

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Studi Terdahulu

Penelitian pertama, Tri Siswanto, Dwi Hendra Kusuma, Rukslin, Agus Raikhani berisi tentang Desain Optimal *Load Frequency Control* (LFC) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Tujuan penelitian ini diharapkan sebagai referensi untuk memposisikan frekuensi pada daerah kerja secara cepat dan tepat dengan menggunakan *Propotional-Integral-Derivative (PID) Controller*, kemudian untuk penentuan parameter PID nya menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Selanjutnya penelitian dari Novendra Setyawan, Ermanu Azizul Hakim, Zulfatman tentang *Signature PSO : Modified Particle Swarm Optimization* dengan *Fuzzy Signature* dan implementasi pada Optimalisasi Kendali LQR. Mengacu tentang perubahan bobot inerti pada PSO dengan menggunakan *Fuzzy Signature* yang dapat menampung banyak parameter kondisi *swarm* pada PSO.

Selanjutnya Dwi Nur Fitriyanah dan Imam Abadi yang berjudul *Design of Bacterial Foraging Interval Fuzzy Logic Controller on Hybrid Solar Tracker-Ocean Wave Energy Converter* yang menjelaskan tentang sistem kontrol logika fuzzy tipe-2 kemudian diotimalkan menggunakan *Bacterial Foraging Optimization* (BFO) yang diterapkan pada setiap *converter* yang dapat menstabilkan keluaran dari sistem konversi gelombang laut dan menghasilkan energi yang lebih optimal.

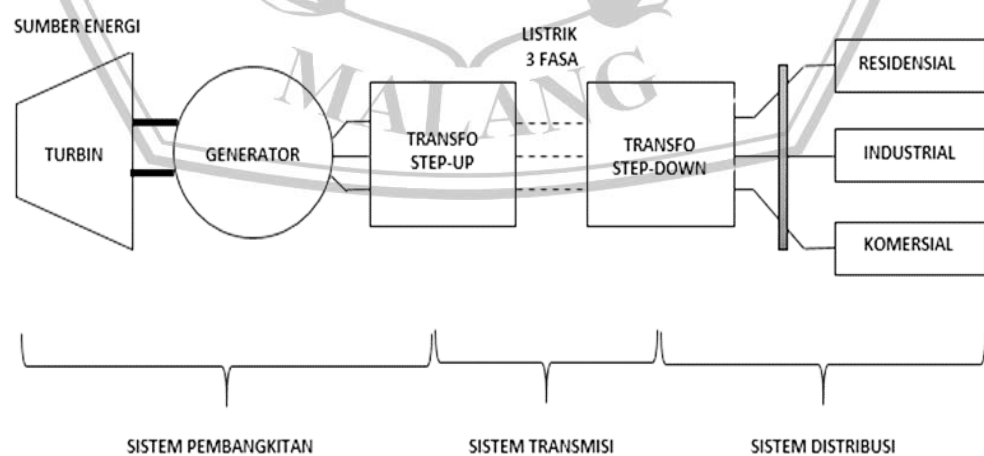
2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sistem yang sangat diperlukan pada masa sekarang dan sangat berpengaruh bagi kebutuhan manusia. Seiring bertambahnya jumlah penduduk permintaan energi listrik pun bertambah, maka dibutuhkan adanya sistem tenaga listrik dan biaya pembangkitan paling ekonomis untuk pemenuhan energi listrik. Suatu sistem tenaga listrik yang baik pasti dibutuhkan penyediaan energi listrik yang berkualitas.

Sistem tenaga listrik berfungsi untuk mendistribusikan listrik dari pembangkit yang ada kemudian disalurkan ke pengguna atau konsumen. Listrik yang digunakan oleh pengguna atau konsumen dapat dihasilkan dari suatu pembangkit dengan tenaga yang diperoleh dari sumber energi pada beberapa wilayah.

Sumber energi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik terbagi menjadi dua, yaitu energi terbarukan seperti tenaga angin, tenaga surya, tenaga mikrohidro. Dan yang kedua energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Pembangkit listrik menghasilkan daya listrik berupa daya aktif dan daya reaktif. Daya reaktif dihasilkan oleh eksitasi pada generator, sedangkan daya aktif dihasilkan dari turbin.

Listrik dari sebuah pembangkit dapat sampai menuju ke konsumen harus melalui beberapa tahapan yaitu : daya listrik akan dikirim dari pembangkit melalui unit-unit pengaman dan trafo untuk menaikkan tegangan yang kemudian akan disalurkan melalui saluran transmisi untuk menurunkan tegangan sehingga dapat disalurkan melalui sistem distribusi sampai menuju ke konsumen. Akibat jarak antara sumber energi atau pembangkit ke konsumen sangat jauh maka terdapat adanya rugi-rugi daya dan drop tegangan pada saluran. Dan juga salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas penyediaan daya listrik tersebut adalah karena perubahan beban. Untuk memahami sistem tenaga listrik, secara umum dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga bagian yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik.[7] Sistem pembangkitan merupakan tahapan untuk membangkitkan tenaga listrik dengan mengubah atau mengkonversi energi yang berasal dari sumber energi yang terdapat pada wilayah tersebut, misalnya : air, batu bara, panas bumi, minyak bumi, mikrohidro, dan lain-lain menjadi energi listrik dengan menggunakan tenaga mekanik berupa generator.

Tahapan selanjutnya adalah sistem transmisi yang merupakan tahapan untuk menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan atau sumber energi ke pusat beban agar dapat didistribusikan ke beban maka dibutuhkan transformator step-up untuk mengubah tegangan rendah dari sumber energi menjadi tegangan tinggi.

Selanjutnya sistem distribusi merupakan tahapan untuk mendistribusikan atau menyalurkan energi listrik ke konsumen. Pada tahapan ini tegangan yang akan disalurkan ke beban harus tegangan rendah maka dibutuhkan Transformator step down yang dapat mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah agar dapat disalurkan sampai ke beban.

Beban merupakan peralatan listrik di lokasi konsumen yang memanfaatkan energi listrik dari sistem tenaga listrik tersebut.[8] Beban terbagi menjadi tiga bagian, yaitu : beban residensial merupakan beban listrik dalam kegiatan rumah tangga, beban komersial merupakan beban listrik untuk menunjang suatu kegiatan usaha, kemudian beban industri merupakan beban listrik untuk menunjang suatu proses produksi tertentu.[9]

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit yang menggunakan sumber energi air sebagai penggerak turbin dari sebuah pembangkit seperti irigasi, sungai, atau air terjun. Untuk pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memiliki beberapa komponen, yaitu : air, turbin, kemudian generator. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) mendapatkan sumber energi dari air yang memiliki ketentuan ketinggian yang berbeda.

Bila kapasitas air besar maka semakin besar energi yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Istilah pembangkit mikrohidro adalah penggunaan untuk sumber energi yang menggunakan air dalam skala kecil. Perbedaan istilah antara Mikrohidro dengan Minihidro adalah pada daya yang dihasilkan dari proses pembangkitannya. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 100 W, sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 100 sampai 5000 W. [10]

Proses pembangkitan energi listrik dimulai dari arus air yang mengalir dari ketinggian kemudian memutar turbin dan menggerakkan generator untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator dari pembangkit ini menghasilkan frekuensi dan tegangan listrik yang bergantung pada kecepatan putar generator. Dan kecepatan tersebut dipengaruhi oleh beban. Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator mikrohidro sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban.

Tabel 2.1 Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Parameter	Keterangan
T_b	Respon waktu turbin air (s)
K_g	Penguatan pengatur generator induksi (s)
T_g	Respon waktu generator induksi (s)
K_1	Konstanta penguatan <i>Error Detection</i>
K_2	Konstanta penguatan deviasi frekuensi
K_3	Penguatan pengatur <i>Error Detection</i>
T	Respon waktu <i>Error Detection</i>
T_s	Konstanta waktu governor (s)
K_s	Penguatan pengatur governor

2.4 Kestabilan Tegangan

Perbedaan kuantitas penggunaan beban pada setiap waktu menyebabkan kondisi tidak seimbang pada generator. Beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan motor dan generator panas sehingga menyebabkan naiknya rugi-rugi daya.

Untuk menanggulangnya dibutuhkan kestabilan tegangan. Kestabilan tegangan bertujuan agar tegangan tetap pada kondisi stabil dan juga mempertahankan tegangan agar stabil di semua bus sistem dalam kondisi normal pada saat terjadi gangguan maupun setelah terjadi gangguan sehingga rugi-rugi daya tidak terlalu signifikan dalam sistem.

Kestabilan tegangan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu berdasarkan besarnya gangguan maupun waktu terjadinya gangguan. Gangguan tersebut juga di bedakan menjadi dua gangguan, yaitu gangguan besar dan gangguan kecil. Gangguan besar meliputi : hubungan pendek, pemadaman saluran, maupun kegagalan sistem. Untuk gangguan kecil yaitu meliputi : karakteristik beban dan kontrol terus menerus atau terputus-putus dalam mekanisme.

2.5 Analisa Aliran Daya

Analisa terhadap sistem tenaga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas energi listrik, dikarenakan analisa sistem tenaga mencakup beberapa permasalahan utama dalam sistem tenaga yaitu aliran beban, hubung singkat, stabilitas dan pengaman. Keempat masalah tersebut adalah faktor penting untuk meningkatkan kualitas energi listrik yang disalurkan. Analisa Aliran daya merupakan salah satu cara untuk mengetahui besarnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu saluran pada sistem pembangkit hingga sampai ke beban.

Tujuan dari analisa daya adalah untuk mengetahui komponen apa saja yang terpasang pada sistem tenaga listrik yang dibangun, kemudian untuk mengetahui besar tegangan pada masing-masing bus pada sistem tenaga listrik, untuk menghitung besarnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang mengalir pada setiap saluran, kemudian untuk menghitung rugi-rugi daya yang dihasilkan dan mengoptimalkan agar sistem dalam keadaan stabil, selain itu juga dapat menjadi acuan dalam melakukan perbaikan dan pergantian komponen pada susatu sistem.

Perhitungan Aliran daya tersebut sangat dibutuhkan untuk menganalisa kondisi sistem tenaga listrik pada saat pembangkitan maupun pembebanan, sehingga diperlukan informasi mengenai aliran dalam kondisi normal maupun saat terjadi lonjakan beban.

Hasil dari perhitungan tersebut dapat digunakan untuk mengatur aliran tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (*power factor*) pada jaringan, kapasitas untuk kawat penghantar, dan juga rugi-rugi daya yang terdapat dalam sistem. Selain itu juga digunakan untuk memperluas atau mengembangkan jaringan, dengan menentukan lokasi untuk penambahan bus untuk beban yang baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru.

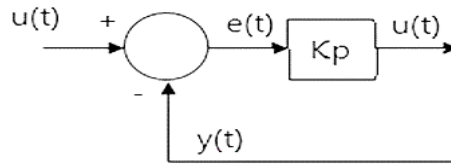
Dan juga untuk perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik. [11] Jadi analisa sistem tenaga sangat dibutuhkan untuk perancangan sebuah pembangkit dan juga sistemnya mulai dari sumber tenaga sampai ke beban.

2.6 Kendali PID (*Propotional-Integral-Derivative*)

Parameter pada kendali PID berfungsi untuk menentukan sifat dan respon sistem. Kendali PID adalah gabungan dari tiga pengendali, yaitu pengendali propotional, kemudian pengendali Integral, dan Pengendali Derivative. Pengendali-pengendali tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Jadi tujuan penggabungan kinerja kendali PID adalah untuk saling memperbaiki dan melengkapi masing-masing pengendali. Keluaran dari kendali PID secara umum dapat dilihat pada persamaan berikut.

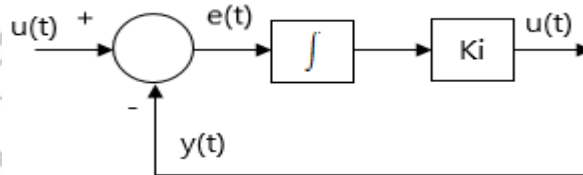
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-1)$$

Dapat dijelaskan bahwa $u(t)$ merupakan input kontroller dan K_p merupakan konstanta propotional kemudian K_i merupakan konstanta integral dan K_d merupakan konstanta derivative. Setiap kontroller memiliki kegunaannya masing-masing dan saling melengkapi. Kontroller propotional digunakan untuk memperkuat sinyal kesalahan $e(t)$ sehingga keluaran sistem lebih cepat mencapai titik referensi. Dapat dilihat pada diagram blok gambar 2.3.



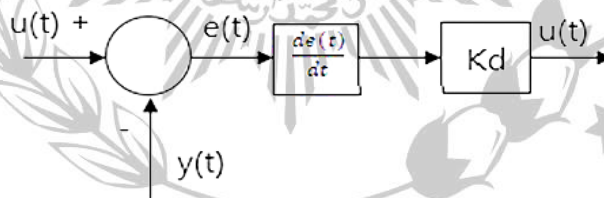
Gambar 2.2 Diagram Blok Kontroller *Proportional*

Kemudian kontroller Integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan pada keadaan *steady-state* yang biasanya diperoleh dari kontrol proportional, sehingga memiliki keadaan *steady-state* nol. Kontroller Integral dapat dilihat pada diagram blok gambar 2.4



Gambar 2.3 Diagram Blok Kontroller *Integral*

Kemudian kontroller Derivative digunakan untuk pengendali laju sistem tetapi juga tidak dapat menghilangkan kesalahan pada kondisi *steady-state* sama seperti kontroller proportional. Kontroller ini menyebabkan adanya redaman pada sistem sehingga lonjakan lebih kecil. Kontroller Derivative dapat dilihat pada diagram blok gambar 2.5



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontroller *Derivative*

2.7 *Bacterial Foraging (BFO)*

Optimasi menggunakan *Bacterial Foraging* adalah metode yang melihat dari perilaku mencari makan pada bakteri seperti *Escherichia Coli*, *Myxococcus Xanthus*. Sekelompok bakteri akan bergerak atau menjauhi sinyal tertentu. Strategi pencarian makan bakteri terdiri dari 4 proses, yaitu kemosensitis, reproduksi, eliminasi, dan berkerumun. [12]

Strategi ini mempunyai kemampuan mencari makan yang lebih baik dan dapat mengeliminasi atau membentuk spesies yang memiliki kemampuan buruk. Kemudian spesies yang lebih baik akan disebarakan agar memiliki kemampuan mereproduksi spesies yang lebih baik lagi di generasi selanjutnya. Pergerakan bakteri dapat dijabarkan menjadi dua cara, yaitu berenang dan jatuh bersama-sama yang disebut dengan kemotaksis. Berenang dalam artian bakteri akan bergerak ke arah yang sudah ditentukan, dan dikatakan jatuh jika bergerak kearah yang berbeda. Supaya bakteri dapat mencapai tujuan makanannya, maka bakteri yang paling optimal harus menarik bakteri lain sehingga dapat bersama-sama menuju lokasi tujuan dengan lebih cepat. Kelompok bakteri tersebut memiliki kepadatan atau membuat kerumunan yang tinggi.

Kumpulan bakteri yang sudah berevolusi dan melalui berbagai tahap akan dikelompokkan kembali. Bakteri terbaik akan akan menggantikan bakteri yang akan dieliminasi sehingga akan membuat populasi yang konstan. Pada saat bakteri berevolusi akan terjadi eliminasi dan penyebaran ke lingkungan yang baru dekat dengan lokasi makanannya. Dalam penerapan pada dunia optimasi, perilaku ini dapat membantu untuk mengurangi proses stagnasi atau terjebak pada optimasi lokal.

Untuk memperbaiki performansi sistem tenaga listrik maka inisialisasi parameter yang dibutuhkan yaitu :

Tabel 2.2 Parameter *Bacterial Foraging* (BFO)

Parameter	Keterangan
N_{bac}	Jumlah Bakteri
N_{swim}	Panjang Langkah <i>Swimming</i>
N_{chem}	Jumlah Iterasi Proses <i>Chemotactic</i>
N_{rep}	Jumlah Reproduksi
N_{ed}	Jumlah <i>Elimination</i> dan <i>Disperal</i>
P_{ed}	Probabilitas <i>Elimination</i> dan <i>Disperal</i>
P	Lokasi maasing-masing Bakteri
Koefisien	$d_{attractant}, w_{attractant}, h_{repellant}, w_{repellant}$
Nutrisi	Rugi Daya

Fungsi Obyektif digunakan untuk mengecilkan rugi-rugi daya pada sistem yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\sum P_{loss} = \sum_{k=1}^{nl} G_k [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}] \quad (2-2)$$

Keterangan :

nl = jumlah saluran transmisi

G_k = konduktansi saluran ke k

V_i, V_j = besar tegangan pada bus i dan j pada saluran ke k

θ_{ij} = sudut fasa tegangan pada bus i dan j

Total deviasi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$VD = \sum_{k=1}^{nl} |(V_k - V_k^{ref})| \quad (2-3)$$

Keterangan :

VD = Total Deviasi tegangan

nl = jumlah bus

V_k^{ref} = 1.0 p.u

Maka fungsi obyektif (fitness) dirumuskan sebagai berikut :

$$F = P_{loss} + VD \quad (2-4)$$

2.8 Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan metode yang dikembangkan oleh Eberhart dan Kennedy yang diinisialisasi dengan populasi sekawanan burung secara acak. Partikel bergerak melalui ruang untuk mencari tujuan baru. Kemudian menghitung fitness untuk setiap partikel. Setiap partikel memiliki vector posisi dan kecepatan agar memperoleh posisi terbaik (pbest). Kemudian membandingkan nilai fitness yang baru dengan nilai fitness sebelumnya. Setelah itu menentukan nilai terbaik secara global (gbest). Setelah menemukan nilai terbaik yang memenuhi gbest maka dihasilkan kecepatan dan posisi terbaik.

Fungsi objektif yang digunakan adalah dengan *Integral Time Absolut Error* (ITAE). [13]

$$ITAE = \int_0^t t |\Delta\omega(t)| dt \quad (2-5)$$

Untuk inialisasi parameter PSO yang digunakan yaitu jumlah partikel, maximum iterasi, jumlah variable, C_2 (*Sosial Constant*), C_1 (*Cognitive Constant*), W (Momentum Inersia).

2.9 *Bacterial Foraging Particle Swarm Optimization (BF-PSO)*

Metode ini adalah penggabungan dari algoritma *Bacterial Foraging* (BFO) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Metode ini dapat memberi solusi untuk masalah akurasi dan juga melakukan perubahan sehingga dapat mengurangi biaya pemesanan dan meningkatkan efisiensi.

Menggabungkan kedua metode tersebut dapat menemukan solusi terbaru dengan cara eliminasi dan penyebaran. Untuk inialisasi, pengguna memilih $S, N_s, N_c, N_{re}, N_{ed}, P_{ed}, C_1, C_2, R_1, R_2$ dan $c(i), i = 1, 2 \dots S$. Juga inialisasi posisi $P_{n,1,1,1}^i, i = 1, 2 \dots S$ dan kecepatan diinisialisasi secara acak. Metode ini menggunakan strategi pencarian makan bakteri yaitu kemotaksis, reproduksi, eliminasi, dan berkerumun yang diorientasikan oleh PSO.

Tabel 2.3 Parameter *Bacterial Foraging Particle Swarm Optimization*

Parameter	Keterangan
p	Dimensi ruang pencarian
S	Jumlah bakteri dalam populasi
S_r	Setengah dari jumlah total bakteri
N_s	Jumlah maksimum panjang renang
N_c	Langkah-langkah kemotaktik
N_{re}	Jumlah langkah reproduksi
N_{ed}	Peristiwa eliminasi dan penyebaran
P_{ed}	Eliminasi dan penyebaran dengan probabilitas
$c(i)$	Ukuran langkah yang diambil dalam arah acak
C_1, C_2	Parameter acak PSO
R_1, R_2	Parameter acak PSO

Metode ini telah menunjukkan keunggulan dalam aplikasi penyetelan controller derivatif, integral, dan proportional. Dalam metode ini, arah pencarian perilaku jatuh untuk setiap bakteri berorientasi pada lokasi terbaik individu dan lokasi terbaik global. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ini berkinerja jauh lebih baik daripada *Bacterial Foraging* untuk hampir semua fungsi uji. Hal ini menunjukkan bahwa *Bacterial Foraging* yang berorientasi pada strategi *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat meningkatkan kemampuan optimasi globalnya. Pada tugas akhir ini menggunakan Algoritma yang diterapkan pada masalah tuning kontroler PID dan dibandingkan dengan algoritma *Bacterial Foraging* dan *Particle swarm* sehingga menghasilkan optimasi lebih baik.

