

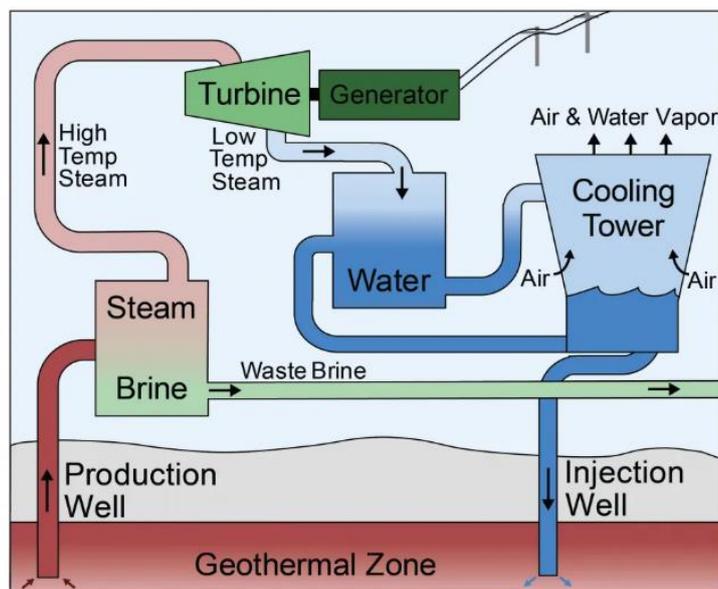
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah merupakan pembangkit listrik yang menggunakan uap panas dari dalam bumi sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan turbin. Dengan kondisi geografis di Indonesia, terdapat potensi panas bumi yang besar yang dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya. Pembangkit listrik tenaga panas bumi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sumber energi primer lainnya, salah satunya adalah termasuk pembangkit yang bersih dan ramah lingkungan. Tenaga panas bumi termasuk salah satu yang dianggap sebagai sumber energi terbarukan karena proses eksplorasi dan pengolahan panasnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan panas bumi itu sendiri.

PT. Indonesia Power PLTP Kamojang POMU terletak di Desa Laksana, Ibum, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat, yang mencakup area sekitar 133.275 m<sup>2</sup>. Di kawasan ini juga terdapat instalasi listrik yang merupakan aset PT. PLN (Persero) UPT Bogor, yaitu switch yard 150 kV dan gardu induk GIS (gas insulated switchgear) 150 kV [2]. Gambar 2.1 merupakan frepresentasi dari Prinsip kerja PLTP .



Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTP

## 2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan perangkat yang memiliki fungsi untuk mengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Mengacu pada hukum Faraday “Apabila bahan konduktor (kumparan) bergerak melalui medan magnet, maka konduktor (kumparan) tersebut akan menghasilkan listrik secara induksi. Besarnya gaya gerak listrik yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah gerak yang melalui konduktor (kumparan)” sehingga generator bekerja dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik atau fluksi yang dari eksitasi proses tersebut generator dapat menghasilkan listrik. Generator sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan medan rotor diberi arus searah sehingga mendapatkan tarikan dari kutub medan stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama [2]. Pada suatu pembangkit energi listrik yang menggunakan generator sinkron ada dua hal dasar yang perlu diperhatikan dimana hal tersebut harus dilakukan yakni pengaturan tegangan keluaran yang berhubungan dengan daya reaktif dan frekuensi keluaran yang berhubungan dengan daya aktif generator. Pada prinsipnya ketika terjadi kenaikan beban maka akan terjadi penurunan tegangan keluaran dan ketika beban mengalami penurunan maka akan terjadi kenaikan tegangan keluaran. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan suatu sistem terkendali yang dapat mengatur tegangan keluaran dengan cara mengatur arus eksitasi [3]. Dampak yang dapat diperlihatkan ketika terjadi penurunan dan kenaikan nilai tegangan keluaran generator akan berpengaruh pada kapabilitas generator mengacu pada referensi under eksitasi dan over eksitasi. Untuk mengatur tegangan keluaran generator dapat memanfaatkan sistem AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dengan mengatur sudut penyalan *thyristor* pada rangkaian konverter [4].

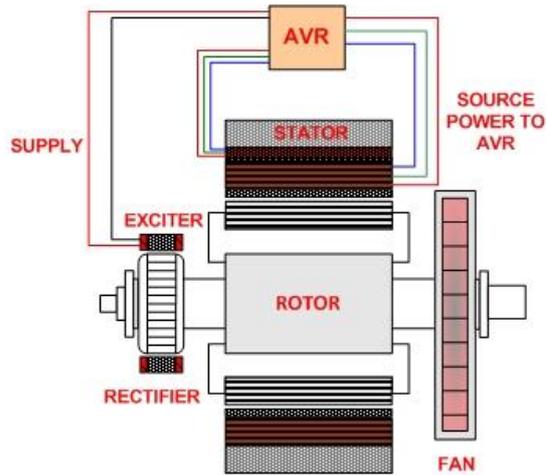
Didalam aplikasinya generator sinkron memiliki sistem yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik sehingga dapat menghasilkan tenaga listrik, sistem tersebut dinamakan dengan sistem eksitasi. Dalam perkembangannya, sistem eksitasi saat ini cenderung menggunakan metode tanpa sikat, sistem eksitasi dengan singkat memiliki resiko seperti loncatan api ketika berada di putaran tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut digunakan rotating diode [5]. Berikut merupakan jenis sistem eksitasi, yang dapat disebutkan :



tanpa sikat, output dari PMG dapat berupa satu atau tiga fasa. Besarnya arus eksitasi exciter dapat dikontrol dengan mengatur eksitasi melalui *rectifier* pada modul regulator AVR. Akibatnya, tegangan keluaran generator utama akan langsung berubah. Namun, kerusakan pada beberapa dioda atau korsleting atau gangguan arde pada rotor dapat menyebabkan masalah. Solusinya adalah mendapatkan yang baru, tetapi unitnya harus dimatikan terlebih dahulu. Akibatnya, medan magnet generator dapat terdistorsi, dan unit pembangkit dapat mengalami getaran yang berlebihan [6].

### **2.3 Automatic Voltage Regulator**

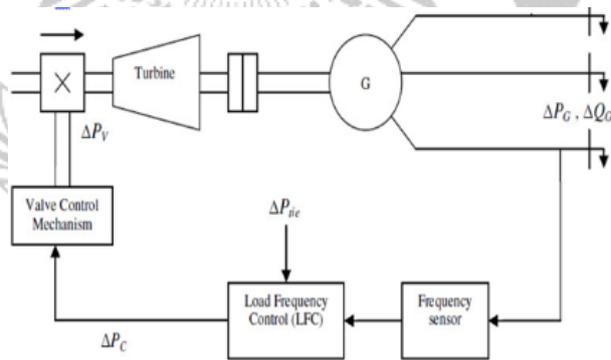
Generator sinkron menghasilkan keluaran tegangan listrik yang relatif tidak stabil, agar dapat menghasilkan tegangan yang stabil maka di perlukan perangkat yang dapat mengendalikan kestabilan tegangan generator sinkron yaitu *Automatic Voltage Regulator* (AVR) [7]. AVR berfungsi sebagai pengendali besarnya eksitasi medan DC yang dihasilkan dari generator. AVR secara otomatis akan menaikkan atau menurunkan pembangkitan medan sehingga tegangan kembali normal bilamana terjadi kelebihan atau kekurangan eksitasi yang dipengaruhi oleh beban. Arus yang harus ditangani oleh AVR relatif lebih kecil dalam rangkaian medan pengeksitasi daripada dalam rangkaian medan generator, sehingga AVR dapat digunakan sebagai pengamanan pada frekuensi 50Hz dan tegangan output 220V pada beban tiap rumah tangga sebagai salah satu syarat untuk menghasilkan tenaga listrik yang berkualitas. Pada aplikasinya, perubahan beban akan mengubah tegangan yang dihasilkan oleh generator. Tegangan yang dihasilkan akan berkurang seiring dengan bertambahnya beban pada generator sinkron, begitu pula sebaliknya dengan berkurangnya beban. Akibatnya, diperlukan stabilitas tegangan AVR. Berikut Gambar 2.3 AVR dan Exciter pada Generator;



Gambar 2.3 AVR dan Exciter pada Generator

## 2.4 Load Frequency Control

Nilai daya aktif dan frekuensi suatu sistem berhubungan erat, tetapi beban sistem berupa daya aktif selalu berubah. Ini berarti suplai daya aktif sistem harus sesuai dengan beban daya aktif untuk menjaga frekuensi dalam batas toleransi yang dapat diterima [8]. Ukuran kopling penggerak generator dapat diubah untuk mengatur penyesuaian daya aktif [9]. Gambar 2.4 menggambarkan bagaimana LFC (*Load Frequency Control*) mengontrol pengaturan daya aktif



Gambar 2.4 Diagram Blok *Load Frequency Control*

## 2.5 Model Predictive Controller

MPC didasarkan pada optimalisasi model pembangkit listrik yang bersifat iteratif dan terbatas pada cakrawala. Pada saat  $t$ , keadaan pabrik saat ini diambil sampelnya dan strategi pengendalian minimalisasi biaya dihitung (melalui algoritma minimalisasi numerik) untuk jangka waktu yang relatif singkat di masa

depan:  $[t, t+T]$ . Secara khusus, penghitungan online atau *on-the-fly* digunakan untuk mengeksplorasi lintasan keadaan yang berasal dari keadaan saat ini dan menemukan (melalui solusi persamaan *Euler – Lagrange*) strategi pengendalian yang meminimalkan biaya hingga waktu  $t+t$ . Hanya langkah pertama dari strategi pengendalian yang diterapkan, kemudian keadaan pabrik diambil sampelnya lagi dan penghitungan diulang mulai dari keadaan baru saat ini, menghasilkan kendali baru dan jalur keadaan prediksi baru. Cakrawala prediksi terus digeser ke depan dan oleh karena itu MPC disebut juga kendali horizon surut. Meskipun pendekatan ini belum optimal, namun dalam praktiknya telah memberikan hasil yang sangat baik. Banyak penelitian akademis telah dilakukan untuk menemukan metode cepat penyelesaian persamaan tipe *Euler – Lagrange*, untuk memahami sifat stabilitas global dari optimasi lokal MPC, dan secara umum untuk meningkatkan metode MPC [10].

Kontrol prediktif model adalah algoritma kontrol multivariabel yang menggunakan:

- a) Model proses dinamis internal
- b) Fungsi biaya  $J$  pada horizon surut
- c) Algoritma optimasi yang meminimalkan fungsi biaya  $J$  menggunakan input kontrol  $u$

Contoh fungsi biaya kuadrat untuk optimasi diberikan oleh:

$$J = \sum_{i=1}^N w_{x_i} (r_i - x_i)^2 + \sum_{i=1}^M w_{u_i} \Delta u_i^2 \quad (1)$$

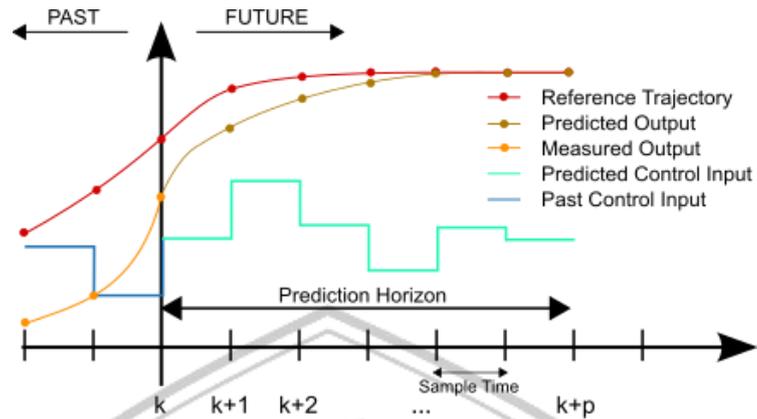
$x_i$  : *controlled variabel*

$r_i$  : *reference variabel*

$u_i$  : *manipulated variabel*

$w_{x_i}$  : *koefisien bobot berdasarkan relative importance*

$w_{u_i}$  : *koefisien bobot penalizing berdasarkan relif big chance variabel*



Gambar 2.5 Diagram MPC

## 2.6 Particle Swarm Optimization

PSO adalah suatu metode algoritma berbasis populasi dari sekumpulan hewan yang mencari lokasi makanan dengan teknik optimasi yang relatif lebih optimal [11]. PSO pada dasarnya dikembangkan dengan representasi posisi setiap partikel dalam sumbu XY, kemudian dari posisi vektor koordinat tersebut dipengaruhi oleh kecepatan dari tiap partikel dengan kecepatan dan dievaluasi oleh fungsi obyektif dan kecepatannya dinyatakan dengan  $V_x$  dan  $V_y$ [12]. Setiap partikel mengetahui posisi XY dan nilai terbaiknya, dalam aplikasinya Setiap partikel yang dapat mengetahui nilai terbaik sejauh ini dalam kelompok disebut dengan ( $g_{best}$ ) dan sekelompok dari partikel tersebut disebut dengan ( $P_{best}$ ). Tiap Informasi yang didapat dari partikel tentang bagaimana respon partikel lain yang berada disekitarnya dalam mengubah posisinya, dapat menggunakan informasi Jarak antara posisi saat ini( $x, y$ ) dan kecepatan saat ini ( $V_x, V_y$ ). Kecepatan setiap partikel dapat dimodifikasi dengan persamaan berikut:

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + C_1 * rand (P_{best,i}^k - s_i^k) - C_2 * rand_2 (g_{best,i}^k - s_i^k) \quad (2)$$

$S_i^k$  = Posisi partikel  $i$  terhadap iterasi  $k$

$V_i^k$  = Kecepatan partikel  $i$  terhadap iterasi  $k$

$p_{best,i}^k$  = partikel terbaik  $i$  terhadap iterasi  $k$

- $g_{best,i}^k$  = Kumpulan partikel  $i$  terhadap iterasi  $k$
- $C1, C2$  = Social Parameter
- $w$  = bobot tiap partikel
- $rand1, rand2$  = random number sebagai distribusi partikel antara  $[0,1]$  tiap iterasi

Persamaan dari fungsi dari bobot itu sendiri dapat dituliskan berikut :

$$w = \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (3)$$

Dimana :

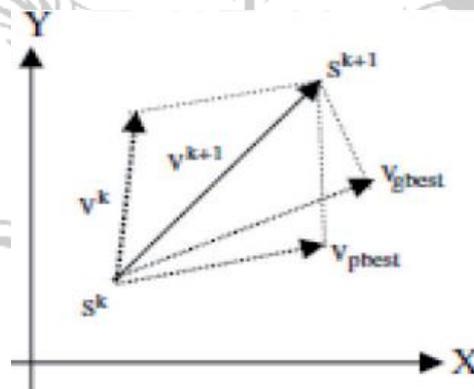
$w_{max}$  = Initial Velocity

$w_{min}$  = Final Velocity

$iter_{max}$  = Max Iteration number

Berdasarkan persamaan (2) dan (3), dapat di simpulkan bahwa kecepatan tiap partikel dapat di perhitungkan, namun untuk posisi persamaannya dapat di tuliskan sebagai berikut :

$$S_i^{k+1} = S_i^k + V_i^{k+1} \quad (4)$$



Gambar 2.6 PSO Concept Searching Point