

# Penerapan Algoritma Genetika Untuk Optimasi Debit Air Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air

## Studi Kasus : Waduk Situ Cileunca, Jawa Barat

Lani Rohaeni<sup>1</sup>, Deni Saepudin<sup>2</sup>, Aniq Atiqi Rohmawati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Ilmu Komputasi Telkom University, Bandung

<sup>1</sup>lanirohaeni23@gmail.com, <sup>2</sup>denis7579@gmail.com, <sup>3</sup>aniqatqi@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

PLTA Plengan merupakan salah satu pembangkit listrik yang berada didaerah Pangalengan Jawa Barat, dalam satu hari dapat menghasilkan listrik sebanyak 136.800 kw dan membutuhkan air sebanyak 725.760 m<sup>3</sup>. Air yang digunakan oleh PLTA Plengan berasal dari outflow dari waduk Situ Cileunca, air di waduk tersebut tidak selamanya ada pada saat yang diperlukan. Untuk itu dalam tugas akhir ini akan dibahas bagaimana mengatur outflow waduk ke PLTA Plengan supaya dapat menghasilkan listrik semaksimal mungkin dan dengan tetap menjaga supaya air waduk tidak kering.

Masalah ini dapat dilihat sebagai dua masalah objektif, solusi untuk menyelesaikannya adalah dengan menggunakan metode fungsi penalti. Untuk mengoptimasi outflow waduk ke PLTA Plengan akan digunakan *Genetic Algorithm* (GA). Outflow waduk yang telah dioptimasi akan memberikan gambaran listrik dan kekurangan waduk. Setelah dioptimasi menggunakan GA diperoleh produksi listrik yang sama dengan data eksisting yaitu sebesar 13.619.115 kw/tahun dan kekurangan lebih rendah yaitu 0 m<sup>3</sup>/tahun.

Kata kunci : *Genetic Algorithm* (GA), PLTA, prediksi outflow waduk.

### ~~Abstract~~

Hydroelectric power plant Plengan is one of power plants located in Pangalengan West Java , in one day can produce electricity 136.800 kw and needed water 725.760 m<sup>3</sup>. The water used by hydropower plant Plengan coming from the reservoir outflow Cileunca, the water in the reservoir is not always there when needed. For the final project will be discussed how to manage the outflow of hydropower plant Plengan can produce electricity optimally and maintain the reservoir so that the water does not dry.

This problem can be seen as two objective problems, the solutions to solve them is by using penalty function. To optimize reservoir outflow to hydropower plant Plengan will use Genetic Algorithm (GA). Outflow reservoir optimizations will give an overview of electricity and shortage of reservoirs. After optimization using GA obtained electricity production equal to existing data amounting to 13.619.115 kw / year and a shortage of lower at 0 m<sup>3</sup> / year.

Keywords: *Genetic Algorithm* ( GA ), hydroelectric power, predictions outflow reservoir.

### 1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam terbesar di Indonesia dan mudah digunakan dalam pemanfaatannya, salah satu cara pendaayagunaannya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PLTA bekerja dengan cara merubah energi potensial menjadi energi mekanik dan dari energi mekanik menjadi energi listrik, PLTA merupakan salah satu pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena menggunakan air sebagai tenaga primernya. Air yang digunakan bisa saja langsung dari sungai atau dengan

cara di tampung terlebih dahulu bersamaan denga air hujan, dengan menggunakan kolam tando atau waduk sebelum di salurkan untuk memutar turbin.

Waduk Situ Cileunca merupakan salah satu waduk yang ada di Pangalengan Bandung Selatan yang memiliki daya tampung air maksimal 11.300.000 m<sup>3</sup> dengan luas mencapai 108 Ha dari waduk inilah PLTA Plengan mendapatkan persediaan air untuk menghasilkan listrik, kapasitas PLTA ini dapat menghasilkan 6,84 MW/h, dan PLTA ini memiliki 5 unit pembangkit listrik pada unit 1,2 dan

3 memiliki kapasitas produksi listrik sebesar 1,08 MW/h untuk unit 4 adalah 2 MW/h dan unit 5 adalah 1,6 MW/h. Dari kapasitas 6,84 MW/h itu hanya bisa menghasilkan daya(listrik) sebesar 5,7 MW/h pada saat musim hujan karena terkendala dengan pipa pesat yang memiliki diameter kecil sehingga air yang masuk pun tidak maksimal, dan pada saat musim kemarau hanya bisa menghasilkan daya 4,8 MW/h (data teknis PLTA Plengan). Dalam satu hari PLTA Plengan dapat menghasilkan maksimal listrik sebesar 136,8 MW (136.800 kw) dengan hasil listrik tersebut maka dibutuhkan air sebanyak 725.760 m<sup>3</sup>, sedangkan ketersediaan air di waduk tidak selamanya dapat terpenuhi pada saat yang diperlukan, oleh karena itu dibutuhkan optimasi outflow waduk supaya waduk tidak kering dan dapat menghasilkan listrik yang optimal. Pada tugas akhir ini akan mengoptimasi outflow waduk dan memaksimalkan produksi listrik PLTA Plengan sehingga meminimalkan kekurangan air di waduk, dan pada tugas akhir ini akan menggunakan Algoritma Genetika (GA).

Teknik optimasi untuk mengoptimasi outflow waduk telah banyak digunakan, pada tugas akhir metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode *Genetic Algorithm* (GA), GA merupakan salah satu metode yang cukup menjajikan dengan mengadopsi sistem alami dalam mengoptimasi. Kelebihan dari metode ini adalah kemampuan fleksibilitas dan efektifitasnya dalam mengoptimasi sistem yang bersifat kompleks[6]. GA sendiri merupakan teknik pencarian nilai optimum secara stokastik berdasarkan seleksi alam-teori genetika (Gen,et.al., 1997). Sebelum GA dijalankan masalah yang akan dioptimalkan harus dinyatakan dalam fungsi tujuan atau disebut *fitness*, apabila suatu kromosom memiliki nilai *fitness* yang tinggi maka akan berpengaruh terhadap produksi generasi selanjutnya, sehingga proses evolusi pada setiap generasi dapat menghasilkan nilai *fitness* yang lebih baik[2].

**2. PLTA Plengan dan Situ Cileunca**

**2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan untuk kehidupan manusia, karena hampir semua kegiatan tidak terlepas dari listrik mulai dari perumahan sampai kalangan industri karena dari tahun ke tahun semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan adanya listrik, inilah yang melahirkan industri pembangkit listrik. Salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Air, dimana air menjadi sumber tenaga penggerak turbin yang akan mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Air yang digunakan oleh PLTA biasanya berasal dari air sungai dan air hujan, kedua sumber tersebut tidak

langsung dipakai untuk keperluan turbin tetapi air tersebut ditampung terlebih dahulu kedalam sebuah waduk dan setelah itu baru di salurkan menggunakan pipa pesat. Di PLTA Plengan sendiri memiliki 2 buah pipa pesat dan memiliki 5 unit pembangkit listrik, berikut tabel data teknik mesin :

Tabel 1. Data Teknik Mesin (sumber : data teknis PLTA Plengan)

Turbin	Daya Turbin (kw)	Max Daya yang digunakan (kw)	Debit Air Max ( )
1	1.080	900	1,66
2	1.080	900	1,66
3	1.080	900	1,66
4	2.000	1.600	2,85
5	1.610	1.500	2,474

Akan tetapi dari kapasitas 6,84 MW/h itu hanya bisa menghasilkan daya 5,8 MW/h pada saat musim hujan dan pada saat musim kemarau hanya bisa menghasilkan daya 4,8 MW/h karena terkendala dengan pipa pesat yang memiliki diameter kecil sehingga air yang masukpun tidak maksimal.

**2.2 Waduk Situ Cileunca**

Waduk adalah danau buatan atau danau alam yang dapat menampung curah hujan dan air dari berbagai anak sungai, waduk dapat dimanfaatkan untuk irigasi, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan lain sebagainya. Di Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musin kemarau, persediaan air dapat berubah seiring dengan perubahan musim, jika musim kemarau tiba maka bisa terjadi kekeringan dan sebaliknya apabila terjadi musim hujan air bisa sangat melimpah, dan waduk Situ Cileunca memiliki daya tampung air maksimal sebesar 11.300.000 m<sup>3</sup> dengan besarnya daya tampung, waduk Situ Cileunca dapat menjadi sumber energi untuk PLTA Plengan. Tapi tidak selamanya waduk Situ Cileunca dapat memenuhi kebutuhan untuk PLTA, untuk itu diperlukan sistem pengoperasian waduk yang tepat agar dapat menghasilkan listrik semaksimal mungkin dan meminimalkan kekurangan air.

Dengan meminimalkan kekurangan air di waduk maka akan berpengaruh pula terhadap kinerja mesin turbin di PLTA Plengan. Apabila waduk tersebut sering mengalami kekeringan maka mesin pun akan sering berhenti dan jika mesin sering berhenti beroperasi maka mesin akan cepat rusak.

**2.2.1 Inflow Waduk ( Iw )**

Inflow adalah aliran air yang masuk ke dalam sebuah waduk, aliran tersebut bisa dari anak sungai atau dari curah hujan.

**2.2.2 Outflow Waduk**

Outflow adalah aliran keluar air yang berasal dari waduk, yang merupakan hasil tampungan dari inflow dan curah hujan.



Gambar 1. Plot hubungan antara air dan listrik

Gambar 6 merupakan hubungan antara listrik dan air, dimana semakin besar listrik yang dihasilkan maka semakin banyak pula air yang dibutuhkan. Pada bab ini akan menjelaskan tentang gambaran listrik yang akan dihasilkan setelah proses GA selesai, berikut persamaan yang digunakan untuk mengetahui gambaran listrik yang akan dihasilkan :

$$Y = 0,1671 * X + 86.718 \tag{2.1}$$

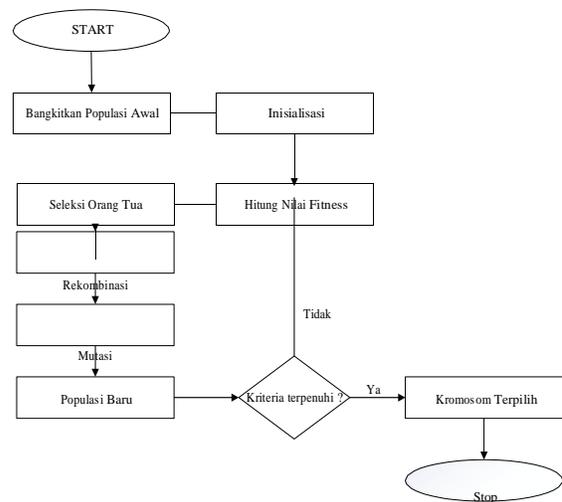
Keterangan :

Y = Listrik yang di hasilkan dalam satu bulan (m<sup>3</sup>)  
 X = Air (m<sup>3</sup>)

Persamaan 2.10 didapatkan dari fungsi linier hubungan antara air dan listrik pada data yang sebenarnya seperti pada Gambar 6, data yang digunakan adalah data bulanan dari tahun 2012-2014.

**3 Algoritma Genetika (AG)**

Saat pertama kali dipublikasikan oleh Jhon Holland pada sekitar tahun 1975 di Amerika, *Genetic Algorithm* (GA) memiliki bentuk yang sangat sederhana sehingga disebut dengan *Simple GA* (SGA). SGA sering disebut sebagai *Clasical GA* atau *Canical GA*. Pada umumnya SGA digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi diskrit. Ciri utama dari SGA adalah tidak terlalu cepat dalam menemukan solusi optimal, tetapi memiliki heuristik yang baik untuk masalah kombinatorial. Ciri lainnya adalah SGA lebih menitik beratkan pada rekombinasi atau *crossover*. Artinya bagian SGA yang paling penting untuk menemukan solusi adalah rekombinasi [7]. Berikut adalah struktur umum dari GA



Gambar 2. Struktur GA

Algoritma Genetika berangkat dari himpunan solusi yang dihasilkan secara acak yang disebut populasi. Sedangkan setiap individu dalam populasi disebut kromosom yang merupakan representasi dari solusi dan masing-masing dievaluasi tingkat ketanggguhannya (*fitness*) oleh fungsi yang telah ditentukan. Melalui proses seleksi alam atas operator genetik, gen-gen dari dua kromosom (disebut *parent*) diharapkan akan menghasilkan kromosom baru dengan tingkat fitness yang lebih tinggi sebagai generasi baru atau keturunan (*offspring*) berikutnya. Kromosom-kromosom tersebut akan mengalami iterasi yang disebut generasi (*generation*). Pada setiap generasi, kromosom dievaluasi berdasarkan nilai fungsi fitness [3]. Setelah beberapa generasi maka algoritma genetika akan mendapatkan kromosom terbaik, yang merupakan solusi optimal (Goldberg, 1989).

### 3.1 Generasi Awal

Generasi awal merupakan langkah pertama untuk membentuk suatu populasi dari satu generasi, dimana SGA membangkitkan secara acak sejumlah individu sebagai suatu populasi, jumlah individu bisa kita tentukan sesuai dengan permasalahan yang akan diselesaikan dan individu tersebut akan memiliki jumlah yang sama pada setiap proses evolusi (dari generasi awal sampai generasi akhir sampai ditemukannya solusi) sedangkan individu yang terdapat pada satu populasi disebut kromosom dan inialisasi dilakukan apabila ukuran populasi telah ditentukan.

### 3.2 Fungsi Fitness

Pada GA, suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran nilai kualitasnya. Fungsi ini dikenal sebagai fungsi *fitness*. Hal pertama yang harus kita perhatikan adalah fungsi objektif, pada kasus optimasi kita mengenal dua masalah yaitu maksimasi dan minimasi. Maksimasi berarti mencari nilai maksimal dari sesuatu (bisa dari suatu fungsi). Jadi, tujuannya adalah memaksimalkan sesuatu sedangkan minimasi artinya mencari nilai minimal dari sesuatu. Jika tujuannya untuk memaksimalkan sebuah fungsi maka, fungsi *fitness* yang digunakan adalah fungsi itu sendiri. Misal, masalahnya adalah memaksimalkan fungsi *h* maka formula fungsi *fitness* yang bisa digunakan adalah  $f = h$  (dimana *f* adalah fungsi *fitness*). Tetapi jika tujuannya adalah untuk meminimalkan fungsi *h* maka fungsi *fitness* adalah  $f = 1/h$ , fungsi *fitness* ini akan bermasalah apabila *h* bernilai 0 yang mengakibatkan *f* bisa bernilai tak hingga untuk mengatasi masalah tersebut fungsi *fitness* perlu dimodifikasi sedikit menjadi :

$$f = \frac{1}{h + a} \tag{3.1}$$

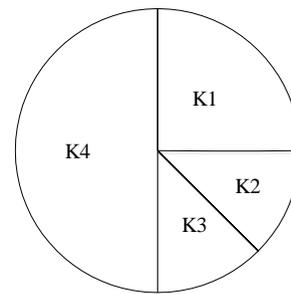
Dimana *a* adalah bilangan yang dianggap sangat kecil dan disesuaikan dengan masalah yang akan diselesaikan[5].

### 3.3 Seleksi Orang Tua

Pemilihan dua kromosom sebagai orang tua dilakukan secara proposional berdasarkan nilai-nilai *fitness*-nya. Salah satu algoritma seleksi yang umum digunakan adalah *roulette-wheel*. Sesuai dengan namanya, algoritma ini menirukan permainan *roulette-wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette*

secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Contohnya sebagai berikut

Kromosom	Fitness	Porsi
K1	2	1/4
K2	1	1/8
K3	1	1/8
K4	4	1/2
Jumlah	8	1



Gambar 3. Seleksi kromosom sebagai orang tua menggunakan algoritma *roulette-wheel*.

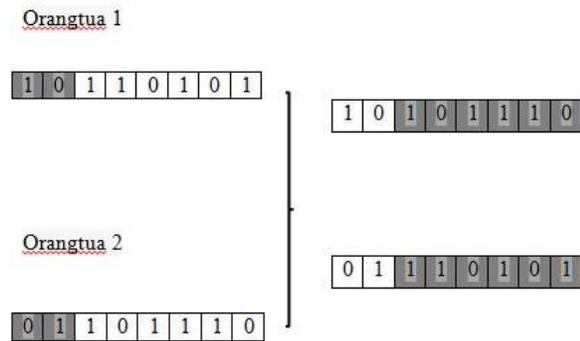
Kromosom dengan *fitness* lebih besar menempati ruang lebih besar dalam roda *roulette* sehingga memiliki peluang yang lebih besar untuk terpilih sebagai orang tua. Kromosom K4 dengan *fitness* sebesar 4 menempati setengah lingkaran sehingga memiliki peluang sebesar 0,5 untuk terpilih sebagai orang tua. Algoritma *roulette-wheel* sengaja memberikan peluang kepada setiap kromosom untuk bisa terpilih sebagai orang tua, artinya tidak ada kromosom yang memiliki peluang terpilih sebesar 0. Seleksi orang tua bisa dilakukan secara sekaligus untuk sebanyak jumlah kromosom atau juga bisa dilakukan per dua kromosom untuk langsung direkombinasi dengan catatan misalkan K4 sudah terpilih sebagai orang tua pertama, pada putaran yang kedua maka K4 tidak boleh terpilih kembali karena rekombinasi dua kromosom yang sama akan menghasilkan dua anak yang sama persis dengan orangtuanya.

### 3.4 Rekombinasi

Setelah dua kromosom terpilih sebagai orang tua dengan suatu metode seleksi orang tua tertentu, maka kedua kromosom tersebut akan direkombinasi untuk menghasilkan dua anak. Peluang keberhasilan rekombinasi dinyatakan dengan probabilitas

rekombinasi (*crossover*) yang dinyatakan dengan . Pada SGA biasanya digunakan SGA

menggunakan rekombinasi *N-point* atau rekombinasi seragam. Pada rekombinasi *N-point* titik rekombinasi bisa saja ditentukan secara acak sebagai posisi gen-gen orangtua yang akan diwariskan kepada kedua anaknya. Berikut ilustrasi dari rekombinasi



Gambar. 4 Rekombinasi

Pada rekombinasi 1-point (satu titik), rekombinasi menghasilkan 2 anak yaitu anak 1 dan anak 2. Anak 1 memiliki gen ke-1 dan gen ke-2 yang berasal dari orangtua 1 dan gen ke-3 sampai dengan ke-8 berasal dari orangtua ke-2, sebaliknya anak ke-2 memiliki gen ke-1 dan ke-2 berasal dari orangtua ke-2 dan gen ke-3 sampai dengan ke-8 berasal dari orangtua1.

### 3.5 Mutasi

Mutasi bisa terjadi secara acak pada setiap gen dan bersifat independent pada setiap gen. mutasi yang terjadi pada satu gen tidak mempengaruhi pada gen-gen yang lainnya. Proses mutasi sangat sederhana yaitu setiap gen dilakukan pembangkitan bilangan acak dengan interval [0,1). Jika bilangan acak yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi yang telah di tentukan maka gen tersebut akan di mutasi dengan cara membalik nilai biner (1 diubah menjadi 0 dan begitu pula sebaliknya). Jika jumlah gen adalah L, maka diperlukan pembangkitan bilangan acak sebanyak L kali. Probabilitas mutasi biasanya ditentukan antara — - diamana N adalah jumlah kromosom dalam populasi dan L adalah jumlah gen dalam satu kromosom.

### 3.6 Populasi Baru

Kromosom yang bertahan hidup atau *replacement* dilakukan secara sederhana dengan mengganti semua kromosom baru yang dihasilkan

dari proses rekombinasi dan mutasi. Penggantian kromosom secara sekaligus seperti ini disebut *generational replacement*.

## 4 Masalah Optimasi

### 4.1 Fungsi Penalti

Prinsip dasar fungsi penalti adalah mengubah suatu permasalahan yang dibatasi (constrained) menjadi suatu permasalahan yang tidak dibatasi (unconstrained) dengan menambahkan suatu parameter penalti ke dalam fungsi obyektif. Dengan menambahkan parameter penalti maka akan meningkatkan nilai dari fungsi obyektif ketika batasan dilanggar atau bahkan ketika batasan didekati.

Untuk mengetahui produksi listrik yang dihasilkan dalam 1 tahun

$$L = \left( \sum_{t=1}^{12} P_{t,i} \right) \quad (4.1)$$

Persamaan (2.10) ini didapatkan dari hubungan antaran listrik dan air (2.10), dimana adalah outflow waduk.

Dan untuk mengetahui kekurangan air dalam 1 tahun

$$\sum_{t=1}^{12} (I_{t,i} - O_{t,i}) \quad (4.2)$$

Persamaan (4.1) ini didapatkan dari persamaan (2.1).

Masalah ini dapat dilihat sebagai masalah optimasi dengan konstrain yaitu mencari sehingga dapat

Maksimum Listrik

s.t

$K = 0$

Memaksimalkan produksi listrik dari PLTA Plengan dan dapat meminimalkan kekurangan air di waduk. Apabila danau tersebut sering mengalami kekeringan, maka kemungkinan besar mesin turbin yang ada di PLTA Plengan pun akan sering berhenti beroperasi dan jika mesin sering berhenti maka mesin bisa cepat rusak. Karena danau Situ Cileunca juga merupakan salah satu agrowisata di pangalengan, maka danau tersebut tidak akan enak dipandang

apabila sering mengalami kekeringan dan bisa saja mengalami penurunan wisatawan.

Untuk itu pada tugas akhir ini akan dibahas bagaimana mengatur outflow waduk ke PLTA Plengan supaya dapat menghasilkan listrik semaksimal mungkin dan dengan tetap menjaga supaya air waduk tidak kering. Berikut persamaan yang digunakan :

Maksimum F

$$F = L - \lambda * K \tag{4.3}$$

Keterangan :

- F = Fungsi Penalti
- L = Listrik yang dihasilkan dalam 1 tahun (kw)
- K = Kekurangan air di waduk dalam 1 tahun (m<sup>3</sup>)
- λ = Bilangan positif

Fungsi penalti ini nantinya akan digunakan sebagai fungsi fitness dalam mengoptimasi outflow waduk dengan menggunakan metode algortima genetika.

#### 4.2 Outflow ( )

Outflow ini merupakan satu individu yang terdiri dari 12 variabel, individu ini merupakan hasil dari proses GA dimana nanti outflow ini akan digunakan sebagai rekomendasi outflow waduk untuk PLTA, tidak semua rekomendasi air dapat terealisasi karena apabila outflow lebih besar dari pada inflow dan volume waduk otomatis outflow tidak dapat terpenuhi, oleh karena itu outflow diolah kembali menjadi outflow realisasi (Or).

#### 4.3 Outflow Realisasi (Or)

Orealisasi adalah outflow waduk yang dapat dialirkan ke PLTA, untuk menentukan seberapa besar best outflow yang dapat terealisasi berikut langkah yang telah digunakan :

$$= \dots ) \tag{4.4}$$

Keterangan :

- = Outflow realisasi (m<sup>3</sup>)
- = Outflow random (m<sup>3</sup>)
- = Inflow waduk (m<sup>3</sup>)
- = Volume waduk (m<sup>3</sup>)
- = Jumlah variabel
- =

#### 4.4 Minimal Outflow

Minimal outflow merupakan batasan minimal air yang keluar dari waduk ke PLTA, berikut ini

persamaan yang digunakan untuk mengetahui minimal outflow yang bisa dikeluarkan waduk :

$$\tag{4.5}$$

Keterangan

$$= \text{Minimal outflow dari waduk ke PLTA (m}^3\text{)}$$

d adalah jumlah hari pada setiap bulan, contoh jika bulan Januari memiliki 30 hari, maka = 30 \* 132.797 m<sup>3</sup>, begitu seterusnya untuk bulan selanjutnya. Nilai 132.797 m<sup>3</sup> adalah minimal volume air yang dapat diterima oleh PLTA Plengan.

#### 4.5 Cadangan Air di Waduk

Cadangan adalah penyisihan air, hasil dari kelebihan atau dari inflow yang akan masuk ke waduk, untuk mengetahui cadangan air di waduk maka digunakan persamaan sebagai berikut

$$\tag{4.6}$$

Untuk menghitung cadangan air pada bulan ke-2 sampai dengan n maka menggunakan persamaan (4.7)

$$\tag{4.7}$$

Keterangan :

- Sc = Cadangan air waduk (m<sup>3</sup>)
- = Outflow realisasi (m<sup>3</sup>)
- = Inflow waduk (m<sup>3</sup>)
- = Volume waduk (m<sup>3</sup>)
- = Jumlah variable
- = 2

#### 4.6 Kekurangan Air di Waduk

Untuk mengethaui kekurangan air di waduk, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tag{4.8}$$

Keterangan :

- = Kekurangan air di waduk (m<sup>3</sup>)
- = Minimal outflow waduk ke PLTA (m<sup>3</sup>)
- = Cadangan air di waduk (m<sup>3</sup>)

Dengan menggunakan persamaan berikut maka dapat diketahui seberapa besar kekurangan air di waduk.

#### 4.7 Volume air Waduk (S)

Volume merupakan salah satu besaran yang dapat digunakan untuk mengetahui isi atau besarnya air dalam suatu ruang. Untuk mengetahui volume air

di waduk setelah digunakan, maka dapat menggunakan persamaan berikut :

$$(4.9)$$

Untuk menghitung Volume air dari bulan ke-2 sampai dengan n maka menggunakan persamaan (4.10)

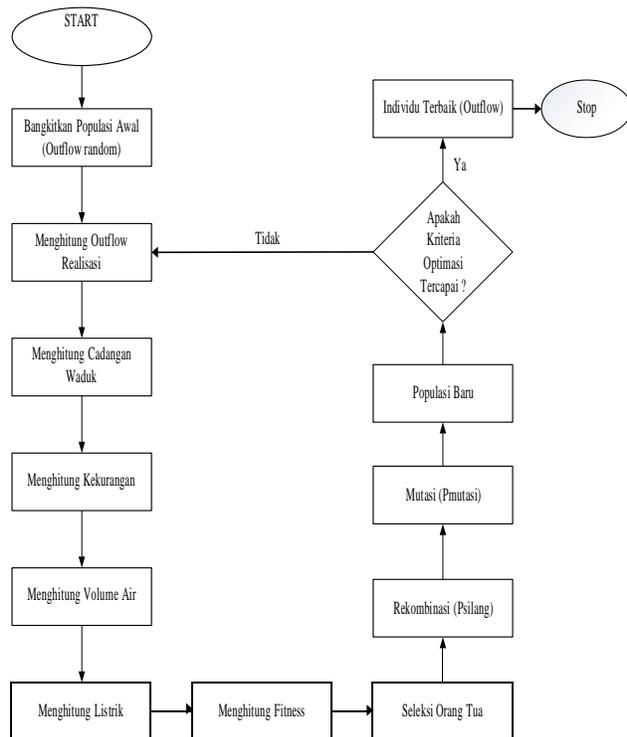
$$(4.10)$$

Keterangan :

- = Volume waduk (m<sup>3</sup>)
- = Inflow waduk (m<sup>3</sup>)
- = Outflow realisasi (m<sup>3</sup>)
- = Jumlah variable
- = 2

### 5 Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini, akan dibangun sebuah sistem untuk memprediksi outflow waduk menggunakan algoritma genetika sehingga menghasilkan listrik semaksimal mungkin, berikut flowchart perancangan sistem :



Gambar 5. Gambaran Umum Sistem

Berdasarkan gambar 6 langkah proses secara singkat dilakukan mengikuti tahapan seperti berikut :

#### 5.1 Bangkitkan Populasi Awal

Populasi adalah kumpulan dari beberapa individu yang telah di bangkitkan, di setiap individu memiliki panjang kromosom yang sama pada setiap evolusinya. Pada tugas akhir ini akan dibangkitkan populasi awal secara acak dengan ukuran populasi sebanyak 100, jumlah variabel 12, jumlah generasi 1000 dan dengan batasan antara 0 sampai 22.498.560 batasan ini menunjukkan nilai outflow waduk yang dapat diterima oleh PLTA Plengan.

#### 5.2 Evaluasi Individu

Evaluasi individu dilakukan dengan mengevaluasi setiap kromosom yang berisi nilai Outflow selanjutnya akan diproses dan evaluasi ini didasarkan untuk meminimalkan kekurangan air waduk dan memaksimalkan listrik, berikut langkah yang telah dilakukan untuk mengetahui nilai Fitness :

1. Menghitung nilai Outflow realisasi (bab 4.3)
2. Menghitung Cadangan waduk (bab 4.5)
3. Menghitung Kekurangan air (bab 4.6)
4. Menghitung Volume air waduk (bab 4.7)
5. Menghitung Listrik (bab 2.3)
6. Menghitung nilai Fitness, berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Fitness :

$$\text{Fitness} = \text{maksimum} (L - \lambda * K) \quad (5.1)$$

Keterangan :

- Fitness = Nilai fitness
- L = Listrik dalam 1 bulan
- K = Kekurangan air di waduk
- $\lambda$  = Bilangan positif

#### 5.3 Seleksi Orang Tua

Seleksi orang tua dilakukan untuk memilih pasangan orang tua yang nantinya akan direkombinasi menggunakan algoritma *Roulette Wheel*. Pemilihan dua kromosom orang tua dilakukan secara proporsional berdasarkan nilai fitnessnya.

#### 5.4 Rekombinasi

Orang tua telah terpilih maka proses selanjutnya adalah meneruskan generasi yaitu dengan cara rekombinasi, dengan cara ini maka kedua kromosom orang tua dapat menghasilkan 2 anak yang berbeda atau sama dengan kedua kromosom orang tua. Sama halnya dengan dunia nyata bahwa keberhasilan memiliki anak tidak semua pasangan orang tua bisa mendapatkannya oleh karena itu peluang keberhasilan operasi rekombinasi dinyatakan dengan Probabilitas Rekombinasi yang dinyatakan dengan Psilang dan apada SGA biasanya digunakan

Psilang sebesar 0.5 sampai 0.9. Pada tugas akhir ini rekombinasi yang digunakan yaitu rekombinasi untuk representasi *Real* dengan metode Rekombinasi satu titik atau *single arithmetic crossover*. Misalnya dua kromosom orang tua dinyatakan sebagai ( ) dan ( ), pilih salah satu gen missal k. Selanjutnya kedua anak dihasilkan dengan cara sebagai berikut :

$$(5.2)$$

dengan :

Y = kromosom 1  
X = kromosom 2

Parameter  $\alpha$  bisa di buat konstan atau bisa ditentukan secara acak pada setiap saat, dimana  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

**5.5 Mutasi**

Setelah mengalami proses rekombinasi, pada *offspring* dapat dilakukan mutasi. Mutasi dilakukan dengan mengubah secara acak sesuai dengan probabilitas mutasi (Pmutasi) yang ditentukan, karena mutasi memiliki probabilitas yang sangat kecil di dunia nyata maka Pmutasi juga kecil. Pada tugas akhir ini menggunakan mutasi untuk representasi real.

**5.6 Listrik**

Pada tahap ini, individu terbaik yang telah terpilih langsung digunakan untuk mengetahui gambaran listrik yang akan dihasilkan dari optimasi GA sehingga mendapatkan nilai prediksi dari data testing. Berikut persamaan yang digunakan untuk

$$L = 0,1671 * Or + 86.718 \quad (3.3)$$

dengan

L = Listrik yang dihasilkan  
Or = Outflow waduk yang telah dioptimasi

**6 Pengujian dan Analisis**

**6.1 Strategi Pengujian Sistem**

Pada tugas akhir ini akan dilakukan strategi pengujian terhadap data bulanan outflow waduk tahun 2012 dengan menggunakan metode GA, dan pengujian dilakukan sebanyak lima kali running untuk setiap parameternya. Berikut skenario pengujian yang telah dilakukan :

Tabel 2. Skenario

Skenario	Pmutasi	Lamda
1	0,01	0,1
2		1
3		10
4	0,05	0,1
5		1
6		10
7	0,1	0,1
8		1
9		10

Dengan :

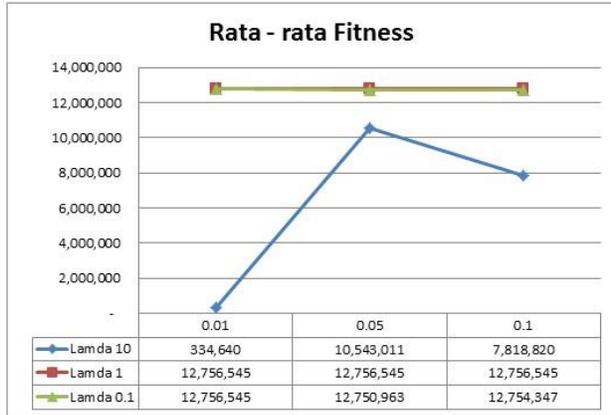
Populasi = 100  
Generasi = 1000  
Psilang = 0,7  
Sutau parameter dikatakan terbaik apabila memiliki nilai Fitness dan Listrik terbesar dan dengan Kekurangan terendah.

**6.2 Hasil Pengujian**

Setiap parameter akan dirunning sebanyak lima kali, hasil running akan dirata-ratakan dan akan dilihat parameter mana yang akan digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan outflow pada tahun berikutnya.

Skenario	Parameter		Fitness		
	Pmutasi	Lamda	Terbaik	Rata-rata	Terendah
1	0.01	0.1	12,756,545	12,756,545	12,756,545
2	0.01	1	12,756,545	12,756,545	12,756,545
3	0.01	10	12,756,545	334,640	-8,538,525
4	0.05	0.1	12,756,545	12,750,963	12,736,657
5	0.05	1	12,756,545	12,756,545	12,756,545
6	0.05	10	12,756,545	10,543,011	5,420,411
7	0.1	0.1	12,756,545	12,754,347	12,745,552
8	0.1	1	12,756,545	12,756,545	12,756,545
9	0.1	10	12,756,545	7,818,820	-4,460,149

Gambar. 6 Rata – rata Fitness



Gambar 7. Plot rata – rata Fitness

Keterangan :

Untuk sumbu

X = Pmutasi

Y = Nilai rata – rata Fitness

Dari plot rata – rata fitness diatas dapat diketahui bahwa Fitness dengan Lamda = 1 memiliki fitness yang stabil dan lebih bagus dari pada nilai Fitness dengan Lamda 0,1 dan 10. Suatu parameter dikatakan terbaik apabila memiliki nilai Fitness dan Listrik tertinggi dan kekurangan terkecil, berdasarkan Tabel 4-12 yang telah di running sebanyak lima kali semua parameter pernah menghasilkan nilai Fitness tertinggi, tapi memiliki rata-rata yang berbeda. Parameter yang memiliki Fitness tertinggi ada pada :

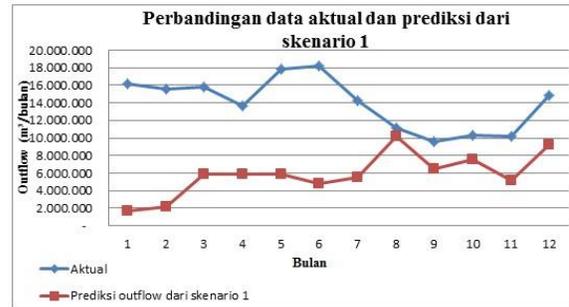
- skenario 1 dengan parameter Psilang = 0.7, Pmutasi = 0.01 dan Lamda = 0.1.
- skenario 2 dengan parameter Psilang = 0.7, Pmutasi = 0.01 dan Lamda = 1.
- skenario 5 dengan parameter Psilang = 0.7, Pmutasi = 0.05 dan Lamda = 1.
- skenario 8 dengan parameter Psilang = 0.7, Pmutasi = 0.1 dan Lamda = 1.

Keempat outflow dari parameter dengan Fitness terbaik akan dicoba untuk diimplementasikan pada 1 tahun kedepan dan akan dianalisa hasil listrik dan kekurangan yang didapat.

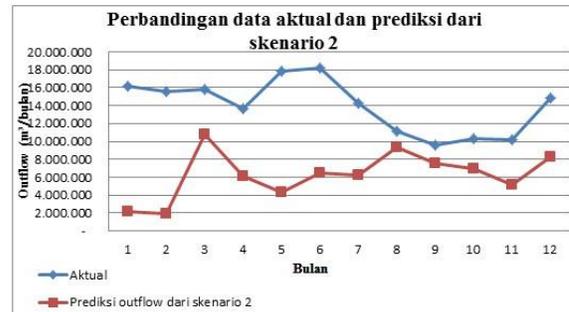
Berikut merupakan hasil Listrik dan Kekurangan dari keempat outflow parameter terbaik :

Tabel 3. Hasil Implementasi 2013

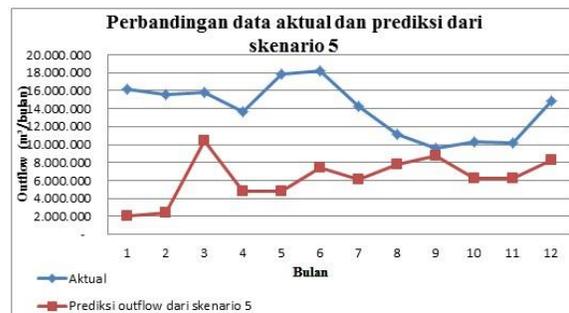
Prediksi	Listrik	Kekurangan
1	13,619,115	990,442
2	13,619,115	-
3	13,619,115	-
4	13,619,115	-



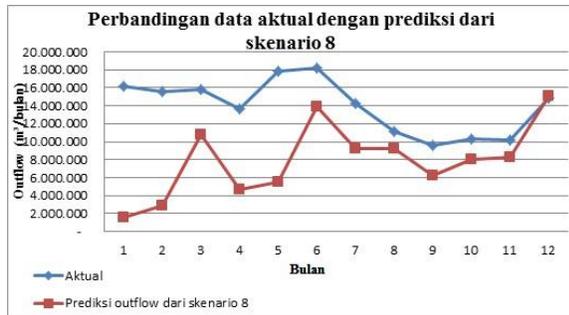
Gambar 8. Perbandingan outflow aktual dengan prediksi 1



Gambar 9. Perbandingan outflow aktual dengan prediksi 2



Gambar 10. Perbandingan outflow aktual dengan prediksi 5



Gambar 11. Perbandingan outflow aktual dengan prediksi 8

Pada tabel 4 merupakan hasil Listrik dan kekurangan apabila Outflow menggunakan data real dari PLTA, berikut tabelnya :

Tabel 4. Hasil outflow real

Listrik	Kekurangan
13,619,115	9,201,883

Hasil prediksi memberikan gambaran bahwa Listrik yang dihasilkan sama besar dengan data eksisting akan tetapi pada data eksisting memiliki Kekurangan yang sangat besar yaitu 9.201.883 m<sup>3</sup>. Kekurangan di waduk memiliki pengaruh terhadap kinerja mesin dimana semakin sering waduk mengalami kekeringan, maka akan semakin sering pula mesin berhenti beroperasi. Jika mesin sering berhenti maka besar kemungkinan mesin cepat rusak. Oleh karena itu outflow yang dioptimasi dengan Algoritma Genetika bisa dikatakan lebih baik dari pada outflow eksisting.

## 7 Kesimpulan dan Saran

### 7.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat disimpulkan bahwa :

Berdasarkan hasil pengujian optimasi dengan menggunakan metode Algoritma Genetika yang telah dilakukan didapatkan hasil, pada tahun 2013 outflow yang telah dioptimasi dapat menghasilkan Listrik sebesar 13,619,115 kw dan Kekurangan 0 m<sup>3</sup>. Berdasarkan outflow dari data aktual dapat menghasilkan Listrik sebesar 13,619,115 kw dan Kekurangan 9,201,883 m<sup>3</sup>. Outflow hasil optimasi dengan menggunakan GA lebih baik dari outflow data aktual, karena data aktual memiliki banyak kekurangan air dan menyebabkan seringnya mesin

berhenti sehingga apabila mesin sering berhenti maka mesin akan mudah rusak.

### 7.2 Saran

- Pada penelitian selanjutnya untuk memperkirakan outflow waduk dapat menggunakan algoritma EAs yang lain selain Algoritma Genetika serta bisa juga menggunakan ARIMA Time Series untuk memperkirakan inflow ke waduk.
- Memperbanyak skenario pengujian dan proses running pada setiap percobaan agar didapatkan hasil yang lebih baik.
- Diklasifikasikan antara musim hujan dan musim kemarau.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alice E, smith, David W. Coit. (1997). Constraint Handling Techniques Penalty Functions. in *Handbook of Evolutionary Computation, Institute of Physics Publishing and Oxford University Press, Bristol, U.K,* 1-10.
- [2] Azmeri, Iwan Krisdasantausa, Yadi Suryadi. (2006). Pengembangan Potensi energi Listrik Waduk Tunggal Menggunakan Genetic Algorithm (GA) studi kasus : Waduk Cimeta, Kabupaten bandung, Jawa Barat. *Gabungan D*, 274-280.
- [3] Cahaya Susanto, Winansi Soetopo, Emma Yuliani. (mei 2015). Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi kebutuhan Energi pembangkit Listrik Tenaga Air. studi kasus : Waduk Wonogiri. *Jurnal Teknik Pengairan, Vol 6, nomor 1*, 108 - 115.
- [4] Kusumadewi. (2003). *Artificial Intelligence (teknik dan Aplikasi)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Suyanto. (2008). *Evolutionary Computation Komputasi Berbasis "Evolusi" dan "Genetika"*. Bandung.
- [6] Janga Reddy dan Kumar Nagesh. (2006). Optimal Reservoir Operation Using Multi Objective Evolutionary Algorithm, *Jurnal Water Resources Management* 20:861-878

- [7] Muhammad Iqbal (2015). Optimasi Lepas an Berdasarkan Tampung an Operasi Waduk Sutami untuk PLTA dengan ALGORITMA GENETIKA, Skripsi, Semarang: Program Sarjana Universitas Brawijaya.
- [8] Chow T. V., (1988): “Applied Hydrology”, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering.
- [9] Gen M., and Cheng R., (2000): “Genetic Algorithms and Engineering Optimization”, John Wiley and Sons, Inc, A Wiley-Interscience Publication.
- [10] Dr. Ir. Agung Bagiawan Ibrahim, M. (2004, Oktober 1). Diakses Januari 20,2016,dari id.scribd:  
<https://id.scribd.com/doc/97687284/pengoperasian-waduk-tunggal>