



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas<sup>1</sup>

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan sebuah pembangkit energy listrik yang menggunakan peralatan/mesin turbin gas sebagai penggerak generatornya. Turbin gas dirancang dan dibuat dengan prinsip kerja yang sederhana dimana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik atau energy lainnya sesuai dengan kebutuhannya.

Adapun kekurangan dari turbin gas adalah sifat korosif pada material yang digunakan untuk komponen-komponen turbinnya karena harus bekerja pada temperature tinggi dan adanya unsur kimia bahan bakar minyak yang korosif (sulfur, vanadium dll). Pada dasarnya turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk kompresor juga tetap, perubahan beban turbin yang tidak konstan dengan aliran bahan bakar tetap, sehingga suhu gas buang juga berubah mengikuti perubahan turbin gas. <sup>2</sup>Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, PLTG merupakan pembangkit yang cukup sederhana yang terdiri atas empat komponen utama yaitu:

- a. Kompresor
- b. Ruang Bakar
- c. Turbin Gas
- d. Generator

<sup>3</sup>Gas-Turbine engine (Turbin Gas) adalah suatu pesawat yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja untuk memutar turbin dengan pembakaran internal. Di dalam turbin gas energi kinetic dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya.

---

<sup>1</sup> Hestikah Eirene Patoding dan Matius Sau, Energi dan Operasi Tenaga Listrik (Yogyakarta:DEEPUBLISH, 2019), Hal.20.

<sup>2</sup> Matius Sau, Tranmisi Daya Elektrik(Yogyakarta: ANDI, 2015), Hal.4-5.

<sup>3</sup> Soetyono Iskandar dan Djuanda, Konversi Energi(Yogyakarta: DEEPUBLISH, 2017), Hal. 36.



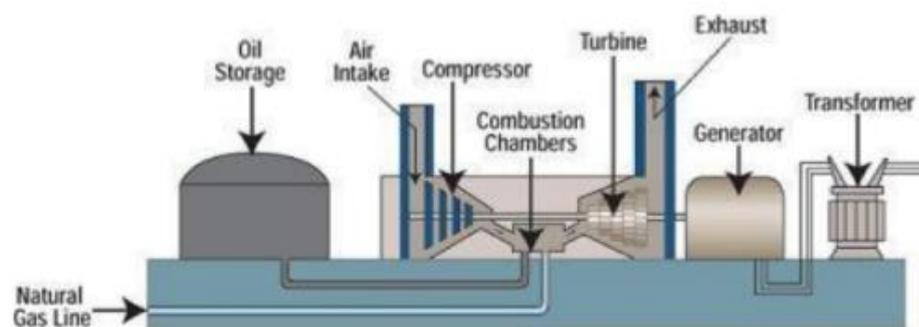
Adapun beberapa aspek yang harus diperhatikan yaitu diantaranya tekanan turbin, temperatur turbin, dan putaran turbin sehingga untuk mencari rata-ratanya dalam satu hari dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \dots\dots\dots (pers 2.1)$$

Dimana :  $\bar{x}$  = Data yang dicari  
 $x_{1-n}$  = Data yang ke....  
 $N$  = Banyaknya Jumlah

## 2.2 Prinsip Kerja PLTG<sup>1</sup>

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) mempunyai beberapa peralatan utama seperti: Turbin gas (*Gas Turbine*), Kompresor (*Compressor*), Ruang Bakar (*Combuster*), Udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk ke dalam *compressor* melalui pintu, udara ditekan masuk ke dalam *compressor*, Udara ditekan masuk ke dalam ruang bakar dengan tekanan 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan di bakar dalam ruang bakar dengan temperatur 2000 - 3000° F. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi termal dengan temperatur dan tekanan yang tinggi suhunya kira-kira 900°C.



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

<sup>1</sup> Hestikah Eirene Patoding dan Matius Sau, Energi dan Operasi Tenaga Listrik (Yogyakarta:DEEPUBLISH, 2019), Hal.20-21.



Dari energi panas yang dihasilkan inilah kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dimana didalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut temperature dan tekanan mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik.

Adapun sebagai pendukung pusat listrik tenaga gas ini digunakan beberapa alat bantu (*auxiliary equipments*) untuk membantu proses siklus turbin gas berjalan dengan baik, seperti :

1. Sistem Pelumas
2. Sistem Bahan Bakar
3. Sistem Pendingin
4. Sistem Udara Kontrol
5. Sistem Hidrolik
6. Sistem Udara Tekan
7. Sistem Udara Pengkabutan

### 2.3 Sistem Proteksi<sup>4</sup>

Sistem Proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan defenisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20.

Sesuai dengan perkembangan teknologi , hingga saat ini rele proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Rele Elektromekanis
2. Rele Statis
3. Rele digital
4. Rele numeric

---

<sup>4</sup>Bonar Pandjaitan, Proteksi Sistem Tenaga Listrik(Yogyakarta: ANDI, 2012), Hal. 4-5.



Prinsip kerja rele-rele tersebut pada dasarnya adalah sama namun sesuai dengan teknologi yang digunakan, kekmampuannya dan ketelitian masing-masing rele berbeda-beda. Sebagaimana sudah disebut di atas, dalam praktiknya tidak mungkin membuat sebuah rele yang dapat berfungsi untuk mengamankan semua jenis gangguan hanya dengan menggunakan satu besaran tunggal. Tetapi suatu sistem proteksi yang lengkap perlu didesain dapat bekerja atas kombinasi beberapa besaran listrik. Para teknisi sistem proteksi bisa merancang sistem proteksi mereka sesuai bentuk dan jenis jaringan, kondisi operasi, jenis gangguan, sistem pentanahan dan lain sebagainya yang perlu dipelajari terlebih dahulu sehingga diperoleh sistem proteksi yang paling tepat.

### **2.3.1 Syarat Sistem Proteksi<sup>4</sup>**

Sistem Proteksi tentuharuslah memiliki ketentuan-ketentuan yang berlaku diantaranya yaitu:

#### **1. Faktor Keandalan**

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu faktor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan jaringan sistem tenaga listrik.

#### **2. Selektifitas**

Selektifitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan rele proteksi untuk melakukan tripping secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain sistem proteksi tersebut. Dalam pengertian lain, suatu sistem proteksi sistem tenaga harus bisa bekerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan.

---

<sup>4</sup>Bonar Pandjaitan, Proteksi Sistem Tenaga Listrik(Yogyakarta: ANDI, 2012), Hal. 7-14.



### 3. Stabilitas

Stabilitas sistem proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan sistem proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh faktor luar di luar daerah proteksinya, misalnya pada arus beban lebih dan arus gangguan lebih. Dengan kata lain, stabilitas dapat juga didefinisikan sebagai kemampuan untuk tetap konsisten hanya bekerja pada daerah proteksi dimana dia dirancang tanpa terpengaruh oleh berbagai parameter luar yang tidak merupakan besaran yang perlu dipertimbangkan.

### 4. Kecepatan

Fungsi dari suatu sistem proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang akhirnya dapat meruntuhkan sistem tersebut.

### 5. Sensitifitas

Sensitifitas adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lainnya. Artinya, semakin rendah besarparameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif.

#### 2.3.2 Cara Kerja Sistem Proteksi<sup>5</sup>

Proteksi berfungsi sebagai berikut:

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal sistem).
2. Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen dan juga mutu listrik yang baik.

---

<sup>5</sup> F.J.Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik(Yogyakarta: TEKNOSAIN, 2017), Hal. 13.



4. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

### **2.3.3 Pembagian Tugas Sistem Proteksi<sup>6</sup>**

Karena Adanya kemungkinan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (back up protection). Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi:

#### **1. Pengaman Utama**

Pengaman utama pada yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak, misalnya rele diferensial.

#### **2. Pengaman Cadangan**

Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu, hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama untuk bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak selektif dengan pengaman utama. Pada pengaman ini dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

- a. Pengaman Cadangan Setempat, yang berfungsi menginformasikan adanya gangguan tersebut kepada seluruh pemutus tenaga (PMT) yang terkait dengan kegagalan sistem proteksi sehingga pemutus tenaganya tidak membuka.
- b. Pengaman Cadangan Remot (Remote), dalam hal ini bila terdapat suatu kegagalan suatu pengaman maka pengaman disisi hulunya harus dapat mendeteksi dan kemudian bekerja dengan suatu perlambatan waktu. Disamping hal diatas pada sistem pengaman (Protection Zone), dalam hal ini semua komponen peralatan dalam sistem tenaga listrik harus termasuk didalam daerah pengamanan, sehingga tidak ada daerah yang mati.

---

<sup>6</sup> Hazairin Samaulah, Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik(Palembang:Universitas Sriwijaya, 2004), Hal. 5-6.



## 2.4 Jenis-Jenis Rele Proteksi<sup>6</sup>

### 2.4.1 Rele Arah

Pada dasarnya rele ini menggunakan prinsip dasar rele induksi dengan satu besaran input. Pada rele arah ini besaran input terdiri dari besar penggerak arus, dan pembanding arus dan tegangan.



Gambar 2.2 Rele Arah

### 2.4.2 Rele Diferensial

Rele Diferensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian diferensial itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan yang lainnya, semua besaran yang masuk rele. Batasan rele Diferensial menurut Mason adalah “Rele Diferensial adalah suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vector dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang telah ditentukan.

Dengan demikian setiap rele, bila dihubungkan dengan cara tertentu dapat dibuat bekerja seperti rele diferensial. Dengan kata lain tidak begitu banyak susunan rele yang telah dihubungkan dengan cara tertentu dalam sirkuit yang membuat rele tersebut bekerja sebagai rele diferensial.

---

<sup>6</sup>Hazairin Samaulah, Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik (Palembang: Universitas Sriwijaya, 2004), Hal. 26-56.

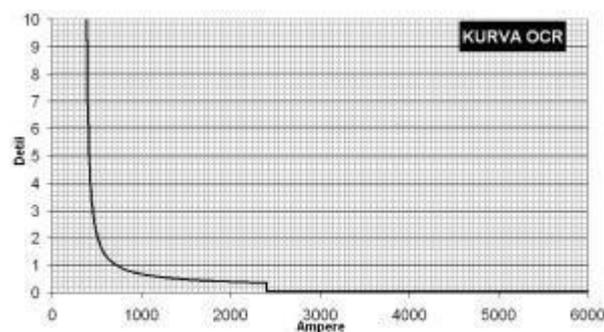


Gambar 2.3 Rele Diferensial

### 2.4.3 Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih – OCR memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan rele Rele Arus Gangguan tanah atau Ground Fault Relay (GFR). Prinsip kerja GFR sama dengan OCR, yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. OCR biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan GFR ahnya memiliki satu sensor arus (satu fasa ).

Waktu kerja rele OCR maupun GFR tergantung nilai setting dan karakteristik waktunya. Elemen tunda waktu pada rele ini pada 2, yaitu elemen low set dan elemen high set. elemen low set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang relatif kecil, sedangkan elemen high set bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar



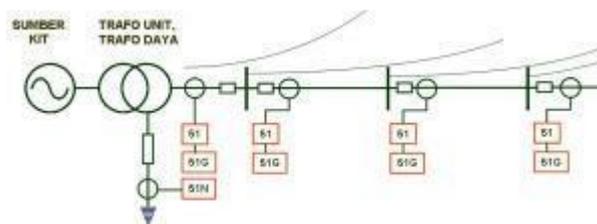
Gambar 2.4 Grafik karakteristik waktu tunda rele OCR



Pada gambar diatas, elemen low set disetting dengan menggunakan karakteristik inverse. Sedangkan elemen high set menggunakan karateristik definite.

Pembantuan kurva waktu tunda rele dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar (dalam grafik di atas ketika terjadi gangguan dengan arus  $> 2400A$ ) maka rele akan segera memerintahkan Pemutus tenaga (PMT) untuk trip.

Rele OCR dan GFR dipasang sebagai alat proteksi motor, trafo, penghantar transmisi, dan penyulang. Posting kali ini menulsi tentang OCR dan GFR sebagai proteksi trafo dan penyulang. Sebagai alat proteksi maka penggunaa rele harus memenuhi persyaratan proteksi yaitu : cepat, selektif, serta handal. Rele harus disetting sedemikian rupa sehingga dapat bekerja secepat mungkin dan meminimalkan bagian dari sistem yang harus padam. Hal ini diterapkan dengan cara mengatur waktu kerja rele agar bekerja lambat ketika terjadi arus gangguan kecil, dan bekerja semakin cepat apabila arus gangguan semakin besar, hal inidisebut karakteristik inverse.



Gambar 2.5 Koordinasi waktu kerja rele

Pada gambar diatas, terlihat bahwa rele yang berada dipangkal berfungsi sebagai pengaman cadangan bagi rele yang berada didepannya. semakin jauh letak gangguan dari pangkal, maka arus gangguan akan semakin kecil, maka rele di pangkal akan bekerja lebih lama dari pada rele yang di depannya ketika terjadi gangguan yang berada di ujung. Oleh karena itu disusun aturan penyetaln rele OCR.



#### 2.4.4 Rele Tegangan

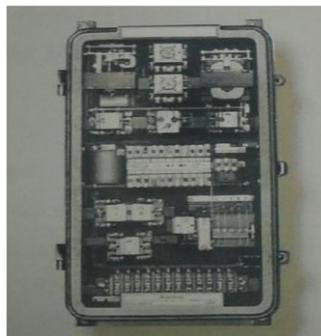
Rele ini bekerja menggunakan tegangan sebagai besaran uku, disini rele akan bekerja bila tegangan yang terdeteksi melebihi atau dibawah tegangan settingnya. Oleh karena itu rele tegangan diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu Over Voltage Relay (OVR) rele yang bekerja berdasarkan kenaikan tegangan yang mencapai atau melebihi nilai settingnya, Under Voltage Relay (UVR) yang bekerja berdasarkan turunya tegangan atau dibawah nilai settingnya.



Gambar 2.6 Rele Tegangan (OVR)

#### 2.4.5 Rele Jarak

Dalam Rele jarak terdapat keseimbangan antara tegangan dan arus perbandingannya dinyatakan dalam impedansi- impedansi yang merupakan ukuran listrik untk suatu saluran transmisi. Pada umumnya yang disebut impedansi dapat berupa tahanan resistansi (R), reaktansi (X) atau kombinaai dari keduanya. Dalam terminology rele pengaman, impedansi rele mempunyai karakteristik yang berhubungan dengan seluruh komponen impedansi.



Gambar 2.7 Rele Jarak



### 2.4.6 Rele Over Speed

Over Speed adalah sebuah kejadian dimana putaran pada turbin melebihi dari putaran nominalnya. Dimana biasanya rele over speed ini memiliki toleransi putaran sebesar  $\pm 7\%$ . Dimana jika suatu putaran nominal turbin 3000rpm mak sebesar sekitar 3210 rpm rele akan bekerja.



Gambar 2.8 Rele Over Speed

### 2.5 Sistem Pemutus Hubungan Pada Over Speed

Secara umum turbin uap dilengkapi dengsn dua peralatan trip putaran lebih ( over speed tripping ) untuk mengulangi sampai tingkat minimum, yang disebabkan oleh sistem proteksi yang tidak bekerja. Karena salah satu kondisi operasional yang berbahaya ialah terjadinya putaran lebih (over speed), yaitu putaran yang berlaku diatas putaran yang berlaku diatas putaran yang direncanakan. Biasanya kelebihan putaran yang ditoleransi adalah sebesar 7%. Dimana alat proteksi akan bekerja jika putaran melewati putaran nominalnya.

Putaranlebih (over speed) = n nominal + toleransi .....(pers 2.2)

Dimana : n nominal =putaran nominal turbin uap dan toleransi 10%