

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain: generator, transmisi listrik, distribusi, dan beban [3].

2.1.1 Generator

Generator merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Generator yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik adalah generator AC sinkron 3 phasa. Generator sinkron mempunyai 2 medan sinkron yang berputar. Medan pertama dihasilkan oleh putaran rotor sinkron yang dieksitasi oleh arus DC, medan yang kedua adalah medan yang dihasilkan oleh arus jangkar tiga phasa pada belitan stator.

Sistem kelistrikan modern umumnya menggunakan generator AC dengan sistem eksitasi *Brushless*. Sumber tenaga mekanis yang menggerakkan generator berasal dari tenaga mekanis turbin. Salah satu jenis turbin adalah turbin uap, turbin uap digerakkan oleh energi yang dihasilkan dari pembakaran batubara, gas dan bahan bakar nuklir.

Turbin uap beroperasi pada kecepatan 3600 atau 1800 rpm, generator yang dapat dikopel adalah generator dengan rotor silindris, 2 kutub untuk 3600 rpm atau 4 kutub 1800 rpm. Turbin hidrolik yang biasanya beroperasi pada tekanan rendah, dan kecepatan rendah menggunakan generator type salient rotor dengan banyak kutub. Dalam sistem tenaga beberapa generator dioperasikan secara parallel untuk menyediakan permintaan beban yang dibutuhkan [3].

2.1.2 Transmisi Listrik

Transmisi listrik bertujuan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju sistem dalam rangka menyuplai beban. Saluran transmisi juga menghubungkan peralatan selama sistem bekerja normal, maupun ketika terjadi gangguan.

Standart tegangan transmisi dikeluarkan oleh United State dalam standar ANSI (*American National Standards Institute*). Tegangan transmisi dioperasikan lebih dari 60 kV, yaitu dengan standart satuan 69 kV, 115 kV, 138 kV, 161 kV, 230 kV, 345 kV, 500kV, and 765 kV line-to-line. Tegangan transmisi diatas 230 kV disebut sebagai tegangan ekstra tinggi (*Extra High Voltage-EHV*) [3].

2.1.3 Distribusi

Sistem distribusi adalah bagian yang menghubungkan gardu induk distribusi ke konsumen. Besar tegangan saluran distribusi primer yaitu 4 kV sampai dengan 34.5 kV, dan menyuplai beban dalam area tertentu. Beberapa industri kecil langsung mendapat suplai listrik dari *feeder* primer.

Jaring distribusi sekunder dapat mengurangi tegangan pada peralatan konsumen. Saluran dan kabel listrik tidak boleh melebihi panjang beberapa ratus *feet*. Distribusi sekunder menyuplai tegangan kepada konsumen dengan level tegangan 240/120 V, fasa tunggal dengan tiga kawat; 208/120 V tiga fasa, empat kawat; 480/277 V, tiga fasa, empat kawat.

Berdasarkan letaknya, sistem distribusi dibagi menjadi 2 yaitu, *Overhead* dan *Underground*. *Overhead* berarti kabel atau kawat transmisi listrik disalurkan di

udara atau di atas tanah. Sedangkan *Underground* berarti transmisi listrik terletak di bawah tanah [3].

2.1.4 Beban

Beban pada sistem tenaga modern dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu skala industri, skala komersil, dan skala rumah tangga. Jika daya beban industri sangat besar, maka akan disuplai oleh sistem transmisi secara langsung dari jaring subtransmisi, sedangkan beban industri tergolong kecil maka akan disuplai oleh jaring distribusi primer. Beban industri merupakan beban campuran, dan beban yang mendominasi adalah beban dari motor listrik. Beban campuran akan mempengaruhi nilai dari frekuensi tegangan dan nilai daya reaktif. Sedangkan beban komersial dan beban rumah tangga secara umum terdiri dari beban untuk pencahayaan, pemanasan, dan pendinginan. Beban-beban tersebut tidak mempengaruhi frekuensi dan nilai konsumsi daya reaktif.

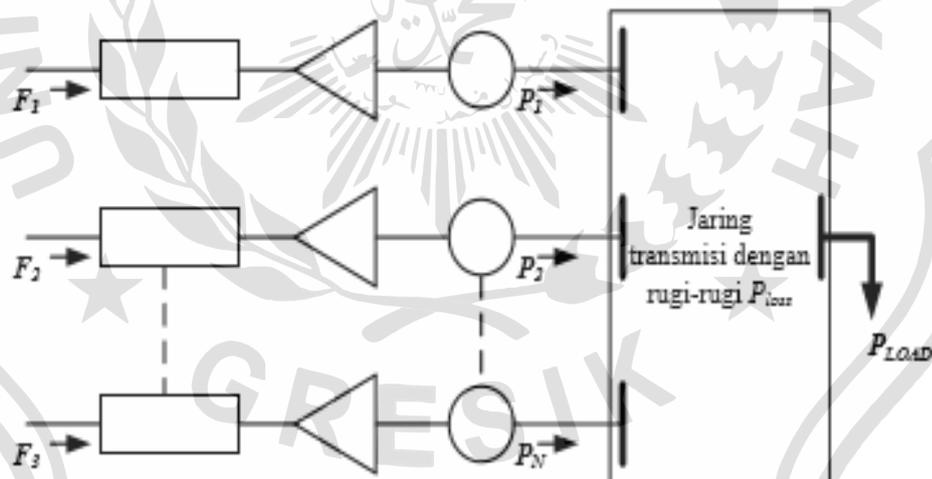
Daya nyata dinyatakan dalam satuan kilowatt atau megawatt, besarnya beban berbeda tiap waktu, dan daya yang dibangkitkan harus menyesuaikan dengan kebutuhan beban.

Beban kurva harian dari peralatan listrik merupakan beban komposit yang berasal dari penggunaan listrik yang berbeda. Beban terbesar yang terjadi selama periode 24 jam disebut dengan beban puncak atau permintaan maksimum. Generator dengan puncak yang lebih kecil digunakan untuk mendapatkan beban puncak yang hanya terjadi dalam beberapa jam saja. Agar pembangkitan lebih efisien, maka faktor beban ditentukan.

2.2 Economic Dispatch (ED)

Pengoptimalan model biaya dari pembangkitan energi listrik sangat penting. Pengoptimalan permasalahan ED pada umumnya menggunakan komputer untuk melakukan kalkulasi biaya yang lebih murah, kebutuhan bahan bakar (*fuel*), ketersediaan bahan bakar, dan sebagainya. Parameter-parameter tersebut sangat penting untuk melakukan perencanaan jangka panjang dari sistem, penentuan porsi biaya bahan bakar dan manajemen operasi pada pembangkit [4].

Pada pembangkitan energi listrik, terdapat tiga komponen biaya utama yaitu biaya pembangunan fasilitas, biaya kepemilikan dan biaya operasi. Biaya operasi adalah biaya yang memiliki bagian yang paling dominan pada sistem operasi tenaga listrik.



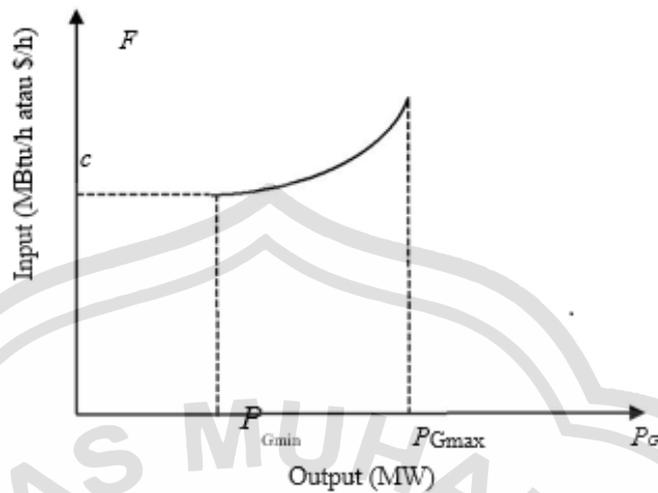
Gambar 2.1. Pemodelan pembangkit *thermal* mensuplai daya beban dan rugi transmisi.

Salah satu komponen dominan pada biaya operasi adalah biaya bahan bakar (*fuel cost*) dan setiap pembangkit memiliki karakteristik *fuel cost* yang berbeda-beda sesuai dengan jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit. Pengoptimalan biaya operasi dengan mem-pertimbangkan *fuel cost* sangat mempengaruhi biaya produksi energi listrik. Oleh sebab itu, walaupun pada kondisi operasi normal kapasitas total dari pembangkit lebih besar dari daya beban (*Pload*) dan rugi transmisi (*Ploss*), penjadwalan kerja pembangkit tetap menjadi prioritas untuk menekan biaya produksi.

Tujuan utama dari *Economic Dispatch* adalah meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit pada keseluruhan sistem dengan menentukan daya output setiap unit pembangkit [9]. Penentuan daya output pada setiap generator hanya boleh bervariasi pada batas-batas tertentu (*constraint*).

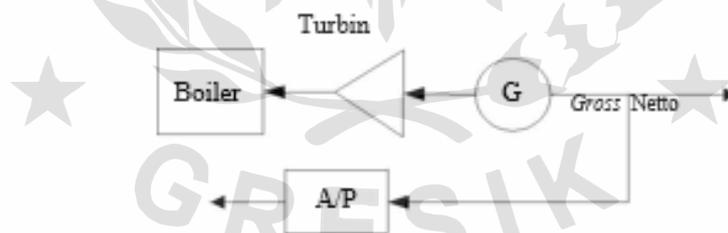
2.2.1 Karakteristik Input-Output Pembangkit Termal

Pada pembangkit *thermal*, karakteristik input-output konsumsi bahan bakar pembangkit merupakan dasar penyusunan fungsi biaya. Pada umumnya karakteristik input-output pembangkit *thermal* berbentuk *Btu per hour* input ke unit generator (Mbtu/h). Biaya pembangkitan adalah perkalian dari biaya (\$) kalori yang terkandung dalam bahan bakar dengan kebutuhan kalori tiap jam dari generator (Btu/h). Hasil daya yang dibangkitkan (Mega Watt) direpresentasikan dengan P_G . Pada Gambar 2.3 ditunjukkan bahwa kurva karakteristik input-output dari pembangkit *thermal* memiliki batas minimal dan maksimal dari daya output yang diproduksi.



Gambar 2.2. Kurva input-output pembangkit thermal

Selain biaya bahan bakar yang dikonsumsi, biaya operasi juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan, biaya transportasi bahan bakar, dan sebagainya. Biaya-biaya tersebut sulit direpresentasikan secara langsung sebagai fungsi biaya dari daya output yang dihasilkan generator. Karena permasalahan tersebut, biaya-biaya tersebut diasumsikan sebagai bagian *fixed cost* dari biaya operasi [9], dan akan diabaikan dalam proses optimisasi pada Tugas Akhir ini.



Gambar 2.3. Pemodelan boiler-turbin-generator pada pembangkit *thermal*

Pembangkit *thermal* sederhana terdiri dari boiler, turbin uap dan generator. Input dari boiler adalah bahan bakar dan outputnya adalah uap. Hubungan dari input-output boiler dapat direpresentasikan dalam bentuk *convex curve* [9]. Input

dari turbin adalah adalah sejumlah uap dan outputnya adalah daya listrik. Karakteristik dari keseluruhan sistem suatu pembangkit dapat diekspresikan secara langsung dengan meng-gabungkan karakteristik input-output dari boiler dan turbin generator.

Batas minimum dari daya output generator diperhatikan, hal ini disebabkan karena kondisi teknis atau faktor lain pada boiler dan turbin. Pada turbin, kondisi teknis yang dimaksud adalah kondisi *shell* serta perbedaan suhu metal rotor, *exhaust hood temperature*, rotor *expantion* dan *shell expansion*. Pada boiler, kondisi teknis tersebut disebabkan karena *fuel combustion stability and valve* [OPSO]. Sedangkan batas maksimal dari daya output suatu pembangkit ditentukan dari desain kapasitas boiler dan turbin generator.

Karakteristik input-output diekspresikan dalam persamaan yang merupakan pendekatan atau linearisasi dari biaya bahan bakar yang masuk ke generator terhadap daya output generator yang diperoleh berdasarkan beberapa cara, antara lain:

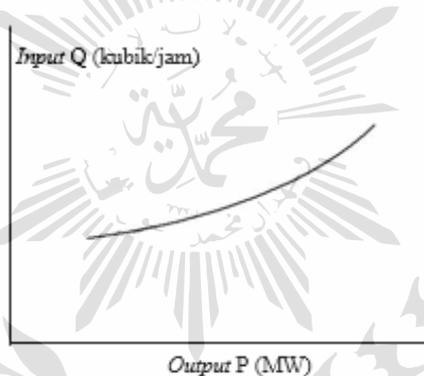
1. Berdasarkan percobaan tentang efisiensi dari pembangkit.
2. Berdasarkan data historis mengenai operasi dari unit generator.
3. Berdasarkan pada data desain dari unit generator yang diberikan oleh pabrik pembuat generator.

Persamaan karakteristik yang diperoleh disebut sebagai biaya pembangkitan energi listrik dari suatu pembangkit. Persamaan karakteristik input-output pembangkit *thermal* pada umumnya dire-presentsikan dalam persamaan orde dua.

Tetapi persamaan tersebut dapat juga memiliki orde lebih dari dua dan bisa menjadi lebih tidak linear (*non-convex*) apabila perhitungan yang lebih sensitif dibutuhkan dengan memperhatikan pengaruh-pengaruh seperti *valve-point effect*.

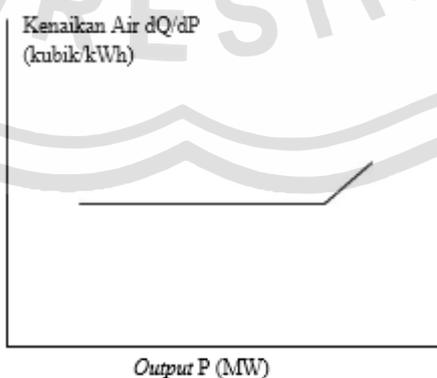
2.2.2 Karakteristik Input-Output Pembangkit Hidro

Unit pembangkit listrik tenaga air mempunyai karakteristik input-output sama dengan unit pembangkit tenaga uap, input-nya berupa volume air per unit waktu sedangkan output-nya adalah daya listrik. Gambar 2.4 menunjukkan kurva input-output pembangkit tenaga air. Karakteristik ini menunjukkan kurva yang hampir linier dengan kebutuhan volume input air per waktu unit sebagai fungsi dari daya output dengan daya output naik nilai minimum hingga beban nominal [5]



Gambar 2.4. Kurva input–output pembangkit tenaga air

Karakteristik kenaikan rata-rata air ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.5** berikut,



Gambar 2.5. Kurva kenaikan air pembangkit tenaga air

2.2.3 Persamaan Matematis Permasalahan *Economic Dispatch* (ED)

Permasalahan ED merupakan permasalahan optimisasi yang rumit. Pada optimisasi yang dilakukan adalah optimisasi dari segi biaya bahan baku pembangkitan atau *fuel cost* yang memiliki karakteristik tidak linear seperti yang sudah dijelaskan pada Bab 1. Bentuk tipikal dari persamaan biaya pembangkit pembangkit adalah persamaan polynomial orde dua dan direpresentasikan sebagai berikut :

$$F_i (P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.1)$$

Dengan

F_i = Besar biaya pembangkitan pada pembangkit ke-i (Rp)

P_i = Daya output dari pembangkit ke-i (MW)

Variabel a , b , dan c adalah koefisien biaya operasi produksi dari suatu pembangkit. Koefisien c juga merepresentasikan biaya operasi pembangkit ketika tidak memproduksi energi listrik.

Dari persamaan (2.3), dapat diketahui bahwa hubungan antara daya yang dibangkitkan dari generator tidak linear terhadap biaya pembangkitannya. Kombinasi daya output yang dibangkitkan oleh tiap-tiap generator pada sistem harus memenuhi kebutuhan daya dari sistem tenaga listrik (*equality constraint*) dan memenuhi batas minimum serta maksimum dari daya yang dapat dibangkitkan oleh generator (*inequality constraint*) [10]. Karena rumitnya permasalahan ini, maka permasalahan ED hanya bisa dilakukan dengan metode iterasi. Parameter-

parameter yang telah dijelaskan diatas dapat direpresentasikan dalam persamaan (2.5-6).

$$\text{Min} \sum F_i(P_i) = \text{Min} \sum (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (2.2)$$

$$P_{Gi} \text{ min} \leq P_G \leq P_{Gi} \text{ max} \quad (2.3)$$

Dengan P_{Gi} adalah besar daya yang dibangkitkan generator ke-i atau disebut dengan *inequality constrain*.

$$\sum P_i = P_d + P_L \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_d = daya permintaan konsumen (MW)

P_L = rugi daya yang terjadi pada jaring transmisi (MW)

persamaan (2.6) dikenal dengan sebutan *equality constraint*.

Pada Permasalahan ED juga memperhitungkan adanya rugi transmisi seperti pada persamaan (2.6). Rugi transmisi terjadi karena adanya aliran daya yang melewati jaring transmisi dan besar rugi transmisi yang terjadi bergantung pada besar aliran daya yang mengalir pada jaring transmisi tersebut. Dapat disimpulkan bahwa besar kom-binasi daya output yang dibangkitkan generator mempengaruhi besar aliran daya yang mengalir pada jaring transmisi dan menentukan besar rugi transmisi yang terjadi.

Optimisasi permasalahan ED menjadi rumit karena total kombinasi daya output yang harus dibangkitkan generator merupakan daya permintaan konsumen

dan rugi transmisi, sedangkan rugi transmisi diketahui besarnya setelah kombinasi daya output setiap generator ditentukan.

Untuk menyelesaikan permasalahan berkaitan dengan rugi transmisi tersebut maka studi aliran daya yang mengalir pada jaring transmisi perlu dilakukan.

2.3 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya digunakan untuk menganalisis kondisi statis dari suatu jaring transmisi tenaga listrik. Suatu sistem tenaga listrik umumnya terdiri dari beberapa generator, beberapa kilometer line transmisi, beban dan komponen pendukung seperti transformator dan kompensator. Untuk mengevaluasi kualitas dari jaring tenaga listrik, perlu dilakukan perhitungan aliran daya dan profil tegangan di setiap bus.

2.3.1 Perumusan Umum Studi Aliran Daya

Untuk melakukan analisis aliran daya dibutuhkan data admitansi saluran memperhitungkan besar aliran daya yang mengalir.

Sebagaimana ditunjukkan persamaan (2.7) :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & \dots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \dots & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

dengan,

- I_n Arus pada bus ke- n
- V_n Tegangan pada bus ke- n
- Y_{mn} Admitansi dari node di bus n ke n

atau dapat juga ditulis,

$$\mathbf{I}_{bus} = \mathbf{Y}_{bus} \mathbf{V}_{bus} \quad (2.6)$$

Pada studi aliran daya, sistem diasumsikan pada kondisi seimbang dan digunakan pemodelan menggunakan *single phase* serta ada empat variabel yang diperhitungkan pada tiap-tiap bus yaitu *voltage magnitude* $|V|$, *phase angle* (δ) , *real power* (P) , dan *reactive power* (Q) . Sistem bus diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bus *Slack/Swing*

Bus ini digunakan sebagai referensi besar *magnitude* dan sudut fasa dari tegangan. Selain itu, bus *slack/swing* juga berfungsi me-nanggung kekurangan kebutuhan daya listrik karena rugi transmisi dan kekurangan daya listrik akibat perubahan beban serta keku-rangan total daya output dari generator yang ada di sistem untuk memenuhi permintaan beban.

2. Bus *Load (P-Q)*

Pada bus P-Q besar daya aktif dan reaktif ditentukan. Besar *magnitude* dan sudut fasa tegangan tidak diketahui.

3. Bus *Regulated/ Generator/ P-V/ Voltage-controlled*

Pada bus P-V, besar daya aktif dan reaktif ditentukan. Batas dari daya reaktif yang dapat dibangkitkan juga ditentukan

Pada tiap-tiap bus hanya ada dua macam nilai yang diketahui sebe-lumnya dan

dua nilai yang lain merupakan hasil perhitungan dari studi aliran daya. Nilai-nilai tersebut adalah :

1. Bus *slack* : Nilai skalar dari tegangan $|V|$ dan sudut phasanya (θ)
2. Bus P-V: Nilai daya nyata (P) dan *magnitude* dari tegangan $|V|$
3. Bus P-Q: Nilai daya nyata (P) dan daya reaktif (Q)

Persamaan aliran daya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.6 dapat ditunjukkan persamaan berikut,

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \end{aligned} \quad (2.7)$$

Persamaan diatas dapat juga ditulis sebagai berikut :

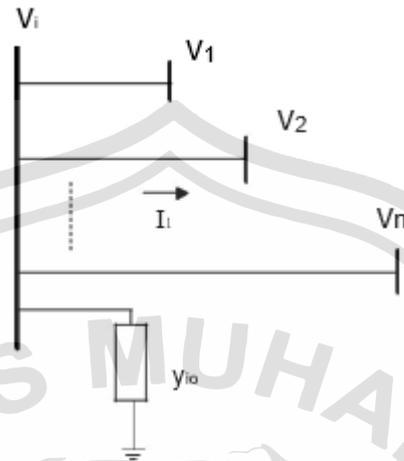
$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.8)$$

Daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada bus i dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut,

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.9)$$

Persamaan diatas dapat ditulis ulang sebagai berikut,

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6. Tipikal bus pada jaring sistem tenaga listrik

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.8) dengan persamaan (2.10) di-peroleh,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.11)$$

Keterangan,

P_i = Daya output dari pembangkit ke – i (MW)

V_i = Tegangan pada bus ke – i

Y_{ij} = Admitansi pada bus i ke bus j

2.3.2 Rugi Jaring Transmisi

Setelah tegangan di tiap bus diperoleh, perhitungan dari line flow dan rugi jaring transmisi dapat dilakukan. Besar daya yang mengalir dan rugi transmisi yang terjadi pada tiap saluran ditunjukkan dalam pers-a-maan berikut,

$$S_{ji} = V_i I_{ij}^* \quad (2.12)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2.13)$$

Keterangan,

S_{ji} = Daya total bus j ke bus i

Losses yang terjadi pada jaring transmisi dijelaskan dalam persamaan berikut,

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.14)$$

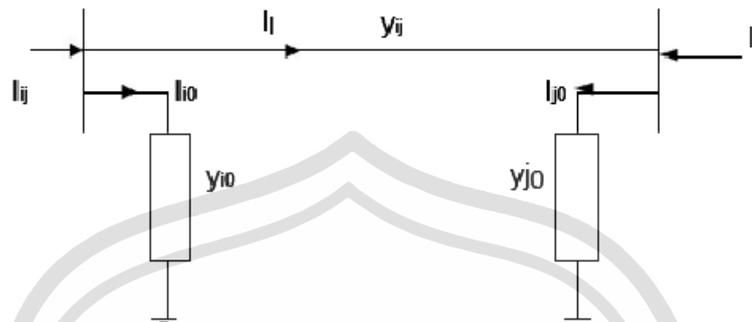
dan arus yang mengalir dari bus i ke bus j (I_{ij}) dapat dituliskan sebagai berikut,

$$I_{ij} = -I_{i0} + I_{j0} = \gamma_{ji} (V_i - V_j) + \gamma_{i0} V_i \quad (2.15)$$

Sedangkan arus yang mengalir dari arah yang berlawanan dan di-asumsikan bernilai positif dapat dituliskan sebagai berikut,

$$I_{ji} = -I_{j0} + I_{i0} = \gamma_{ji} (V_j - V_i) + \gamma_{j0} V_j \quad (2.16)$$

Dari persamaan (2.16), diketahui bahwa persamaan pada permasalahan analisis aliran daya adalah permasalahan *algebraic nonlinear equation* yang dapat diselesaikan menggunakan teknik iterasi. Ada beberapa teknik yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini antara lain Gauss-Siedel, *Newton Rapshon*, dan sebagainya.



Gambar 2.7. Pemodelan jaring transmisi untuk perhitungan rugi transmisi

2.4 Genetic Algorithm (GA)

Masalah optimasi akhir-akhir ini berkembang cepat, terutama dibidang kontrol. Untuk membahas masalah ini, kita akan mengacu pada sebuah metode yang dapat melaksanakan tugas secara optimal. GA merupakan salah satu jenis algoritma yang cocok untuk menyelesaikan masalah optimisasi [1].

Genetic Algorithm (GA) adalah teknik optimisasi dan stokastik yang menganut prinsip genetika dan seleksi alam. Metode ini telah dibangun oleh John Holland (1975) dan terus dikembangkan antara 1960-1970 dan akhirnya dipopulerkan oleh David Goldberg (1989) dengan istilah *Simple Genetic Algorithm* (SGA), Sekarang SGA mewakili “algoritma dasar” di atas algoritma yang serupa secara visual [1]. Secara umum algoritma ini digunakan untuk pencarian optimal dari suatu permasalahan optimisasi.

Operasi dasar dari GA terdiri dari inialisasi populasi, pengkodean kromosom, evaluasi individu, mutasi, pindah silang, *elitisme*, *rouleete wheel selection*, *Linier Fitness Ranging* [6].

2.4.1 Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi bertujuan untuk membangkitkan sebuah populasi yang berisi sejumlah kromosom. Setiap kromosom berisi sejumlah gen, sehingga masukan untuk fungsi ini merupakan jumlah kromosom dan jumlah gen. pada GA digunakan fungsi inisialisasi individu sebagai berikut [12],

$$\text{Populasi} = \text{fix}(2 * \text{rand}(\text{UkPop}, \text{JumGen}))$$

Pada perintah di atas menghasilkan matriks 2 dimensi berukuran UkPop x JumGen yang berisi nilai real dalam interval [0,1]. Sedangkan fix digunakan untuk pembulatan ke bawah. Dengan demikian $\text{fix}(2 * \text{rand}(\text{UkPop}, \text{JumGen}))$ menghasilkan matriks dua dimensi, UkPop x JumGen yang bernilai biner (0,1).

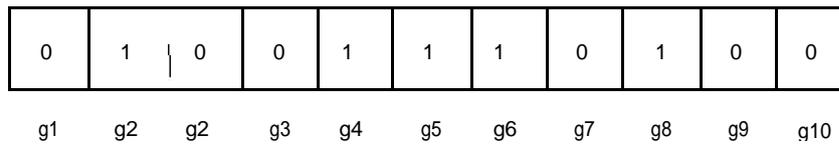
2.4.2 Pengkodean Kromosom

Pengkodean kromosom berfungsi untuk mengkodekan sebuah kromosom yang berisi bilangan biner hasil pembangkitan (inisialisasi individu) menjadi individu x yang bernilai real dalam interval yang diinginkan. Proses pengkodean dilakukan dengan berdasarkan aturan pengkodean kromosom [12].

Terdapat beberapa skema pengkodean kromosom yaitu,

1. *Real-number encoding*
2. *Discrete decimal encoding*
3. *binary encoding*

Pada Tugas Akhir ini digunakan skema pengkodean *binary encoding* yaitu dengan mengasumsikan bahwa setiap gen itu hanya bisa bernilai 0 dan 1. Gambar 2.10 adalah skema dengan menggunakan *binary encoding*.



Gambar 2.8. Skema *Binary Encoding*

Prosedur pengkodean untuk *binary encoding* adalah

$$x = r_b + (r_q - r_b)(g_1 \times 2^{-1} + g_2 \times 2^{-2} + \dots + g_{10} \times 2^{-10}) \quad (2.17)$$

Pada prosedur pengkodean *binary encoding* di atas memiliki kelemahan yaitu tidak mampu mencapai target yang diinginkan, hal ini disebabkan karena nilai maksimum dari *binary encoding* adalah kurang dari 1 (bahkan bisa lebih kecil) sehingga harus dimodifikasi menjadi,

$$x = r_b + \frac{(r_q - r_b)}{\sum_{i=1}^N 2^{-i}} (g_1 \times 2^{-1} + g_2 \times 2^{-2} + \dots + g_N \times 2^{-N}) \quad (2.18)$$

2.4.3 Evaluasi Individu

Individu di evaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Di dalam evolusi alam, individu bernilai *fitness* yang tinggi akan tetap bertahan hidup, dan yang memiliki nilai fines rendah maka dia akan mati. Pada masalah optimisasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan fungsi h (dikenal sebagai masalah maksimasi), maka nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai fungsi dari h tersebut, yaitu $f = h$ (dengan f adalah fungsi *fitness*). Tetapi apabila masalah yang ingin dicari solusinya dalah fungsi minimal maka fungsi h tidak dapat digunakan secara langsung. Hal ini dikarenakan terdapat aturan bahwa individu yang memiliki nilai *fitness* yang tinggi lebih mampu bertahan hidup

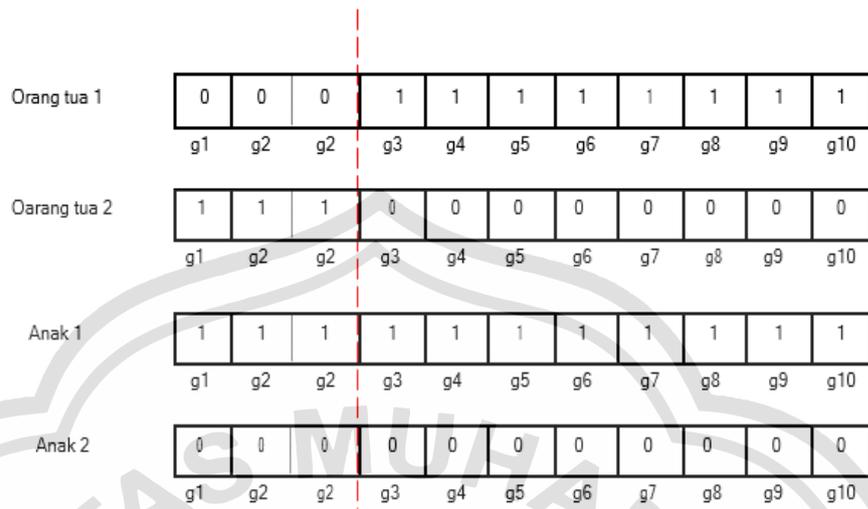
dibandingkan dengan individu yang memiliki nilai *fitness* lebih kecil. Sehingga fungsi *fitness* yang digunakan adalah $f = 1/h$, yang berarti semakin kecil nilai h maka semakin besar nilai dari f . dan pada saat $h = 0$ maka fungsi f akan mencapai tidak terhingga. Untuk mengatasi problema ini maka nilai h perlu ditambahkan nilai/ bilangan yang dianggap kecil sehingga nilai *fitness* menjadi $f = (1/(h+a))$, dengan a merupakan bilangan yang memiliki nilai kecil dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan [12].

2.4.4 Elitisme

Karena seleksi yang dilakukan secara *random*, sehingga tidak ada jaminan bahwa satu individu yang memiliki nilai *fitness* tertinggi akan selalu terpilih. Kalaupun individu bernilai *fitness* tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai fitnessnya menurun) karena proses pindah silang. Untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa duplikatnya. prosedur ini dikenal sebagai *elitism* [12].

2.4.4 Pindah Silang

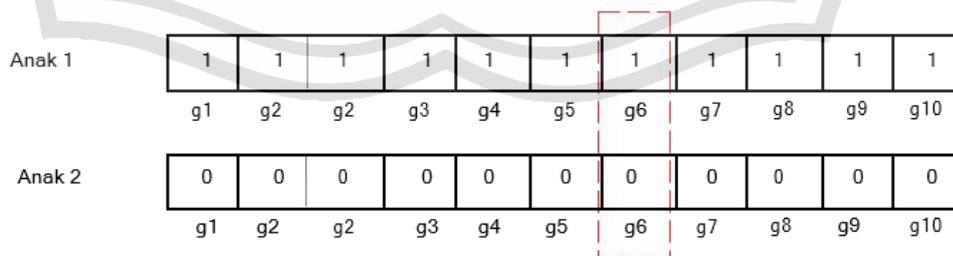
Pindah silang merupakan salah satu komponen yang amat penting dalam menyusun sebuah GA. Pada pindah silang ini sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus bisa diperoleh dari proses memindah-silangkan dua buah kromosom. Proses pindah silang dua buah kromosom orang tua dicontohkan pada Gambar2.11.[12].



Gambar 2.9. Contoh pindah silang pada dua buah kromosom

2.4.6 Mutasi

Prosedur mutasi sangatlah sederhana, untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi (P_{mut}) yang ditentukan maka gen tersebut diubah menjadi nilai kebalikannya (dalam *binary encoding*, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0). Biasanya P_{mut} diset sebagai $1/n$, dengan n adalah jumlah gen dalam kromosom. Dengan P_{mut} sebesar ini berarti mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen dalam kromosom. Pada GA sederhana, nilai P_{mut} adalah tetap selama evolusi. Gambar 2.12 menggambarkan proses mutasi yang terjadi pada gen ke-6.[12]



Gambar 2.10. Contoh proses mutasi

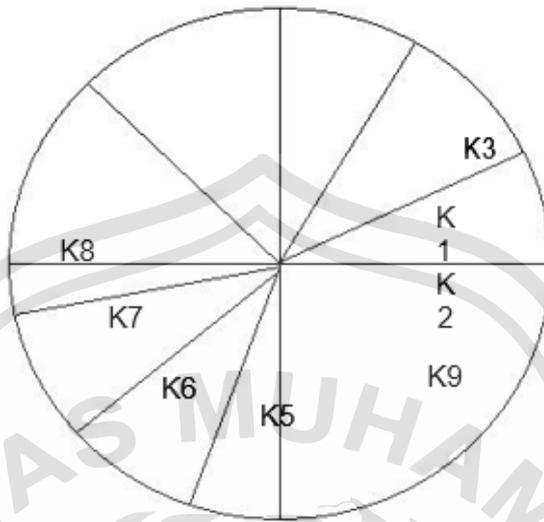
2.4.7 Roulette Wheel Selection

Pemindahan dua buah kromosom sebagai orang tua, yang akan dipindah-silangkan, biasanya dilakukan secara proportional sesuai dengan nilai fitness yang dimiliki. Suatu metode seleksi yang umum digunakan adalah *roulette wheel* (roda roulette) [12].

Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *reuletee wheel* yang memiliki aturan bahwa masing-masing kromosom akan menempati potongan lingkaran *roulette wheel* sesuai dengan nilai *fitness* yang dimiliki. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan yang memiliki nilai *fitness* yang lebih kecil. Ilustrasi tentang penggunaan model *roulatte wheel* ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.

Tabel 2.1. Nilai fungsi *fitness*

| Kromosom | Nilai <i>fitness</i> |
|----------|----------------------|
| K1 | 0,0833 |
| K2 | 0,0833 |
| K3 | 0,0833 |
| K4 | 0,25 |
| K5 | 0,041 |
| K6 | 0,833 |
| K7 | 0,833 |
| K8 | 0,041 |
| K9 | 0,125 |
| K10 | 0,125 |



Gambar 2.11. Seleksi *Roulette Wheel*

2.4.8 Linier Fitness Ranging

Untuk menghindari kecenderungan konvergen pada optimum lokal, maka digunakan penskalaan nilai *fitness*, sehingga diperoleh nilai *fitness* baru yang lebih baik, yaitu yang memiliki variasi tinggi. Fungsi yang digunakan untuk mengimplementasikan fungsi ini yakni [12],

Function LFR = LinearFitnessranging(Ukpop, Fitness,MaxF,MinF)

[SF,IndF] =sort(Fitness);

For rr =1: UkPop

LFR(IndF(UkPop-rr+1)) = MaxF-(MaxF-MinF)*(rr-1)/(Ukpop-1) End

Fungsi *sort* sudah tersedia dalam MATLAB, fungsi digunakan untuk mengurutkan kromosom, sedangkan IndF berisi indeks dari nilai *fitness* tersebut.

Pada penelitian ini, GA digunakan untuk mengoptimalkan nilai batas dari tiap-tiap *membership function*. Nilai batas (*constraint*) pada *membership function*

dikodekan ke dalam kromosom-kromosom biner. Setelah melalui serangkaian proses operasi genetika, akhirnya didapatkan kromosom terbaik sebagai nilai dari masing-masing parameter batas yang akan digunakan.

2.5 Micro Genetic Algorithm (μ -GA)

μ -GA pada dasarnya adalah metode pencarian berbasis konsep seleksi dan gentika alami [6]. μ -GA mempunyai kemampuan untuk menyelesaikan permasalahan fungsi biaya yang bersifat *non-smooth*, *non-continuous*, dan *non-diferensial* yang tidak bisa diselesaikan dengan metode *Lagrange* klasik. *Micro Genetic Algorithm* (μ -GA) dikenalkan oleh Krishnakumar [7], μ -GA menggunakan populasi yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan GA biasa yang dikembangkan oleh Goldberg [6]. Dengan populasi yang sedikit, maka menghasilkan waktu komputasi yang lebih cepat. μ -GA juga menggunakan proses elitism, dan pengecekan konvergensi dengan reinisialisasi untuk menghasilkan solusi yang optimal [13].

μ -GA memunculkan populasi secara acak, untuk setiap iterasi atau generasi μ -GA melakukan 5 operasi dasar antara lain : evaluasi fungsi *fitness*, seleksi turnamen, pindah silang, *elitism*, dan cek konvergensi dengan reinisialisasi

2.5.1 Evaluasi Fungsi *Fitness*

Operasi ini sama dengan operasi evaluasi individu pada GA, operasi ini dilakukan dengan mencari solusi yang optimal, di dalam evolusi, individu dengan generasi yang bernilai *fitness* yang tinggi akan tetap bertahan hidup, dan yang memiliki nilai *fitness* rendah akan mati, Pada masalah optimasi, jika solusi yang

dicari adalah memaksimalkan fungsi h (dikenal sebagai masalah maksimasi), maka nilai fitness yang digunakan adalah nilai fungsi dari h tersebut, yaitu $f = h$ (dengan f adalah fungsi *fitness*). Tetapi apabila masalah yang ingin dicari solusinya adalah fungsi minimal maka fungsi *fitness* yang digunakan adalah $f = 1/h$, yang berarti semakin kecil nilai h maka semakin besar nilai dari f , dan pada saat $h = 0$ maka fungsi f akan mencapai tidak terhingga. Untuk mengatasi problema ini maka nilai h perlu ditambahkan nilai/bilangan yang dianggap kecil sehingga nilai *fitness* menjadi $f = (1/(h+a))$, dengan a merupakan bilangan yang memiliki nilai kecil dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan.

2.5.2 Seleksi Turnamen

Untuk meningkatkan penyebaran dari populasi yang dibangkitkan, maka seleksi turnamen lebih sering digunakan daripada *Roulette wheel selection*. Dengan *Roulette wheel selection*, probabilitas seleksi berbanding lurus dengan nilai fitness suatu individu dalam populasi, oleh karena itu untuk jumlah populasi yang sedikit, dapat menyebabkan konvergensi prematur. Dengan menggunakan seleksi turnamen, penyebaran individu dalam populasi akan lebih besar, dan dapat menghindari konvergensi prematur, seleksi turnamen sangat sesuai dengan μ -GA yang menggunakan populasi yang sedikit.

Tahapan seleksi turnamen dilakukan sebagai berikut, $N/2$ group individu dipilih secara acak dari total N populasi tanpa penggantian, kemudian group tersebut masuk ke dalam turnamen. Individu dengan *fitness* lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain, maka akan menjadi $N/2$ populasi orangtua pada

mating pool. kemudian seleksi dilakukan lagi hingga terbentuk total N populasi orang tua untuk reproduksi [8].

2.5.3 Pindah Silang

Pindah silang memungkinkan penggabungan informasi genetik antara dua individu orang tua untuk menghasilkan individu baru. skala pindah silang digunakan untuk menentukan letak bit yang nantinya akan ditukar, skala pindah silang berkisar antara 0 s.d 0,5.

2.5.4 Elitism

Seleksi turnamen dan pindah silang tidak dapat menjamin individu baru yang muncul akan sesuai akan lebih baik daripada individu orang tua. Untuk mengatasi hal tersebut dan menjamin individu terbaik akan bertahan sampai generasi terakhir, maka digunakanlah metode *elitism*. Jika individu baru lebih jelek daripada individu orang tua, maka individu orang tua akan dipilih secara acak untuk menjadi individu orang tua pada generasi selanjutnya [1].

2.5.5 Cek konvergensi

Cek konvergensi dilakukan untuk mengetahui apakah generasi baru dari operasi μ -GA sudah optimum atau belum, konvergensi ini ditandai dengan adanya kesamaan nilai pada kromosom, pada beberapa kasus μ -GA dikatakan telah mencapai nilai konvergen jika bit kromosom pada populasi memiliki kesamaan paling tidak 95% dibandingkan dengan kromosom terbaik [14].