

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu kesatuan yang terdiri atas pusat-pusat pembangkit dan pusat-pusat beban yang saling terhubung melalui jaringan transmisi serta distribusi, sehingga membentuk sistem interkoneksi yang terintegrasi.. Energi listrik dihasilkan oleh berbagai jenis pembangkit seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Tenaga Uap (PLTU), Tenaga Gas (PLTG), Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Tenaga Panas Bumi (PLTP), dan lainnya. Setelah dibangkitkan, energi listrik disalurkan melalui jaringan transmisi dan selanjutnya didistribusikan ke konsumen melalui sistem distribusi.

Pada sistem tenaga listrik skala besar, tegangan output generator terlebih dahulu ditingkatkan menjadi tegangan transmisi, baik tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi, menggunakan transformator *step-up* untuk meminimalkan rugi-rugi daya selama penyaluran energi. Setelah melewati jaringan transmisi, energi listrik mencapai Gardu Induk (GI), di mana tegangan diturunkan ke level tegangan menengah (TM) dengan transformator *step-down*. Energi listrik kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi primer pada tegangan menengah, selanjutnya diturunkan kembali melalui gardu distribusi menjadi tegangan rendah, dan akhirnya dialirkan ke konsumen melalui jaringan distribusi sekunder. [8].

2.2 Sistem Pembangkit Listrik

System pembangkit listrik merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menghasilkan energi listrik melalui konversi dari sumber energi lain. Proses ini memerlukan sebuah perangkat bernama generator, yang hanya dapat menghasilkan listrik apabila porosnya berputar. Putaran tersebut diperoleh dari energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Turbin berperan mengubah energi dari sumber energi utama menjadi energi gerak atau mekanik. Sumber energi ini dapat berasal dari air, bahan bakar minyak, batu bara, angin, sinar matahari, dan lain-lain. Penamaan pembangkit listrik umumnya disesuaikan dengan

jenis energi yang digunakan sebagai penggerak utamanya. Misalnya, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan turbin yang digerakkan oleh uap bertekanan tinggi, yang diperoleh dari pemanasan air [9].

2.3 Economic Dispatch

Economic Dispatch ialah suatu metode optimasi yang tujuannya untuk meminimalkan total biaya bahan bakar pada setiap unit pembangkit listrik. Dalam proses ini, pembebanan daya pada setiap unit pembangkit di distribusikan secara optimal berdasarkan pertimbangan ekonomi, dengan mengacu pada harga beban sistem tertentu. Tujuannya adalah untuk menekan biaya operasional minimal mungkin, tetapi tetap mampu memenuhi permintaan beban serta mematuhi batasan teknis dan operasional yang berlaku pada masing-masing unit pembangkit.

Penelitian ini menetapkan dua jenis batasan dalam *economic dispatch* (ED), yaitu *equality constraint* dan *inequality constraint*. *Equality constraint* merupakan kondisi keseimbangan antara total daya yang dibangkitkan dengan daya beban ditambah rugi-rugi transmisi. Sementara itu, *inequality constraint* adalah batas maksimum dan minimum daya keluaran dari setiap generator yang harus dipenuhi sesuai kapasitas operasionalnya.

Untuk mencapai operasi sistem tenaga yang ekonomis, diperlukan penerapan batasan-batasan tersebut sebagai acuan dalam proses penjadwalan. Dua batasan utama yang harus diperhatikan dalam penjadwalan ekonomis ini adalah sebagai berikut:

- 1) Total daya yang dibangkitkan harus sama dengan jumlah permintaan beban ditambah dengan total rugi-rugi daya pada transmisi.

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_d + P_l$$

Dimana:

P_i = pembangkitan dari unit i ,

P_d = total permintaan beban,

P_l = rugi-rugi transmisi,

N = jumlah unit pembangkit

2) Batas operasional untuk unit I diberikan oleh persamaan (*inequality*)

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax}$$

Dimana:

P_i = pembangkit dari unit i

P_{imin} = pembangkit minimum dari unit i

P_{imax} = Pembangkit Maksimum dari unit I

Dalam kondisi tertentu, khususnya ketika beban sistem berada pada tingkat rendah, tidak semua generator dioperasikan. Pada keadaan tersebut, hanya beberapa generator dengan biaya operasi rendah yang dijalankan. Biaya operasi suatu generator terdiri atas biaya bahan bakar, tenaga kerja, dan pemeliharaan. Dari ketiga komponen biaya tersebut, biaya bahan bakar merupakan komponen terbesar. Secara umum, fungsi biaya bahan bakar dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

persamaan kuadratik dibawah ini

$$F = \sum_{i=1}^n C_i (p_i) = \sum_{i=1}^n a_i + b_i p_i + c_i p_i^2$$

Dimana unit ditunjukkan oleh (i^{th}), P_i adalah keluaran daya, C_i adalah fungsi biaya dan a_i, b_i, c_i adalah koefisien biaya.

Pada masalah economic dispatch dimana fungsi objektif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = \sum_{i=1}^N C_i (P_{Gi}) = \sum_{i=1}^N a_i + b_i P_{Gi} + P_{Gi}^2$$

Inequality constraints ;

$$\sum P_i = P_d$$

Dimana:

- F = Biaya total unit pembangkit (Rp/jam)
- N = Total Unit pembangkit yang beroperasi
- i = Jumlah unit pembangkit
- P_d = Daya permintaan konsumen atau beban (MW)
- P_{gi} = Daya keluaran pembangkit i(MW)
- a,b,c = Biaya konsumsi bahan bakar

2.4 Biaya Pembangkit

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, biaya operasional merupakan komponen terbesar dari total pengeluaran yang harus ditanggung oleh perusahaan penyedia listrik. Secara umum, biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu biaya investasi dan biaya operasi pembangkit.

Biaya investasi tidak dipengaruhi oleh jumlah daya listrik yang dihasilkan, melainkan ditentukan oleh kapasitas terpasang pembangkit listrik yang dimiliki. Biaya ini mencakup pembangunan fasilitas pembangkit, pemasangan jaringan transmisi dan distribusi, serta pengadaan peralatan pendukung sistem lainnya

Sementara itu, biaya operasi mencakup seluruh pengeluaran yang timbul selama proses pengoperasian pembangkit berlangsung. Dalam konteks ini, biaya bahan bakar menjadi komponen dominan yang menyumbang sekitar 60% dari total biaya operasional pembangkit listrik.

2.5 Emisi (Fungsi Biaya Emisi Gas Buang)

Fungsi emisi digunakan untuk meminimalkan total emisi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil, seperti polutan gas partikulat SO_x,

CO₂, dan NO_x. Penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik menghasilkan gas buang yang dilepaskan ke lingkungan. Salah satu hasil emisi, yaitu karbon dioksida (CO₂), berkontribusi terhadap pemanasan global dan berdampak negatif bagi kesehatan lingkungan sekitar. Persamaan fungsi emisi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$FC(p_i) = \sum_{i=1}^N (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad (3.1)$$

Dimana:

$(d_i + e_i P_i)$ = Emission Function

P_i = Daya yang dibangkitkan

2.6 Non Emisi (Fungsi Biaya Ekonomi)

Non emisi hanya mempertimbangkan aspek ekonomi, yaitu meminimalkan total biaya bahan bakar pembangkit. Setiap pembangkit memiliki karakteristik fungsi biaya bahan bakar yang umumnya di representasikan dalam bentuk kuadratik:

$$F_{total} = (p_i) = \sum_{i=1}^N (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i)$$

F_{total} = total biaya bahan bakar (Rp/Jam)

P_i = daya keluaran pembangkit

a_i, b_i, c_i = parameter fungsi biaya pembangkit

N = jumlah total unit pembangkit

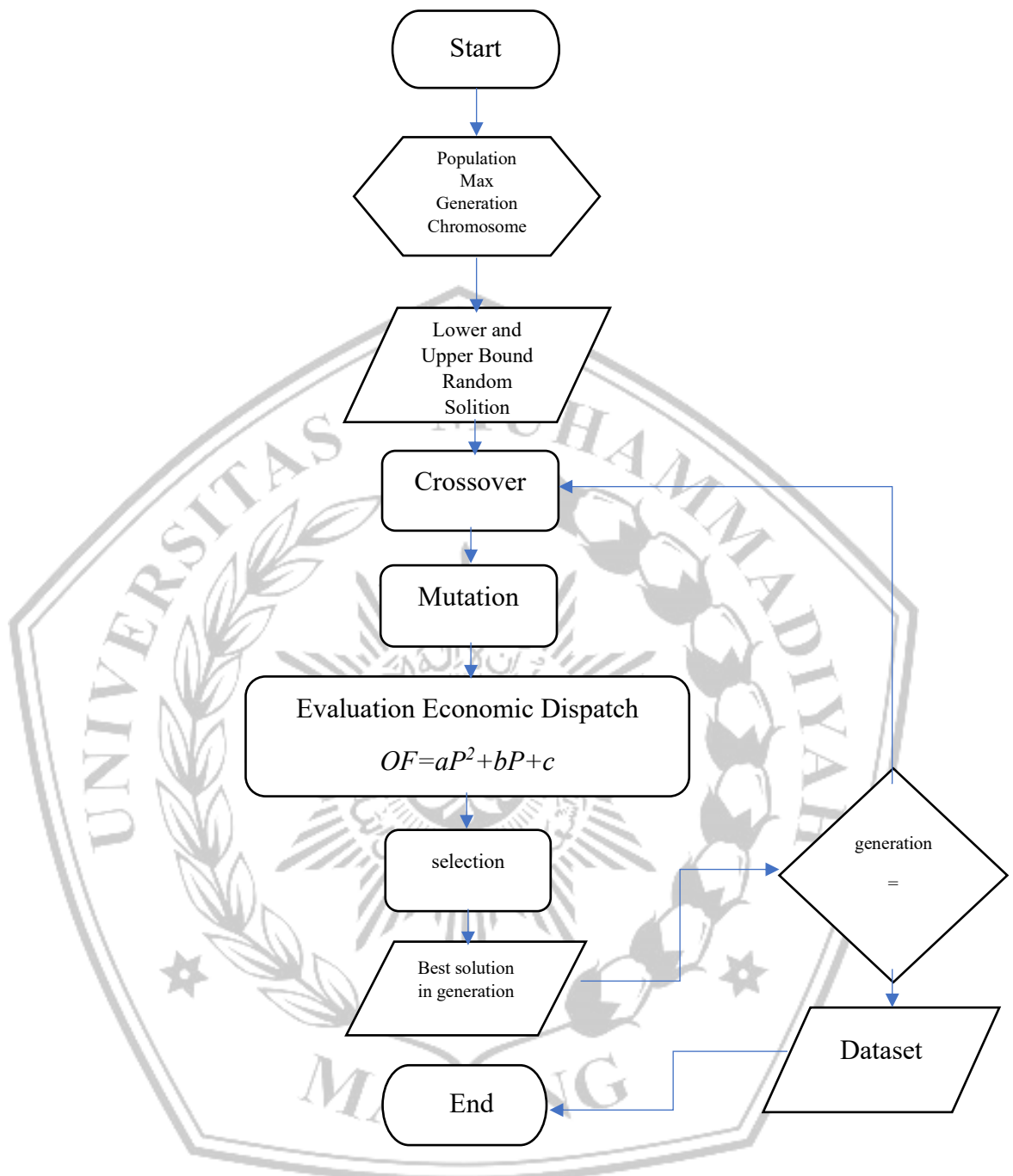
2.7 Metode Algoritma Genetika

Algoritma Genetika merupakan metode pencarian heuristik yang terinspirasi dari proses evolusi biologis. Prinsip dasar dari evolusi tersebut terletak pada keberagaman kromosom yang dimiliki oleh setiap individu, dimana variasi tersebut akan memengaruhi kecepatan reproduksi serta kemampuan adaptasi dan kelangsungan hidup organisme. Algoritma ini termasuk dalam perkembangan kecerdasan buatan (Artificial intelligence/AI) yang mengadopsi teori evolusi Darwin, yang menyatakan bahwa individu terkuat memiliki peluang lebih besar untuk bertahan dalam seleksi alam atau lingkungan yang kompetitif.

Dalam Algoritma Genetika, kromosom direpresentasikan sebagai sebuah string, sedangkan gen diibaratkan sebagai karakter dalam string tersebut. Setiap karakter memiliki posisi tertentu yang disebut lokus (locus) dan nilai spesifik yang dikenal sebagai alel (allele). Beberapa string dapat digabungkan membentuk suatu struktur yang disebut dengan genotipe (genotype). Ketika genotipe ini diartikan (decode), akan dihasilkan fenotipe (phenotype), yaitu salah satu alternatif solusi dari permasalahan yang sedang diselesaikan.

Metode Algoritma Genetika ini juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi biaya pembangkit listrik dengan mengurangi biaya operasional secara signifikan. GA bekerja dengan menemukan nilai optimal dari variabel-variabel pembangkit, seperti jumlah bahan bakar, distribusi daya, dan parameter operasional lainnya, untuk menghasilkan biaya yang paling efisien.

Metode algoritma genetika, setiap pembangkit listrik di Jawa-Bali dianggap sebagai individu dalam populasi. Kemudian, kombinasi individu diacak dan dipilih untuk reproduksi menggunakan teknik seleksi. Selanjutnya, operator genetika seperti crossover dan mutasi digunakan untuk menciptakan generasi baru. Proses ini berlanjut hingga solusi optimal ditemukan. Berikut alur pengerjaan Algoritma Genetika



Gambar 2.1 *Flowchart Algoritma Genetika*

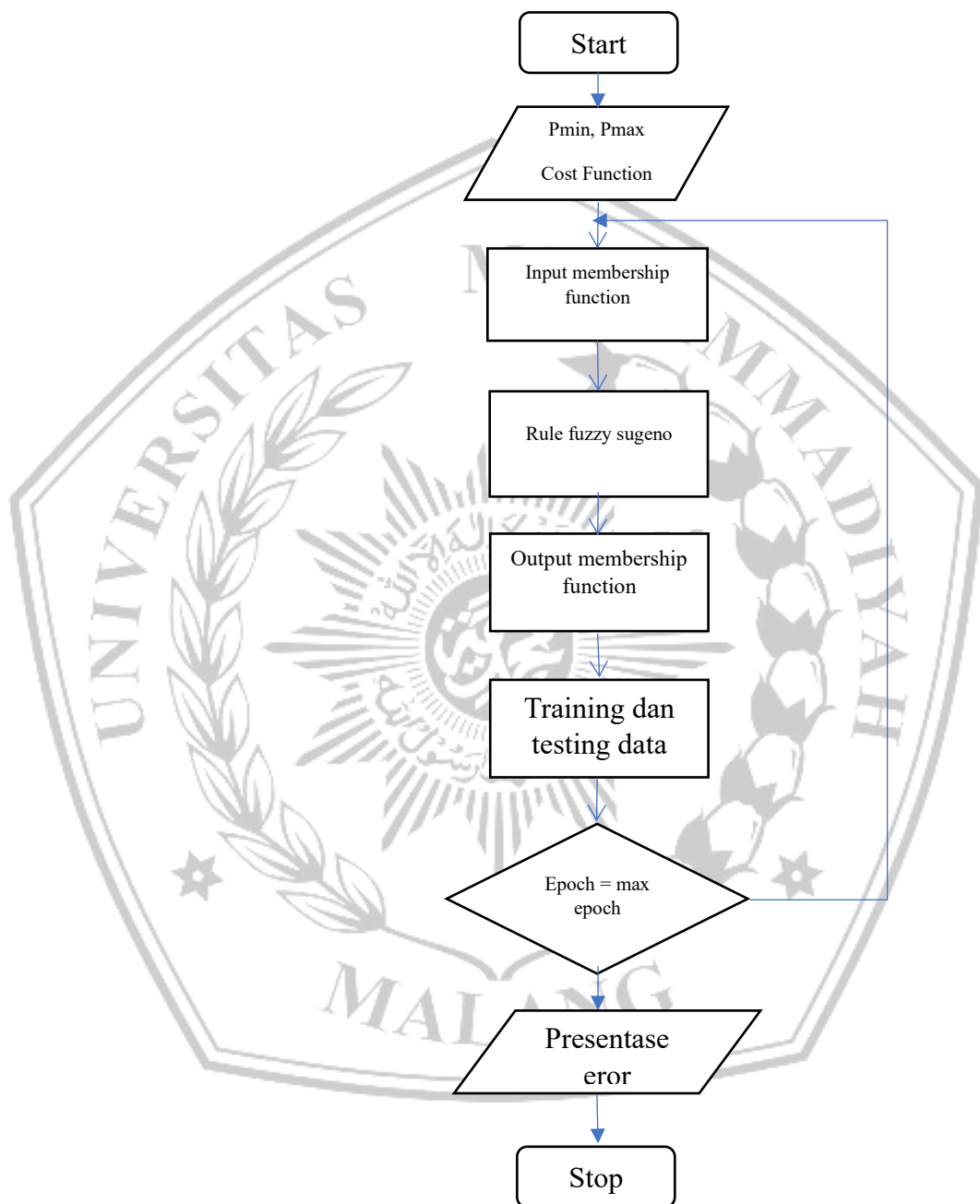
2.8 Metode ANFIS

Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system (ANFIS) merupakan kombinasi dari dua pendekatan kecerdasan buatan, yaitu logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan. System neuro-fuzzy ini didasarkan pada prinsip inferensi fuzzy yang di kembangkan melalui proses pelatihan menggunakan algoritma pembelajaran dari jaringan saraf tiruan. ANFIS dinilai sangat tepat untuk di gunakan dalam optimasi efisiensi biaya pembangkit listrik, mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi performa dan biaya, seperti kondisi operasional, fluktuasi harga bahan bakar, serta tingkat efisiensi peralatan pembangkit

Metode ANFIS, data historis biaya produksi listrik dan konsumsi listrik di daerah tersebut digunakan untuk melatih model inferensi yang dapat memprediksi biaya produksi listrik pada berbagai kondisi permintaan listrik. Dengan memasukkan permintaan listrik saat ini, model ANFIS dapat mengeluarkan estimasi biaya produksi listrik yang optimal. Algoritma ANFIS *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* digunakan untuk menghasilkan model fuzzy yang digunakan untuk memperkirakan biaya operasi minimum pada setiap unit pembangkit pada setiap saat.

Anfis bisa digunakan untuk membantu optimasi operasional dalam pembangkit listrik. Sistem ini dapat mengidentifikasi kombinasi input yang paling efisien dalam menekan biaya seperti pengaturan optimal beban daya, jadwal perawatan optimal yang meminimalkan downtime, penyesuaian penggunaan bahan bakar untuk mencapai efisiensi termal maksimal.

Dalam metode anfis sendiri, terdapat beberapa tahapan dalam pencarian economic dispatch. Yang pertama adalah input data dan akan di proses menggunakan rule fuzzy yang telah ditetapkan. Setelah itu, akan dibentuk model jaringan saraf tiruan dan penentuan realisasi model anfis. Setelah tahapan tersebut, maka sistem akan melakukan perealisasi model anfis hingga mencapai angka yang optimal. Berikut ini alur pengerjaan Anfis



Gambar 2.2 Flowchart Struktur Metode ANFIS