

SKRIPSI

**Studi Operasi Ekonomis Metode *Particle Swarm Optimization*
Pada Sistem IEEE**

Disusun dan diajukan oleh

MUH.ALGAZALI

D0411 71 512



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**Studi Operasi Ekonomis Metode *Particle Swarm Optimization* Pada Sistem
IEEE**

Disusun dan diajukan oleh:

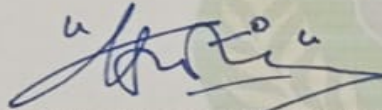
MUH ALGAZALI

D041171512

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi, Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 29 Juni 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

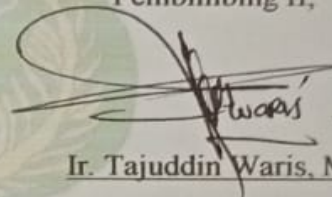
Pembimbing I,



Ir. M. Bachtiar Nappu, ST.MT., M.Phil., Ph.D

NIP. 197604062003121002

Pembimbing II,



Ir. Tajuddin Waris, MT

NIP. 196504241992031003

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr.Eng.Ir. Dewiani, MT.

NIP. 196910261994122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;


Nama : Muh Algazali
NIM : D041171512
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul “Studi Operasi Ekonomis Metode *Particle Swarm Optimization* Pada Sistem IEEE” Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Juni 2022

Yang Menyatakan Tanda tangan


METERAI
TEMPEL
CB5A2XG19811403
MUH ALGAZALI

ABSTRAK

Optimasi operasi ekonomis merupakan masalah yang banyak ditemukan dalam sistem operasi sistem tenaga listrik. Bertambahnya jumlah pemakai energi listrik membuat penyedia listrik untuk menambah jumlah daya listrik sehingga menyebabkan bertambahnya jumlah pemakaian bahan bakar. Meningkatnya pemakaian bahan bakar membutuhkan biaya yang semakin besar menyebabkan ilmuwan untuk meminimalisir biaya pembangkit dengan berbagai metode salah satunya menggunakan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*). Dalam tugas akhir ini, metode yang digunakan untuk optimasi adalah PSO dan sebagai bandingan digunakan metode GA (*Genetic Algorithm*). Kedua metode tersebut diaplikasikan ke sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 57 bus. Pada hasilnya optimasi metode PSO memberikan optimasi biaya operasi yang lebih murah daripada optimasi metode GA. Pada sistem IEEE 5 bus saat beban maksimum metode PSO menghasilkan biaya sistem 15518,1906 \$/MWh sedangkan metode GA adalah 15519,3568 \$/MWh. Pada sistem IEEE 26 bus pada optimasi beban maksimum menggunakan metode PSO menghasilkan biaya sistem 15503,9540 \$/MWh sedangkan metode GA adalah 15504,1890 \$/MWh. Pada sistem 57 bus pada optimasi beban maksimum metode PSO menghasilkan biaya sistem 74150,9366 \$/MWh sedangkan metode GA adalah 74278,6907 \$/MWh. Sebagai tambahan ketiga sistem tersebut ditambahkan PLTB untuk mengurangi pemakaian bahan fosil. pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 57 bus diintegrasikan dengan PLTB 9 MW, 21 MW, 49 MW, 76 MW, 101 MW, 124 MW, 184 MW, 246 MW, dan 362 MW, Pada hasilnya didapatkan optimasi dengan biaya operasi yang lebih murah dengan pemakaian PLTB.

Kata Kunci : Optimasi, *Particle Swarm Optimization*, *Genetic Algorithm*, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Operasi Ekonomis, Penjadwalan Ekonomis.

ABSTRACT

Optimization of economical operation is a problem in the operating system of electric power systems. The increasing number of users of electrical energy makes electricity providers to increase the amount of electrical power, causing an increase in the amount of fuel consumption. This problem can be solved by various methods by using PSO and GA. Both methods were applied to the IEEE 5 bus, 26 bus and 57 bus systems. The result, the PSO method provides the operating costs cheaper than the GA method. In the IEEE 5 bus system when the maximum load the PSO method produces a system cost of 15518.1906 \$/MWh while the GA method is 15519.3568 \$/MWh. In the IEEE 26 bus system at maximum load optimization using the PSO method results in a system cost of 15503.9540 \$/MWh while the GA method is 15504.1890 \$/MWh. On the 57 bus system at the maximum load optimization the PSO method produces a system cost of 74150.9366 \$/MWh while the GA method is 74278.6907 \$/MWh. In addition, the three systems are connected to Wind farm power plant to reduce the use of fossil fuels. In the IEEE system 5 buses, 26 buses, and 57 buses are connected to PLTB with the capacity of 9 MW, 21 MW, 49 MW, 76 MW, 101 MW, 124 MW, 184 MW, 246 MW, dan 362 MW. In the results obtained optimization with cheaper operating costs with PLTB.

Keywords: Optimization, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Wind Farm Power Plant, Economic Dispatch

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Salawat dan salam juga penulis kirimkan kepada nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat yang senantiasa berjuang disisi-Nya. Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program S1 Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan judul “Studi Operasi Ekonomis Metode *Particle Swarm Optimization* Pada Sistem IEEE”.

Penulis sangat menyadari bahwa terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan dari beberapa pihak sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Untuk itu, penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan sehingga tugas akhir dapat diselesaikan.
2. Bapak M Bachtiar Nappu, ST.MT.Ph.D dan Ir. Tajuddin Waris, MT selaku pembimbing I dan pembimbing II.
3. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kekurangan dan mengharapkan kritik dalam membangun dan menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN BERKAS	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2 Sistem Operasi Tengan Listrik	10
2.3 Penjadwalan Ekonomis	14
2.4 Pembangkit Tenaga Listrik	15
2.5 Aliran Daya Metode Newton Raphson	17
2.6 Karakteristik Unit pembangkit Thermal.....	19
2.7 Perhitungan <i>Economic Dispatch</i>	22
2.8 <i>Genetic Algorithm (GA)</i>	26
2.9 <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	30
BAB III	
METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Judul Penelitian	34

3.2 Lokasi Penelitian	34
3.3 Waktu Penelitian	34
3.4 Teknik Pengambilan Data	34
3.5 Alur Penelitian.....	36
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Simulasi Optimasi Penjadwalan Ekonomis.....	38
4.1.1 Simulasi Optimasi PSO.....	38
4.1.2 Simulasi Optimasi GA	38
4.2 Data Penelitian	39
4.2.1. Sistem IEEE 5 Bus.....	39
4.2.2 Sistem IEEE 26 Bus.....	43
4.2.3. Data Sistem IEEE 57 Bus	49
4.2.4 Spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	58
4.3. Tahapan dan Hasil Simulasi	61
4.3.1. Tahapan Simulasi.....	61
4.3.2. Hasil Simulasi	62
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN.....	129
5.1 Kesimpulan.....	129
5.2 Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN.....	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema sistem tenaga listrik	8
Gambar 2. 2 Hubungan kondisi dalam operasi tenaga listrik.....	12
Gambar 2. 3 Skema karakteristik input-output pembangkit listrik termal	20
Gambar 2. 4 Kurva karakteristik biaya input-output dan incremental heat	20
Gambar 2. 5 Kurva hubungan perubahan daya dan konsumsi bahan bakar.....	21
Gambar 2. 6 Contoh kurva incremental rate.....	22
Gambar 2. 7 Gambar gen, kromosom, dan populasi di GA	27
Gambar 2. 8 Gambar <i>crossover point</i> pada GA	28
Gambar 2. 9 Gambar pertukaran gen pada GA	28
Gambar 2. 10 Gambar sebelum dan sesudah mutasi	29
Gambar 2. 11 <i>Flowchart Genetic Algorithm</i>	30
Gambar 2. 12 Ilustrasi pencarian P_{best} dan G_{best}	31
Gambar 2. 12 <i>Flowchart Particle Swarm Optimization</i>	31
Gambar 3. 1 Alur penelitian	36
Gambar 4. 1 Kurva beban sistem IEEE 5 bus	41
Gambar 4. 2 Sistem IEEE 5 bus	41
Gambar 4. 3 Kurva beban sistem IEEE 26 bus	47
Gambar 4. 4 Sistem IEEE 26 bus	48
Gambar 4. 5 Kurva beban sistem IEEE 57 bus	55
Gambar 4. 6 Sistem IEEE 57 bus	56

Gambar 4. 7 Model <i>Vestas V112</i>	57
Gambar 4. 8 Grafik output PLTB	59
Gambar 4. 9 Karakteristik biaya pembangkit sistem IEEE 5 bus	61
Gambar 4. 10 Output generator metode GA.....	65
Gambar 4. 11 Output generator metode PSO	65
Gambar 4. 12 Total biaya jam 1-12.....	68
Gambar 4. 13 Total biaya jam 13-24.....	68
Gambar 4. 14 Rugi-rugi daya transmisi jam 1-12	69
Gambar 4. 15 Rugi-rugi daya transmisi jam 13-24	69
Gambar 4. 16 Hasil simulasi sistem IEEE 5 bus metode GA	70
Gambar 4. 17 Hasil simulasi sistem IEEE 5 bus metode PSO.....	70
Gambar 4. 18 Karakteristik biaya pembangkit sistem IEEE 26 bus	71
Gambar 4. 19 Output generator metode GA.....	75
Gambar 4. 20 Output generator metode PSO.....	75
Gambar 4. 21 Total biaya jam 1-12.....	78
Gambar 4. 22 Total biaya jam 13-24.....	79
Gambar 4. 23 Rugi-rugi daya transmisi jam 1-12	79
Gambar 4. 24 Rugi-rugi daya transmisi jam 13-24	80
Gambar 4. 25 Hasil simulasi sistem IEEE 26 bus metode GA	80
Gambar 4. 26 Hasil simulasi sistem IEEE 26 bus metode PSO.....	81
Gambar 4. 27 Karakteristik biaya pembangkitan sistem IEEE 57 bus.....	82
Gambar 4. 28 Output generator metode GA.....	85

Gambar 4. 29	Output generator metode PSO	85
Gambar 4. 30	Total biaya jam 1-12	88
Gambar 4. 31	Total biaya jam 13-24	88
Gambar 4. 32	Rugi-rugi daya transmisi jam 1-12	89
Gambar 4. 33	Rugi-rugi daya transmisi jam 13-24	89
Gambar 4. 34	Hasil simulasi sistem IEEE bus 57 metode GA	90
Gambar 4. 35	Hasil simulasi sistem IEEE Bus 57 metode PSO	90
Gambar 4. 36	Grafik total daya output PLTB	92
Gambar 4. 37	Karakteristik biaya pembangkit sistem IEEE 5 bus	93
Gambar 4. 38	Output generator dengan PLTB 9 MW	98
Gambar 4. 39	Output generator dengan PLTB 21 MW	98
Gambar 4. 40	Output generator dengan PLTB 49 MW	97
Gambar 4. 41	Grafik biaya selama 24 jam	100
Gambar 4. 42	Grafik total biaya sehari	100
Gambar 4. 43	Grafik total daya output PLTB	102
Gambar 4. 44	Karakteristik biaya pembangkit sistem IEEE 26 bus	103
Gambar 4. 45	Output generator dengan PLTB 76 MW	107
Gambar 4. 46	Output generator dengan PLTB 122 MW	107
Gambar 4. 47	Output generator dengan PLTB 246 MW	108
Gambar 4. 48	Grafik biaya selama 24 jam	110
Gambar 4. 49	Grafik total biaya sehari	110
Gambar 4. 50	Grafik total daya output PLTB	112

Gambar 4. 51 Karakteristik biaya pembangkitan sistem IEEE 57 bus.....	113
Gambar 4. 52 Output generator dengan PLTB 101 MW	117
Gambar 4. 53 Output generator dengan PLTB 184 MW	117
Gambar 4. 54 Output generator dengan PLTB 362 MW	118
Gambar 4. 55 Grafik biaya selama 24 jam	120
Gambar 4. 56 Grafik total biaya sehari	120
Gambar 4. 57 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 5 Bus 24 Jam	123
Gambar 4. 58 Efisiensi Total Biaya Sistem IEEE 5 Bus.....	123
Gambar 4. 59 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 26 Bus 24 Jam	125
Gambar 4. 60 Efisiensi Total Biaya Sistem IEEE 26 Bus.....	125
Gambar 4. 61 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 57 Bus 24 Jam	127
Gambar 4. 62 Efisiensi Total Biaya Sistem IEEE 57 Bus.....	127

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kapasitas Pembangkit Sistem IEEE 5 Bus	39
Tabel 4. 2 Data Bus Sistem IEEE 5 Bus	40
Tabel 4. 3 Data Saluran Transmisi Sistem IEEE 5 Bus	39
Tabel 4. 4 Data Permintaan Daya Beban Sistem IEEE 5 Bus.....	41
Tabel 4. 5 Kapasitas Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus	43
Tabel 4. 6 Data Bus Sistem IEEE 26 Bus	44
Tabel 4. 7 Data Saluran Transmisi Sistem IEEE 26 Bus	45
Tabel 4. 8 Data Permintaan Daya Beban Sistem IEEE 26 Bus.....	47
Tabel 4. 9 Kapasitas Pembangkit Data Sistem IEEE 57 Bus	50
Tabel 4. 10 Data Bus Data Sistem IEEE 57 Bus.....	49
Tabel 4. 11 Data Saluran Transmisi	51
Tabel 4. 12 Data Daya permintaan Beban Data Sistem IEEE 57 Bus	54
Tabel 4. 13 Data Output PLTB	58
Tabel 4. 14 Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 5 Bus.....	61
Tabel 4. 15 Daya Output Hasil Simulasi Sistem 5 Bus Metode GA.....	63
Tabel 4. 16 Daya Output Hasil Simulasi Sistem 5 Bus Metode PSO	64
Tabel 4. 17 Hasil Simulasi Metode GA dan PSO	66
Tabel 4. 18 Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 26 Bus.....	71
Tabel 4. 19 Daya Output Hasil Simulasi Sistem 26 Bus Metode GA.....	73
Tabel 4. 20 Daya Output Hasil Simulasi Sistem 26 Bus Metode PSO	74
Tabel 4. 21 Hasil Simulasi Metode GA dan PSO	76

Tabel 4. 22	Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 57 Bus	81
Tabel 4. 23	Daya Output Hasil Simulasi Sistem 57 Bus Metode GA.....	83
Tabel 4. 24	Daya Output Hasil Simulasi Sistem 57 Bus Metode PSO	84
Tabel 4. 25	Hasil Simulasi Metode GA dan PSO	86
Tabel 4. 26	Output daya PLTB 9 MW, 21 MW, dan 49 MW.....	91
Tabel 4. 27	Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 5 Bus	92
Tabel 4. 28	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 9 MW	94
Tabel 4. 29	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 21 MW	95
Tabel 4. 30	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 49 MW	96
Tabel 4. 31	Hasil Optimasi Sistem IEEE 5 Bus dengan Penambahan PLTB	99
Tabel 4. 32	Output Daya PLTB 76 MW, 123 MW, dan 246 MW	101
Tabel 4. 33	Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 26 Bus.....	102
Tabel 4. 34	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 76 MW	104
Tabel 4. 35	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 123 MW	105
Tabel 4. 36	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 246 MW	106
Tabel 4. 37	Hasil Optimasi Sistem IEEE 26 Bus dengan Penambahan PLTB ..	109
Tabel 4. 38	Output Daya PLTB 101 MW, 184 MW, dan 362 MW	111
Tabel 4. 39	Koefisien Biaya Pembangkit Sistem 57 Bus.....	112
Tabel 4. 40	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 101 MW	114
Tabel 4. 41	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 184 MW	115
Tabel 4. 42	Hasil Optimasi Output Generator dengan PLTB 362 MW	116
Tabel 4. 43	Hasil Optimasi Sistem IEEE 26 Bus dengan Penambahan PLTB ..	119

Tabel 4. 44 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 5 Bus	122
Tabel 4. 45 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 26 Bus	124
Tabel 4. 46 Efisiensi Optimasi Sistem IEEE 57 Bus	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan listrik telah menjadi kebutuhan yang penting bagi manusia. Penggunaan listrik setiap tahunnya akan semakin meningkat seiring dengan berkembangnya pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Dengan meningkatnya kebutuhan listrik tentu memberikan dampak yang begitu besar terhadap sistem tenaga listrik. Dimana sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen seperti pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang saling berhubungan dalam menyalurkan listrik kepada para beban atau pengguna listrik. Dalam sistem tenaga listrik, listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik berupa generator. Dikarenakan jarak antar pemabangkit yang saling berjauhan maka terbentuklah sistem transmisi yang saling menghubungkan antar pembangkit. Dan untuk menyalurkan listrik ke baban maka dibuatlah sistem distribusi.

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik yang memiliki sistem yang begitu luas dibutuhkan suatu koordinasi dalam penjadwalan pembangkitan daya yang besar oleh pembangkit tenaga listrik sehingga didapatkan pembebanan yang optimal dan ekonomis. Di Indonesia sendiri memiliki sistem tenaga listrik yang begitu besar yang saling terhubung dan menjadi suatu kesatuan atau interkoneksi. Dimana pembangkit yang banyak digunakan di Indonesia merupakan pembangkit hidro dan termal.

Tingginya penggunaan bahan bakar seperti batu bara, MFO, HSD, dan BBG dalam pembangkit tenaga termal menyebabkan pengoperasian sistem tenaga listrik memiliki biaya pengoperasian yang begitu mahal. Dimana biaya bahan bakar memakan hampir 60% biaya total pengoperasian sistem tenaga listrik sehingga pengoperasiannya dikatakan tidak ekonomis (Winasatria 2019). Maka dibutuhkan berbagai usaha dalam menekan jumlah biaya bahan bakar salah satunya dengan melakukan penjadwalan ekonomis. Penjadwalan ekonomis adalah pembagian pembebanan pada setiap unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang optimum yang artinya output power dari setiap pembangkit diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan biaya operasi yang minimum.

Energi terbarukan merupakan salah satu topik yang sedang hangat pada para peneliti di dunia dan mengalami pengembangan yang pesat. Dikarenakan penggunaannya yang bersih dari pencemaran lingkungan maupun karena bahan bakar fosil yang semakin menipis. Dalam sisi pembangkit tenaga listrik penggunaannya memberikan berbagai manfaat seperti biaya pengoperasian yang semakin ekonomis dan adanya imbauan dari pemerintah untuk memanfaatkan energi terbarukan dalam rangka mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Berbagai bentuk energi terbarukan telah dikembangkan salah satunya adalah PLTB. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak sehingga memiliki kecepatan, arah, dan tenaga. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari.

Economic Dispatch atau penjadwalan ekonomis adalah pembagian pembebanan pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal dan ekonomis pada harga beban tertentu. Dengan penerapan *Economic Dispatch* maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik. Dalam penelitian ini metode *Economic Dispatch* yang digunakan yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA) sebagai perbandingan dalam menyelesaikan masalah optimasi sistem IEEE 5 bus, 26 bus dan 57 bus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana optimasi penjadwalan ekonomis pembangkit pada sistem IEEE 5 bus, 26 bus, dan 57 bus dengan menggunakan metode optimasi GA dan PSO ?
2. Bagaimana besar rugi-rugi yang dihasilkan dari optimasi sistem IEEE ?
3. Berapa besar efisiensi yang diberikan dari segi ekonomis setelah difungsikannya PLTB ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui optimasi penjadwalan ekonomis dengan metode GA dan PSO dan membandingkannya.
2. Menganalisis dan membandingkan rugi-rugi transmisi dari hasil optimasi sistem IEEE.

3. Menganalisis dan membandingkan efisiensi yang lebih baik setelah difungsikannya PLTB.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi bagaimana optimasi penjadwalan ekonomis serta efisiensi yang didapatkan dari metode optimasi GA dan PSO.
2. Memberikan informasi tentang dampak PLTB terhadap optimasi penjadwalan ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

1. Sistem berjalan dalam keadaan normal.
2. Simulasi sistem dilakukan menggunakan software MATLAB.
3. Metode penjadwalan ekonomis yang digunakan yaitu PSO (*Particle Swarm Optimization*) dan GA (*Genetic Algorithm*).
4. Penjadwalan tanpa memperhatikan biaya investasi dan biaya lingkungan.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang di lakukan pada tugas akhir ini adalah :

1. *Study literature*

Studi literature dilakukan dengan cara mengadakan studi dari buku, jurnal, internet dan informasi lain yang dapat menunjang penelitian ini.

2. Pengambilan data

Dilakukan pengambilan data dimana data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data yang diperoleh dari jurnal IEEE.

3. Pengelompokan data

Metode ini bertujuan untuk:

- a. Pengumpulan dan mengelompokkan data berdasarkan tipe dan ketentuan-ketentuan yang sejenis sehingga lebih mudah untuk dilakukan analisis.
- b. Mengetahui kekurangan data sehingga kerja menjadi efektif dan efisien.

4. Pengolahan data.

Pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan menerapkan dan melakukan simulasi pada software serta melakukan beberapa perhitungan dan penggambaran.

5. Analisa hasil pengolahan dan perbandingan data.

Bertujuan untuk memperoleh simulasi sementara, dan selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap data sebelumnya sehingga menarik kesimpulan untuk diolah lebih lanjut.

6. Kesimpulan

Diperoleh setelah dilakukan kolerasi antara hasil penelitian dan masalah yang diteliti, simpulan merupakan hasil akhir dari penelitian ini.

I.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode penelitian yang di gunakan dalam tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan analisis yang memberikan jawaban dari penelitian

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian yang akan datang.

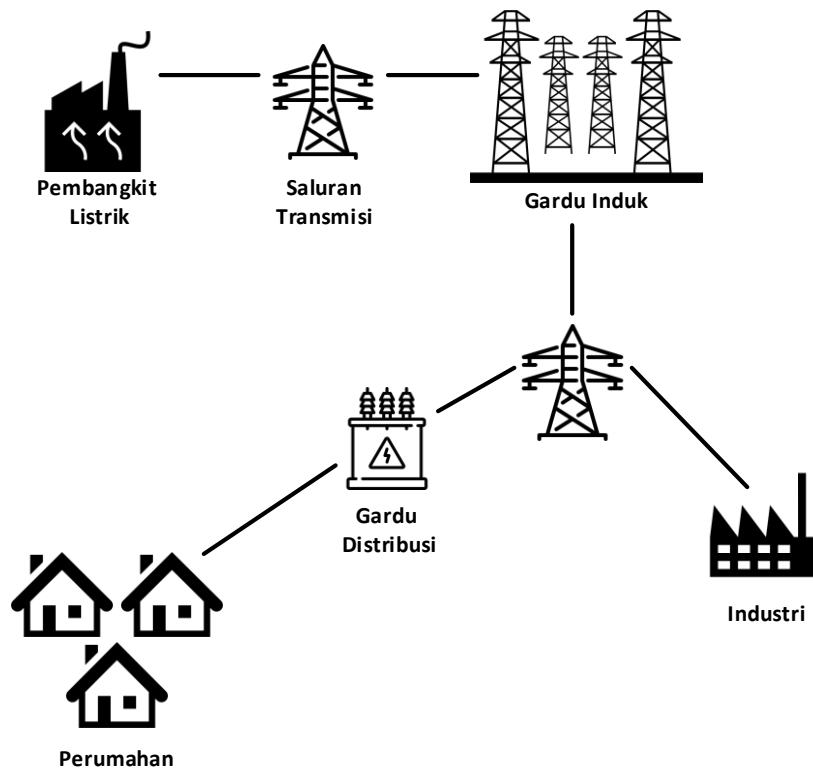
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Perkembangan sistem arus bolak-balik dimulai pertama kali di Amerika Serikat dengan sistem bolak-balik yang berfungsi sebagai penerangan di kota. Sistem tersebut dibangkitkan oleh sumber daya air. Saluran transmisi tersebut memiliki fasa tunggal dan hanya dimanfaatkan untuk penerangan kota. Nikola Tesla mengembangkan motor yang sebelumnya arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Alasan mengapa arus bolak-balik cepat diterima dikarenakan mudah dalam menyalurkan daya listrik dari pembangkit ke pengguna listrik, yang memungkinkan penyaluran tenaga listrik pada suatu tegangan yang lebih tinggi dari tegangan pembangkit ke tegangan rendah dari pengguna listrik. (Mismail 1997)

Sistem tenaga listrik terdiri seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 dari sistem generator, sistem transmisi, sistem sub-transmisi, dan sistem distribusi, dengan kata lain generator dan transmisi direferensikan sebagai *bulk power supply*. dan subtransmisi dan distribusi sebagai tahap final dalam mentransfer listrik dalam memenuhi kebutuhan listrik konsumen (Gonen 1988). Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Skema sistem tenaga listrik

Secara garis besar sistem tenaga listrik terbagi menjadi sebagai berikut :

1. Pembangkit listrik, merupakan sekumpulan peralatan dan mesin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui proses transformasi energi dari berbagai sumber energi. Tegangan penyaluran yang digunakan berkisar 11 s/d 24 kV dengan alasan agar arus yang mengalir tidak terlalu besar disebabkan karena kapasitas daya yang terlalu besar dan arus yang berbanding terbalik dengan tegangan. Pada pembangkit level tegangan biasanya tidak terlalu tinggi disebabkan karena menggunakan banyak penggunaan lilitan sehingga generator menjadi lebih besar dan tidak efisien. Di Indonesia sendiri pembangkit terdapat berbagai macam pembangkit seperti PLTA, PLTB, PLTU, PLTG, dan lain-lain.

2. Transmisi, merupakan komponen yang berfungsi untuk menyalurkan listrik atau daya dari pembangkit listrik ke pusat beban. Pada sistem saluran transmisi pada umumnya berada pada level tegangan yang tinggi. Penggunaan tegangan tinggi disebabkan karena tujuan utama saluran transmisi yaitu untuk menyalurkan daya yang lebih efisien dan rugi-rugi daya yang kecil dalam menyalurkan daya suatu tempat yang begitu jauh ke tempat lain. Tegangan transmisi memiliki tegangan yang lebih besar dari pada pembangkit. Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar 70 s/d 500 kV.
2. Saluran distribusi, merupakan komponen yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari transmisi ke konsumen. Jaringan distribusi menggunakan tegangan yang lebih rendah daripada saluran transmisi. Dikarenakan daya yang didistribusikan jaringan distribusi lebih kecil dari pada saluran transmisi dan untuk menyesuaikan tegangan yang digunakan oleh konsumen energi listrik. Tegangan distribusi dibagi menjadi dua macam yaitu 20 kV untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan 220 V untuk jaringan tegangan rendah (JTR). sehingga dibutuhkan gardu distribusi yang berisi trafo penurun tegangan dari 20 kV ke 220 V sesuai tegangan konsumen.
3. Beban, merupakan konsumen pemakai energi listrik. Pada umumnya level tegangan pada konsumen menyesuaikan dengan peralatan listrik yang digunakan. Pada sektor industri umumnya menggunakan tegangan 20 kV

sedangkan pada sektor rumah tangga menggunakan tegangan 220 V.
(Suripto 2014)

2.2 Sistem Operasi Tenaga Listrik

Sistem Operasi terdapat berbagai hal yang harus diketahui yaitu sebagai berikut :

1. Tujuan Sistem Operasi Tenaga Listrik

Dalam menjalankan fungsi-fungsi sistem ketenagalistrikan dari mulai pembangkit sampai ke konsumen dibutuhkan berbagai kriteria yaitu:

- a. Ekonomi (*economy*), dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus bersifat ekonomis
- b. Keandalan (*security*), merupakan tingkat keamanan sistem ketika terjadi gangguan, sedapat mungkin sistem dapat diandalkan ketika terjadi gangguan ataupun pemadaman.
- c. Kualitas (*quality*), merupakan tegangan listrik yang diukur dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditentukan.

Ketiga unsur ini harus terdapat dalam sistem tenaga listrik. Dalam menjalankan sistem operasi tenaga listrik, urutan tiga unsur di atas memiliki prioritas tergantung pada *real time* saat menjalankan operasi sistem tenaga listrik. Misalnya jika terjadi gangguan pada sistem listrik maka yang paling utama adalah unsur keamanan yang menjadi prioritas dari dua unsur lainnya.

Sama halnya ketika keamanan dan mutu sudah bagus maka ekonomi menjadi prioritas utama.

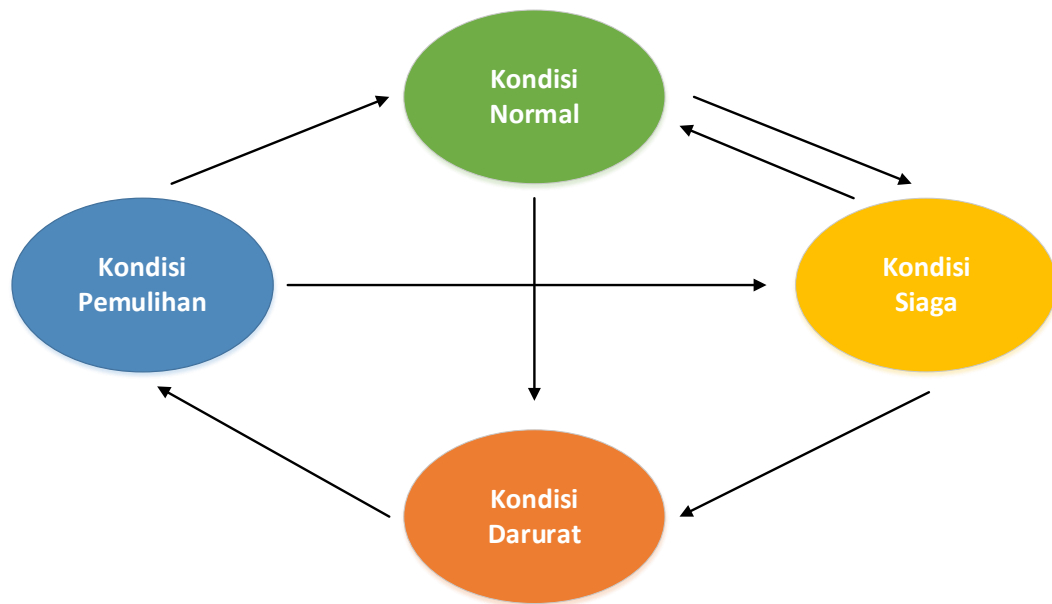
Efisiensi dari tenaga listrik juga diukur dari tingkat biaya yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Untuk mempermudah optimasi biaya produksi tenaga listrik biasanya menggunakan sistem *Merit Order*. *Merit order* adalah suatu metode dimana biaya pembangkitan yang lebih murah akan diprioritaskan dibandingkan dengan yang lebih mahal sampai beban tenaga listrik tercukupi.

2. Kondisi Sistem Operasi Tenaga Listrik

Dalam sistem operasi tenaga listrik terdapat beberapa kondisi saat menjalankan sistem tenaga listrik yaitu:

- a. Normal, seluruh konsumen dapat dilayani, kendala operasi teratasi dan keamanan sistem terpenuhi.
- b. Siaga, seluruh konsumen dapat dilayani, kendala operasi terpenuhi namun keamanan sistem tidak dapat dipenuhi.
- c. Darurat, konsumen tidak dapat dilayani, kendala operasi tidak terpenuhi.
- d. Pemulihan, peralihan kondisi darurat yang dapat diukur dengan menjaga kualitas tegangan dan frekuensi pada kisaran yang ditetapkan.

Untuk melihat hubungan kondisi diatas dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Hubungan kondisi dalam operasi tenaga listrik

3. Persoalan sistem tenaga listrik

Dalam menjalankan sistem tenaga listrik pasti ditemukan berbagai persoalan. Hal ini terjadi akibat pemakaian listrik yang berubah-ubah dari waktu ke waktu, sehingga terjadi perubahan pada jumlah konsumsi BBM dan kondisi alam dan lingkungan.

Persoalan-persoalan tersebut antara lain adalah :

- a. Pengaturan frekuensi, kebutuhan konsumen akan listrik berubah-ubah dari waktu ke waktu. Daya yang dibangkitkan sistem harus selalu sama dengan beban sehingga untuk mengamati hal tersebut melalui frekuensi sistem. Apabila daya yang dibangkitkan lebih kecil dari beban sistem maka frekuensi akan turun. Sebaliknya bila

daya yang dibangkitkan lebih besar dari sistem maka frekuensi akan naik.

- b. Pemeliharaan peralatan, pemeliharaan pada peralatan dilakukan secara priodi dan teratur, dan juga ketika terjadi kerusakan pada alat harus segera diperbaiki.
- c. Biaya operasi, biaya operasi khususnya bahan bakar yang merupakan biaya terbesar dalam menjalankan operasi sistem tenaga listrik diperlukan teknik optimasi untuk menekan biaya ini.
- d. Perkembangan sistem, perkembangan sistem harus mengikuti perkembangan yang ada pada masyarakat dikarenakan beban selalu berubah dari waktu ke waktu sehingga harus terus diamati.
- e. Tegangan dalam sistem, merupakan salah satu unsur kualitas dalam tenaga listrik , oleh karena itu harus terus diperhatikan.

4. Manajemen Operasi Tenaga Listrik

Manajemen operasi memiliki peranan yang penting dalam hal mengatur biaya oprasi. Maka dari itu menjalankan operasi tenaga listrik diperlukan hal sebagai berikut:

- a. Perencanaan operasi, yaitu bagaimana sistem operasi dilakukan dalam waktu kedepan. Hal ini mencakup prakiraan beban, koordinasi pemeliharaan, optimasi, keandalan serta mutu tenaga listrik.
- b. Pelaksanaan dan pengendalian operasi, yaitu apabila terjadi penyimpangan dari perencanaan operasi.

- c. Analisis operasi, yaitu umpan balik dari perencanaan operasi maupun pelaksanaan dan pengendalian operasi. Dan juga diperlukan untuk memberikan saran bagi pengembangan sistem serta penyempurnaan pemeliharaan instalasi. (Wikarsa 2010)

2.3 Penjadwalan Ekonomis

Penjadwalan ekonomis atau *economic dispatch* adalah upaya untuk meminimalkan biaya bahan bakar pembangkit. Tujuan dari penjadwalan ekonomis ini adalah untuk menentukan daya output yang minimal dari setiap unit pembangkit dengan meminimalkan total biaya bahan bakar pembangkit, dan tentunya juga dapat memenuhi kebutuhan konsumen pengguna listrik. Pengoptimalan masalah ekonomi dispatch sangat penting untuk melakukan perkiraan jangka panjang sistem tenaga listrik, penentuan porsi biaya, dan pemodelan manajemen operasi tenaga listrik pada pembangkit.

Dalam proses pembangkitan tenaga listrik terdapat tiga komponen biaya utama yaitu, biaya pembangunan, biaya kepemilikan, dan biaya operasional. Biaya operasional merupakan biaya yang berkaitan langsung dengan keuntungan biaya jalannya produksi, dikarenakan berkaitan langsung dengan manajemen pembangkitan daya listrik.

Dalam biaya operasional salah satu bagian yang penting adalah biaya bahan bakar (*fuel cost*), dimana pada setiap unit pembangkitan memiliki nilai yang berbeda tergantung jenis dari bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit listrik. (Rizkyanto 2015).

2.4 Pembangkit Tenaga Listrik

Pada umumnya pembangkit listrik adalah suatu alat industri yang digunakan untuk membangkitkan dan memproduksi tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Sumber tenaga berasal dari alam seperti energi matahari, angin, biomassa, fosil, dan lain-lain.

Pada prinsipnya energi alam kebanyakan diubah menjadi energi kinetik yang memutar penggerak mula dan dihubungkan oleh generator. Jenis generator yang dipakai yaitu generator sinkron, yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan induksi medan magnet. Perubahan energi yang terjadi dikarenakan adanya perubahan medan magnet pada jangkar (tempat bangkitnya tegangan pada generator). Generator sinkron memiliki jumlah putaran rotor yang sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotor dan medan jangkar terletak pada stator.

Terdapat beberapa jenis pembangkit listrik diantaranya:

a. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)

PLTA merupakan pembangkit listrik yang merubah energi potensial menjadi energi listrik. Pembangkit ini dilakukan dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang. PLTA bekerja dengan merubah energi potensial (dam atau air terjun) sehingga menjadi energi mekanik dan menjadi energi listrik. PLTA dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan sebelumnya jika mempunyai sumber air yang memenuhi

potensi PLTA tersebut. Pada umumnya PLTA mempunyai prinsip kerja dengan mengelola energi potensial menjadi energi kinetis dengan adanya *haed*, lalu energi kinetis ini diubah menjadi energi mekanis dengan adanya aliran air yang menggerakkan turbin. Lalu energi mekanis diubah menjadi energi listrik dengan melalui perputaran rotor pada generator. Jumlah energi listrik yang dapat dibangkitkan tergantung pada seberapa tinggi *head* dan seberapa besar debit air yang mengalir.

b. PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)

PLTU adalah pembangkit yang menggunakan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Dalam prinsipnya air dimasukkan melalui pipa di dalam boiler lalu dipanaskan oleh hasil pembakaran bahan bakar. Kedua uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu digunakan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Generator terkopel dengan turbin sehingga energi mekanis dapat diubah menjadi energi listrik. (Nurhening Nuriyanti, Eko Prianto 2008)

c. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

PLTS merupakan pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (fotovoltaik) yang mengkonversi radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan bagian-bagian

tipis dari bahan semikonduktor silikon (SI) murni dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS menggunakan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC yang akan diubah menjadi AC untuk keperluan konsumen jika dibutuhkan. (Yuni Rahmawati, Sujito 2019)

d. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)

PLTB merupakan pembangkit listrik dengan prinsip mengonversi tenaga gerak angin menjadi tenaga putar oleh turbin. Lalu tenaga putar turbin tersebut dijadikan sebagai penggerak pada generator. Dan dari generator energi gerak diubah menjadi energi listrik. Dalam praktiknya perancangan PLTB harus dilakukan dengan cermat disesuaikan dengan kondisi tempat didirikannya PLTB agar diperoleh hasil maksimal dalam hal efisiensi. Energi angin atau bayu dihasilkan dari pancaran sinar radiasi matahari yang melewati permukaan bumi sehingga permukaan bumi terjadi perbedaan temperatur dan rapat massa udara yang mengakibatkan terjadi perbedaan tekanan udara dan terjadi aliran udara. Angin yang berhembus tersebut digunakan untuk menghasilkan gerakan pada turbin sehingga PLTB dapat membangkitkan tenaga listrik. (Mubarak 2018)

2.5 Aliran Daya Metode Newton Raphson

Dasar dari Metode Newton-Raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah Deret Taylor yang merupakan suatu fungsi dengan dua variabel lebih. Metode Newton Raphson menggunakan persamaan non-linear untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tiap bus.

Daya injeksi dalam bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i \times \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.1)$$

Dimana :

P_i = Daya Aktif ke-i

Q_i = Daya reaktif ke-i

V_i = Tegangan ke-i

Y_{ij} = Admintansi

Dalam hal ini dilakukan pemisahan daya nyata dan daya reaktif pada bus i sehingga menghasilkan persamaan simultan nonlinear. Dalam koordinat kutub diketahui :

$$|V_i| \angle \delta_i = |V_i| e^{j\delta_i} \quad (2.2)$$

$$|V_j| \angle \delta_j = |V_j| e^{j\delta_j} \quad (2.3)$$

$$|V_{ij}| \angle \delta_{ij} = |V_{ij}| e^{j\delta_{ij}} \quad (2.4)$$

Karena $e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})} = \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) + j \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$ maka pemisahan daya pada bus i menjadi komponen real dan imajiner adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle \theta_{ij} + \delta_j = |V_i| e^{-j\delta_i} \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle (e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})}) \quad (2.5)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.6)$$

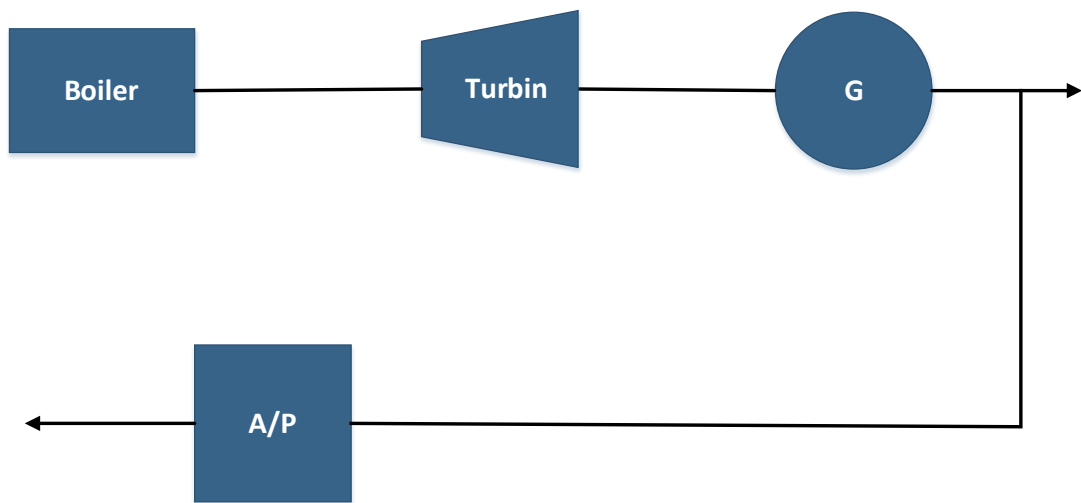
$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.7)$$

Nilai daya aktif (P_i) dan daya reaktif (Q_i) telah diketahui tetapi nilai tegangan (V_i) dan sudut $(\delta)_i$ tidak diketahui kecuali pada slack bus. Kedua persamaan tersebut

dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan simultan linear dengan cara menyatakan hubungan perubahan antara perubahan daya nyata ΔP_i daya reaktif ΔQ_i terhadap perubahan magnitude tegangan ΔV_i dan sudut fasa tegangan $\Delta \delta_i$. (Miftahul Fikri, Dwi Anggainsi, 2018).

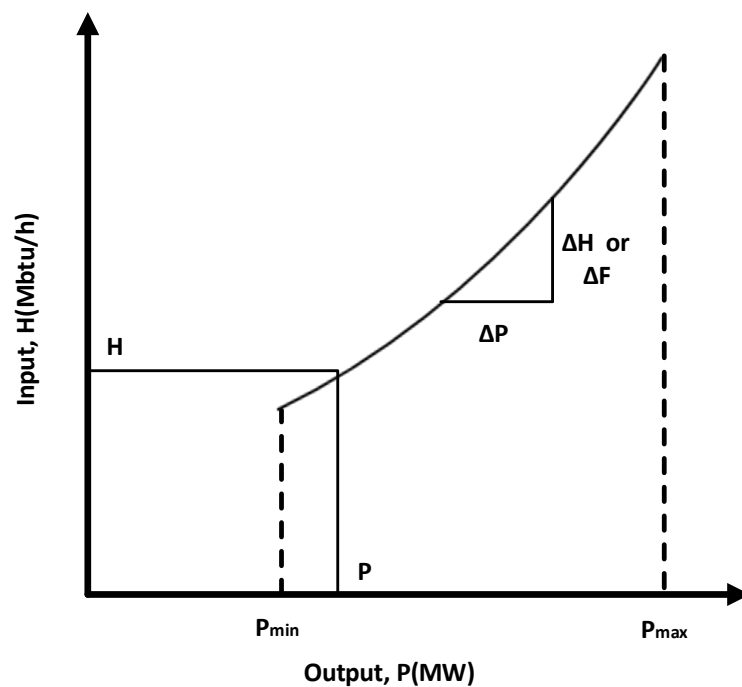
2.6 Karakteristik Unit pembangkit Thermal

PLTU termal terdiri dari boiler, turbin uap, dan generator. *input* dan *ouput* pada pembangkit thermal merupakan dasar penyusunan fungsi biaya. *Input* boiler adalah bahan bakar dan *ouput* berupa uap. *Input* turbin berupa uap dan menghasilkan *output* berupa energi mekanik. *Input* generator berupa energi mekanik dan *output* berupa daya listrik. Dengan menggabungkan karakteristik tersebut maka dapat diperoleh persamaan karakteristik dari keseluruhan sistem pembangkit seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



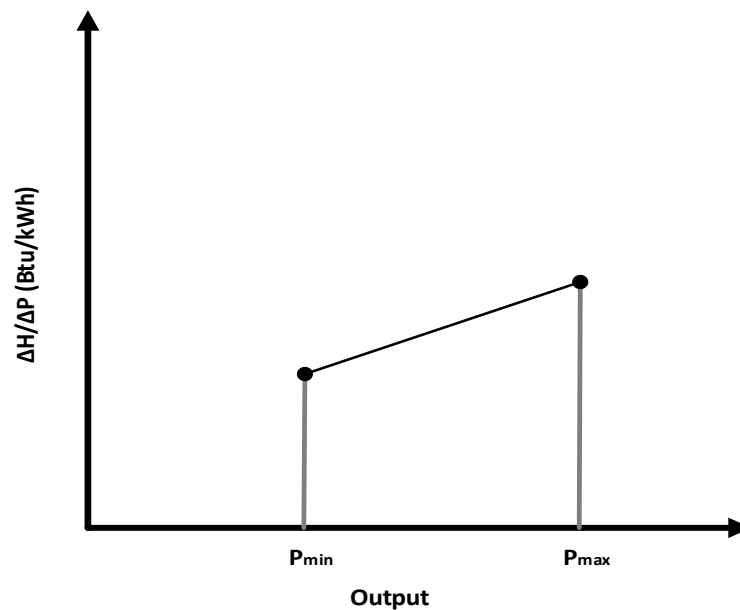
Gambar 2. 3 Skema karakteristik input-output pembangkit listrik termal

Setiap pembangkit memiliki karakteristik biaya sesuai dengan *input-output* dan karakteristik *incremental rate* (baik *incremental heat* maupun *incremental cost*).



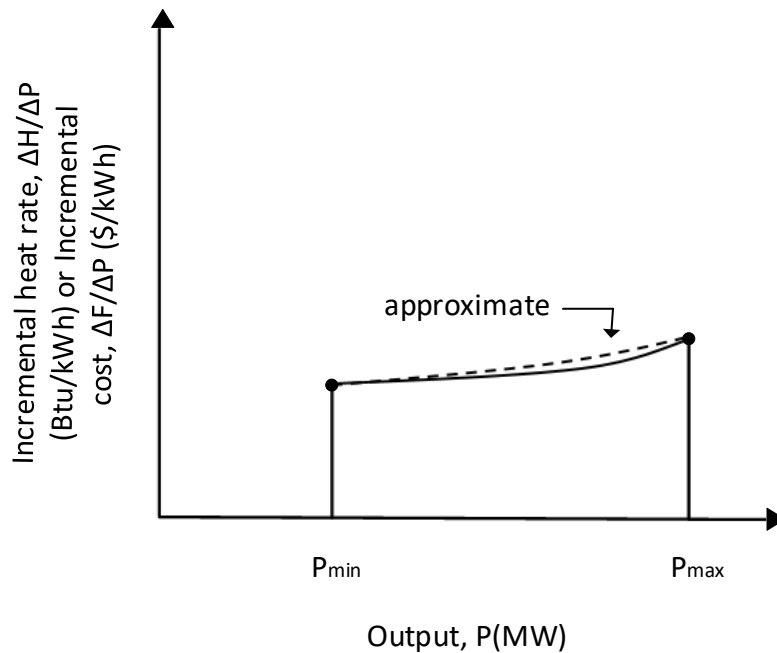
Gambar 2. 4 Kurva karakteristik biaya *input-output* dan *incremental heat*

Pada Gambar 2.4 menunjukkan karakteristik *input-output* suatu pembangkit. *Input* tersebut berupa bahan bakar dalam bentuk kebutuhan energi panas dengan simbol H (Mbtu/h) atau biaya total perjam dengan simbol F (\$/h), sedangkan *output* berupa daya listrik dengan simbol P (MW) yang dihasilkan oleh pembangkit.



Gambar 2. 5 Kurva hubungan perubahan daya dan konsumsi bahan bakar

Pada Gambar 2.5 dan 2.6 menunjukkan karakteristik kenaikan panas dari unit pembangkit dimana ditampilkan kemiringan *input-output*. Karakteristik *incremental rate* merupakan hubungan antara perubahan daya pembangkitan yang dihasilkan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan. *Incremental rate* menunjukkan seberapa besar biaya/panas yang harus ditambahkan saat akan meningkatkan *output* suatu unit pembangkit. *Incremental rate* juga bisa dinyatakan dengan simbol $\Delta H/\Delta P$ atau bisa juga disebut *incremental heat rate* dengan satuan Btu/kWh. Contoh kurva *incremental rate* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Contoh kurva *incremental rate*

Bentuk pemodelan yang digunakan dalam memodelkan karakteristik pembangkit ada dua yaitu, polinomial dan *piecewise incremental heat*. Fungsi polinomial adalah pendekatan dari kurva *input-output* dengan fungsi polinomial. Fungsi polinomial biasa digunakan dalam kurva polinomial orde dua, namun tidak menutup kemungkinan ada lebih dari dua orde. (Azfar Muhammad 2016)

2.7 Perhitungan *Economic Dispatch*

Permasalahan pengaturan pembangkit dan rumus pembangkitan merupakan salah satu masalah yang rumit. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya salah satu bagian yang penting dari biaya operasional adalah biaya bahan bakar (*fuel cost*). Setiap pembangkit memiliki nilai *fuel cost* yang berbeda-beda (Azfar Muhammad 2016). Secara umum nilai *fuel cost* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$fuel\ cost = \frac{R}{Mbtu} \quad (2.7)$$

Fuel cost merupakan harga persatuan panas dari bahan bakar, atau sebagai konversi satuan panas ke satuan mata uang. Pengaruh nilai fungsi biaya dapat dilihat dalam persamaan objektif berikut.

$$H(P_i) = \gamma_i P_i^2 + \beta_i P_i + \alpha_i \quad (2.8)$$

$$F_i(P_i) = H(P_i) \times fuelcost\ i \quad (2.9)$$

$$F_{total} = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (2.10)$$

Dimana :

n : Jumlah generator

$\gamma_i, \beta_i, \alpha_i$: Koefisien biaya pembangkitan

P_i : Output generator (MW)

F_i : Biaya pembangkitan pada pembangkit

F_{total} : Biaya total pembangkitan

Adapaun batasan yang disebut *equality constraint* dan *inequality constraint*.

Equality constraint yaitu batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam suatu sistem dimana jumlah daya pembangkitan (P_i) sama dengan jumlah daya beban (P_D) ditambah dengan rugi-rugi atau *losses* (P_L). Seperti pada persamaan berikut :

$$\sum_{i=1}^{ng} P_i = P_D + P_L \quad (2.11)$$

Sedangkan *inequality constraint* merupakan persamaan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit. Dimana dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_{i_{min}} \leq P_i \leq P_{i_{max}} \quad (2.12)$$

Dimana :

$P_{i_{min}}$ = nilai minimum kapasitas pembangkit ke-i

$P_{i_{max}}$ = nilai maksimum kapasitas pembangkit ke-i

Adapun untuk persamaan objektif dimana terdapat pembangkit *renewble energy* adalah sebagai berikut:

$$F_{total} = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) + \sum_{j=1}^n F_{Bj}(P_{Bj}) \quad (2.13)$$

$$\sum_{j=1}^n F_{Bj} = \sum_{j=1}^n C_{bj}(P_{bj}) + \sum_{j=1}^n C_{p.bj}(P_{bj.av} - P_{bj}) + \sum_j^n C_{r.bj}(P_{bj} - P_{bj.av}) \quad (2.14)$$

Dimana :

$$C_{bj}(P_{bj}) = H_{bj}P_{bj} \quad (2.15)$$

$$C_{p.bj}(P_{bj.av} - P_{bj}) = k_{p.bj}(P_{bj.av} - P_{bj}) \quad (2.16)$$

$$C_{r.bj}(P_{bj} - P_{bj.av}) = k_{r.bj}(P_{bj} - P_{bj.av}) \quad (2.17)$$

Dimana :

H_{bj} = koefisien *direct cost* dari PLTB

C_{bj} = nilai *cost* utama dari PLTB

P_{bj} = Daya yang dihasilkan oleh PLTB

$C_{p.bj}$ = nilai *cost* penalti ketika daya PLTB lebih kecil dari perkiraan

$C_{r.bj}$ = nilai *cost* ketika daya PLTB lebih besar dari perkiraan

$(P_{bj.av} - P_{bj})$ = Daya ketika daya PLTB lebih kecil dari perkiraan

$(P_{bj} - P_{bj.av})$ = Daya ketika daya PLTB lebih besar dari perkiraan

$k_{p.bj}$ dan $k_{r.bj}$ = koefisien ketika daya PLTB lebih kecil dari perkiraan atau ketika daya PLTB lebih besar dari perkiraan

Dan untuk *equality constraint* menjadi

$$\sum_{i=1}^{ng} P_i = P_D + P_L - \sum_{j=1}^{ng} P_{bj} \quad (2.18)$$

Namun pada skripsi ini nilai $C_{p.bj}$, $C_{r.bj}$, dan *losses* dari PLTB tidak diperhatikan serta nilai *direct cost* koefisien adalah 1\$.

Untuk daya *losses* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{gi} [B]_{ij} P_{gj} + \sum_{i=1}^n B_{i0} P_{gi} + B_{00} \quad (2.19)$$

Dimana :

P = Daya yang dibangkitkan

$[B]_{ij}$ = Matrix persegi dengan baris i dan kolom j

B_{i0} = Vektor dengan panjang i

B_{00} = Koefisien konstan

Sehingga jika dipresentasikan ke dalam optimasi akan menjadi :

$$\sum_i^n \sum_j^n P_i B_{ij} P_j + \sum_i^n B_{i0} P_i + B_{00} \quad (2.20)$$

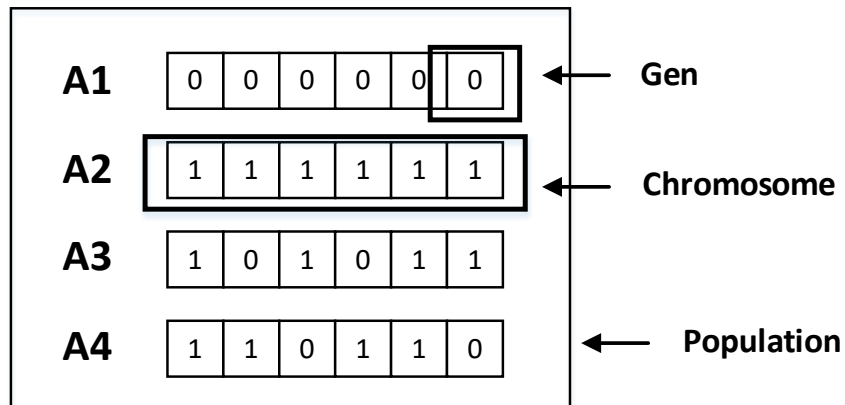
2.8 Genetic Algorithm (GA)

GA adalah metode pencarian yang berdasarkan pada mekanisme sistem natural yakni genetika dan seleksi. Dalam aplikasi algoritma genetika, variabel solusi dikodekan dalam struktur string yang merepresentasikan barisan gen, yang merupakan karakteristik dari solusi problem.

Tujuan dari GA adalah mencari *fitness value* dari individu disuatu populasi. Proses keseluruhan merupakan proses iterasi dari generasi ke generasi. Dimana setiap generasi menghasilkan keturunan atau *off spring*, dimana setiap individu yang baik dibandingkan dengan orang tua atau *parent*. Dan keturunan individu yang terbaik akan menjadi parent pada generasi berikutnya. Ada langkah-langkah untuk mendapatkan *fitness value* adalah sebagai berikut.

1. Inisialisasi populasi

Proses dimulai dengan menginisialisasi beberapa individu atau disebut juga dengan populasi. Setiap individu adalah suatu solusi atau *fitness value* yang ingin dicari. Setiap individu merupakan sekumpulan dari gen atau disebut juga dengan kromosom. Di GA sekumpulan gen direpresentasikan dengan kode biner seperti yang terlihat pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Gambar gen, kromosom, dan populasi di GA

2. *Fitness function*

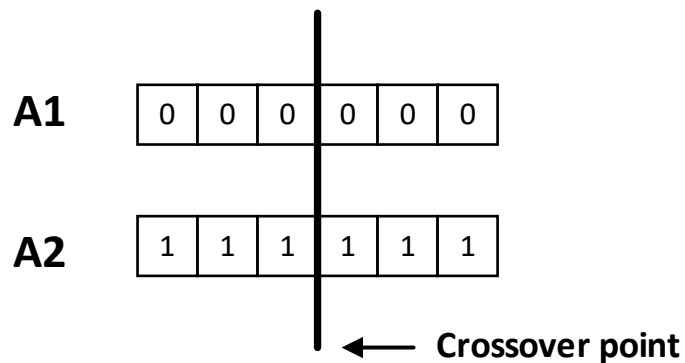
Pada fase ini individu menentukan seberapa fit nilai dari suatu individu. Fungsi ini menghasilkan *score* dan *fitness value* yang dicari setiap individu dan mencari individu dengan nilai *fitness* yang paling tinggi.

3. *Selection*

Pada fase ini individu memiliki nilai paling fit dan dibiarkan untuk menjadi *parent* pada generasi berikutnya.

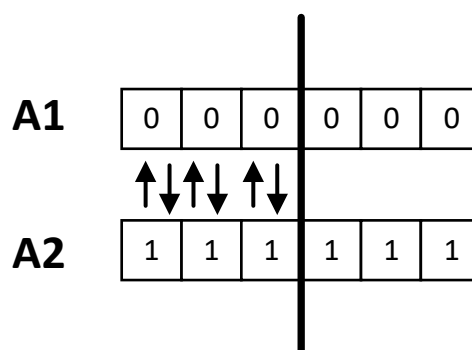
4. *Cross over*

Fase ini merupakan fase paling signifikan di GA. Setiap pasangan individu dijadikan *parent* kemudian disilangkan untuk membentuk individu baru. Teknik persilangan digunakan dengan menentukan *crossover point* secara random didalam kromosom seperti pada Gambar 2. 8.



Gambar 2. 8 Gambar *crossover point* pada GA

Keturunan akan terlahir dengan menukar gen diantara *parent* sampai titik *crossover point* seperti pada Gambar 2. 9.



Gambar 2. 9 Gambar pertukarangen pada GA

Terdapat berbagai macam bentuk pertukaran gen atau *crossover* seperti pertukaran gen secara langsung dan pertukaran gen secara aritmatika.

5. Mutasi

Setelah keturunan baru dibuat, beberapa gen pada setiap individu dilakukan mutasi dengan probabilitas tertentu, biasanya dengan probabilitas yang rendah. Mutasi dilakukan untuk mengendalikan keberagaman dan mencegah konvergen

yang terlalu dini. Untuk melihat perbedaan sebelum mutasi dan setelah mutasi dapat dilihat pada Gambar 2. 10.

Sebelum mutasi

A5	1	1	1	0	0	0
-----------	---	---	---	---	---	---

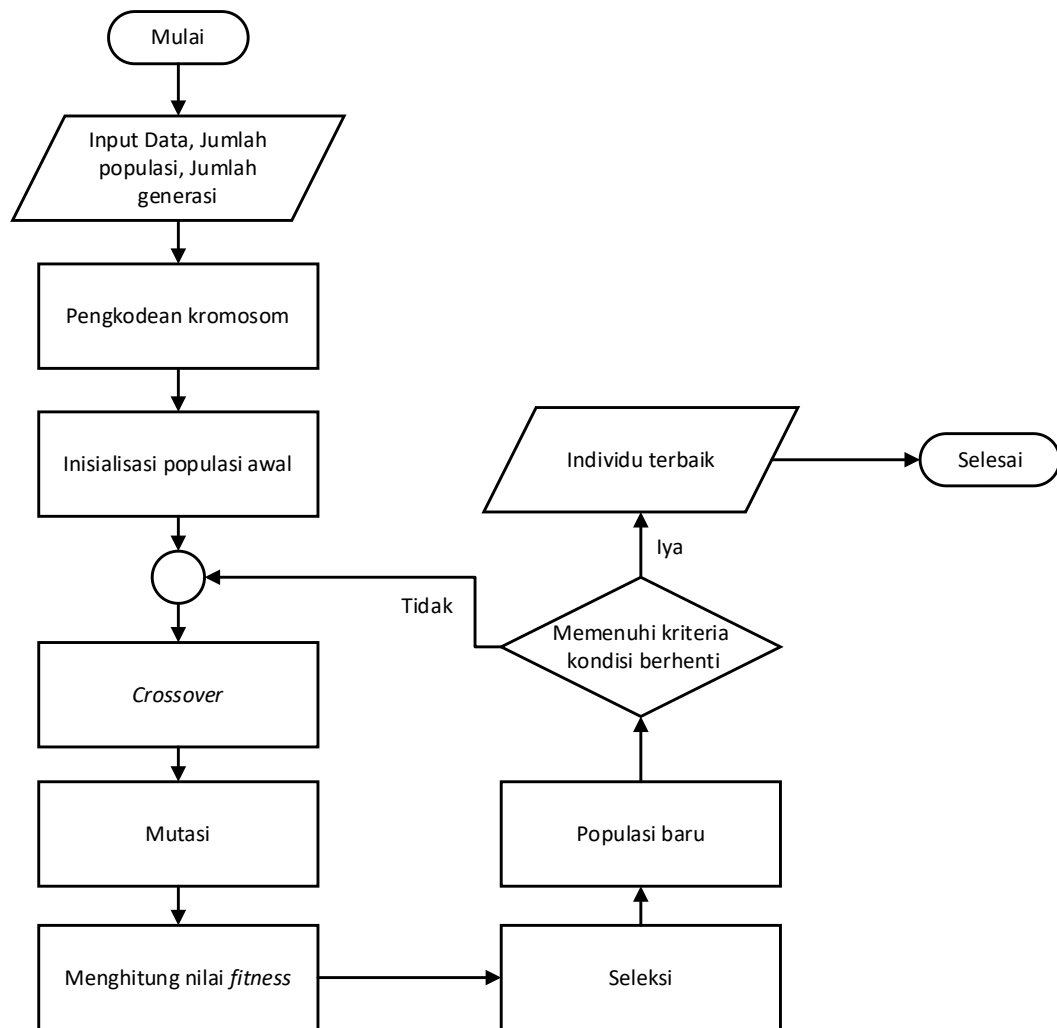
Setelah mutasi

A5	1	1	0	1	1	0
-----------	---	---	---	---	---	---

Gambar 2. 10 Gambar sebelum dan sesudah mutasi

Algoritma akan berhenti ketika populasi telah konvergen. Dimana tidak lagi memproduksi keturunan yang signifikan dari pada generasi sebelumnya. Pada tahap ini GA telah memberika solusi pada masalah yang didefinisikan. (Aldianto dan Ardiansyah 2019).

Adapun *flowchart* dari *Genetic Algorithm* dapat dilihat pada Gambar 2. 11.

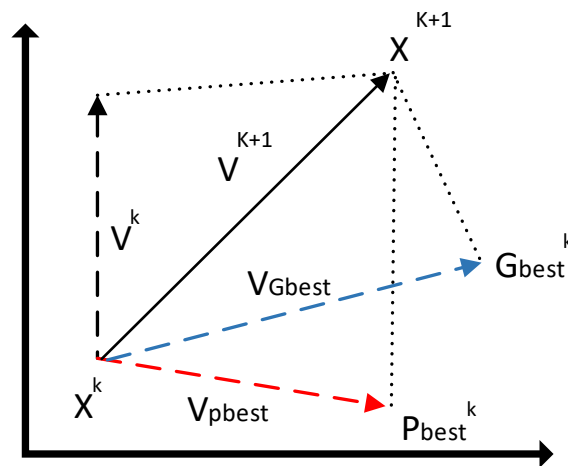


Gambar 2. 11 *Flowchart genetic algorithm*

2.9 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO adalah metode optimasi berbasis populasi yang dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. PSO merupakan alat optimasi yang menyiapkan prosedur pencarian berbasis populasi yang setiap populasinya disebut dengan partikel. Kumpulan partikel merupakan calon solusi yang disebut dengan Swarm. Dalam sistem PSO partikel melayang-layang di sekitar ruang pencarian multidimensi. (Anton Frien 2016)

Selama proses pencarian, setiap partikel mencari posisi terbaiknya sendiri berdasarkan pengalamannya sendiri (nilai ini yang disebut P_{best}) dan posisi terbaiknya berdasarkan pengalaman partikel tetangganya (nilai ini yang disebut G_{best}). Proses pencarian P_{best} dan G_{best} dapat diilustrasikan pada Gambar 2. 12.



Gambar 2. 12 Ilustrasi pencarian P_{best} dan G_{best}

Adapun formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel dalam dimensi tertentu adalah sebagai berikut.

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_N(0) \quad (2.22)$$

$$V_1(0), V_2(0), \dots, V_N(0) \quad (2.23)$$

Modifikasi ini dapat diwakili sebagai sebuah konsep kecepatan, kecepatan dari setiap partikel dapat dirumuskan pada persamaan berikut.

$$V_i(t) = wv_i(t - 1) + c_1r_1(P_{best_i} - x_i(t - 1)) + c_2r_2(G_{best} - x_i(t - 1)) \quad (2.24)$$

Menggunakan persamaan di atas kecepatan tertentu secara berharap akan semakin mendekati P_{best} dan G_{best} . Adapun posisi ketika sedang melakukan pencarian saat ini dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$x_i(t) = v_i(t) + x_i(t - 1) \quad (2.25)$$

Adapun bobot inersia untuk meredam kecepatan selama iterasi menuju titik target secara lebih akurat dan efisien. Untuk mencapai itu bobot inersia diperkecil nilainya semakin bertambahnya iterasi adalah sebagai berikut:

$$w(t) = w_{max} - \left(\frac{w_{max} - w_{min}}{max.iter} \right) \times t \quad (2.26)$$

Dimana :

x_1 = posisi partikel

V = kecepatan partikel

i = indeks partikel

t = iterasi ke-t

P_{best_i} = posisi terbaik lokal

G_{best} = posisi terbaik global

w = bobot inersia

c_1, c_2 = konstanta positif = 2

r_1, r_2 = bilangan random berkisar antara 0 sampai 1

w_{max}, w_{min} = bobot inersia max = 0.9 dan bobot inersia min = 0.4

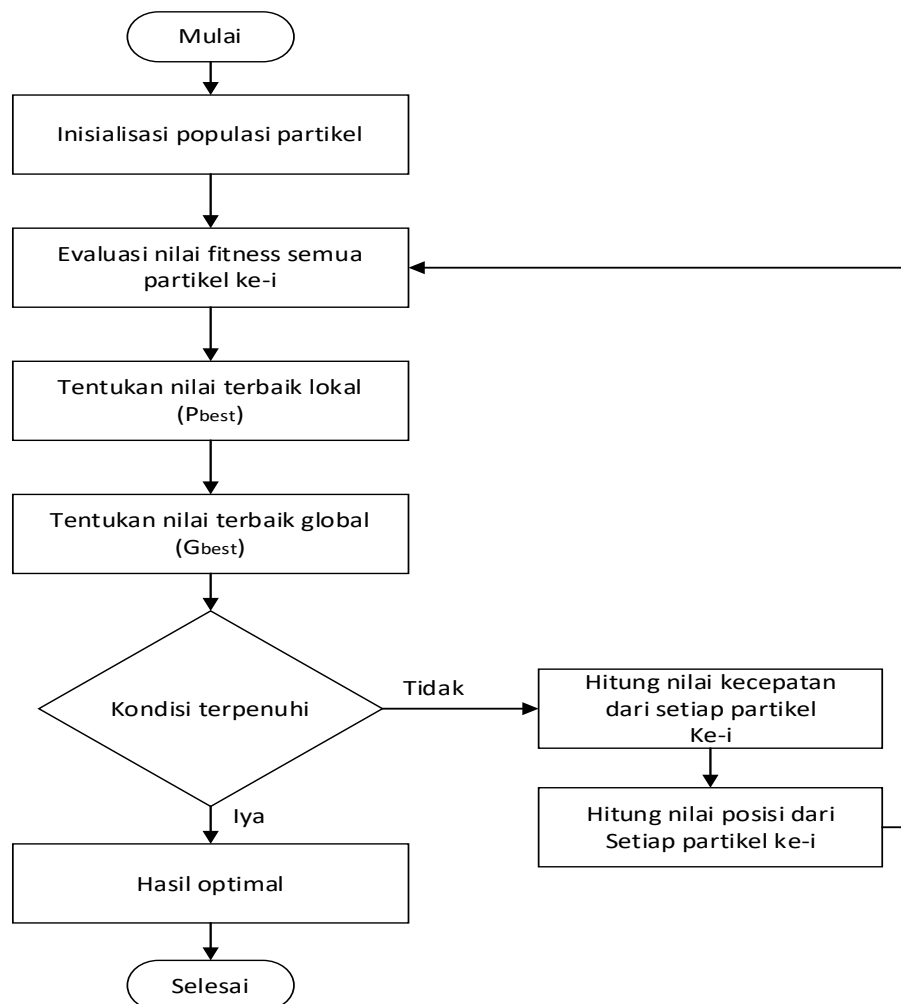
Max.iter = iterasi maksimal

Adapun step dari metode PSO adalah sebagai berikut:

- a) Mengumpulkan parameter yang dibutuhkan.

- b) Membangkitkan posisi dan kecepatan awal secara random.
- c) Evaluasi fitness masing-masing berdasarkan posisinya.
- d) *Update* kecepatan atau *velocity*.
- e) Tentukan partikel dengan fitness terbaik dan tetapkan sebagai Gbest.
- f) Ulangi langkah tersebut sehingga didapatkan kriteria yang diinginkan.

Adapun *flowchart* dari *Particle Swarm Optimization* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 *Flowchart particle swarm optimization*