yaitu energi dan air irigasi. Dengan analisa *trade-off*, maka akan diperoleh tingkat layanan yang optimal dengan prioritas yang sama untuk keduanya.

Hasil simulasi pengoperasian waduk kaskade adalah total energi listrik dan total firm energi listrik yang dihasilkan dalam satuan GWh (Giga Watt Hour). Besarnya

energi listrik dan *release* untuk air irigasi yang dihasilkan, dipengaruhi oleh input persentase α dan β yang bervariasi. Adapun proses analisa *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi listrik dan kebutuhan air irigasi dengan langkah sebagai berikut :

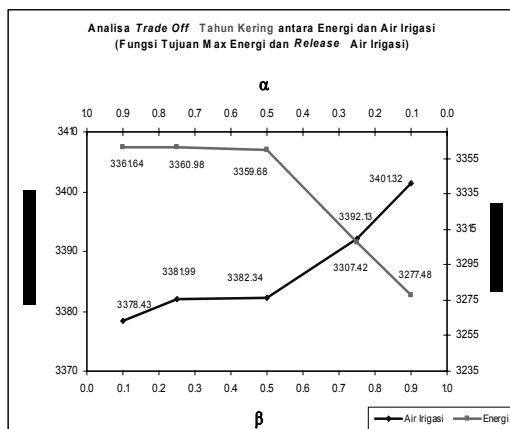
- Menyiapkan data input model.
- Menentukan parameter α dan β . Parameter α dan β merupakan bobot antara kebutuhan energi listrik dan kebutuhan air irigasi.
- Memodelkan pola pengoperasian Waduk Kaskade Citarum berdasarkan parameter α dan β yang telah ditentukan.
- Menghitung Rasio Kebutuhan Air Irigasi (RKAI) sebagai perbandingan antara *release* Waduk Djuanda dan target kebutuhan air irigasi, serta menghitung Rasio Kebutuhan Energi (RKE) sebagai perbandingan antara produksi energi dan target kebutuhan energi.
- Memplot hubungan antara parameter α dan RKE sebagai *primary axis*, serta hubungan parameter β dan RKAI sebagai *secondary axis*.
- Menentukan perpotongan antara kurva hubungan parameter α dan RKE serta kurva hubungan parameter β dan RKAI untuk menentukan tingkat layanan yang sama.

Selengkapnya kurva hubungan peningkatan kebutuhan air irigasi terhadap

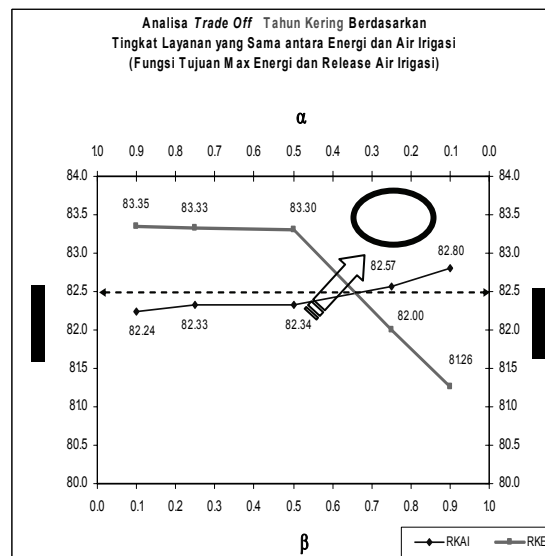
produksi energi listrik tahun kering dan kurva *trade-off* masing-masing berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi listrik dan kebutuhan air irigasi dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Pada kurva tersebut untuk tahun kering terjadi penurunan produksi energi yang besar setelah $\beta=0,5$. Semakin besar β maka penurunan produksi energi semakin besar. Demikian pula sebaliknya terjadi pada pemenuhan air irigasi, semakin besar α maka semakin kecil *release* air Waduk Djuanda yang dapat memenuhi kebutuhan air irigasi.

Pada kurva *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi dan air irigasi, diperoleh bahwa tingkat layanan terhadap kebutuhan energi semakin kecil seiring dengan peningkatan tingkat layanan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi. Berdasarkan analisa *trade-off*, maka untuk tahun kering diperoleh sebesar 82,5% untuk kedua kebutuhan tersebut dengan tingkat layanan yang sama.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Kurva Produksi Energi dan Release Djuanda Tahun Kering, (b) Kurva Trade-Off Berdasarkan Tingkat Layanan yang Sama antara Energi Listrik dan Kebutuhan Air irigasi

Penentuan berdasarkan tingkat layanan yang sama dapat dijadikan pola pengoperasian apabila telah ada kesepakatan di antara ketiga waduk. Namun apabila kondisi *inflow*, kondisi masing-masing pembangkit, serta kondisi di hilir waduk tidak memungkinkan untuk dilakukan *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama, maka grafik *trade-off* tersebut dapat dijadikan media pengambil keputusan bagi Waduk Kaskade Citarum.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dari sensitivitas parameter AG, maka solusi optimum yang diperoleh dengan

parameter AG sebagai berikut:
 $P_c=0,75; P_m=0,15; P_s=30; Gen=15$.

- b. Pada kurva *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama antara energi dan air irigasi, diperoleh bahwa tingkat layanan terhadap kebutuhan energi semakin kecil seiring dengan peningkatan tingkat layanan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi. Berdasarkan analisa *trade-off*, maka untuk tahun kering diperoleh sebesar 82,5% untuk kedua kebutuhan tersebut dengan tingkat layanan yang sama.
- c. Penentuan berdasarkan tingkat layanan yang sama dapat dijadikan pola pengoperasian apabila telah ada kesepakatan di antara ketiga waduk. Namun apabila kondisi *inflow*, kondisi masing-masing pembangkit, serta kondisi di hilir waduk tidak memungkinkan untuk dilakukan *trade-off* berdasarkan tingkat layanan yang sama, maka grafik *trade-off* tersebut dapat dijadikan media pengambil keputusan bagi Waduk Kaskade Citarum.

Berdasarkan analisa *trade-off* untuk tahun kering dengan menggunakan AG, maka penerapan fungsi tujuan memaksimalkan rata-rata energi dan *release* untuk air irigasi akan memberikan hasil yang optimal dibandingkan dengan fungsi tujuan yang digunakan selama ini yaitu memaksimalkan *firm* energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1983. *Cirata hidroelectric power project. Detailed design report*. PT PJB
- Anonymous. 2006. *Waduk Saguling, Cirata dan Djuanda. Kumpulan Data tahun 1988-2005*. PT PJB. PT Indonesia Power.
- Anonymous. 2006. *Data produksi energi waduk kaskade dalam sistem interkoneksi Jawa-Bali Tahun 1996-2005*. PT PLN [Persero].
- Anonymous. 2006. *Waduk Djuanda. Kumpulan data kebutuhan air tahun 1988 – 1991, tahun 1993-2001, tahun 2003-2005*. PJT 2.
- Azmeri, I.K. Hadihardaja, H. Tuah dan S. Legowo. 2007. *Cascade reservoir modeling using genetic algorithm [case study: Saguling, Cirata and Djuanda Reservoir in West java, Indonesia]* Proc. Intl. Conf. ICSiIT. Hal: 87 – 90. Bali
- Gen, M. and R. Cheng. 2000. *Genetic algorithms and engineering design*. John Wiley and Sons Inc. Hal: 53-61. A wiley Intsci. Publ.
- Koza, J.R. 1992. *Genetic programming on the programming of computers by means of natural selection*. Hal: 209. The MIT Press Cambridge. Massachusset.
- Kusumadewi, S. 2003. *Artificial intelligent [Teknik dan Aplikasinya]*. Hal: 279-297. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wardlaw, R. dan M. Sharif. 1999. *Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation*. Hal: 25-33. J. Water Res. Planning and Mgnt.