



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

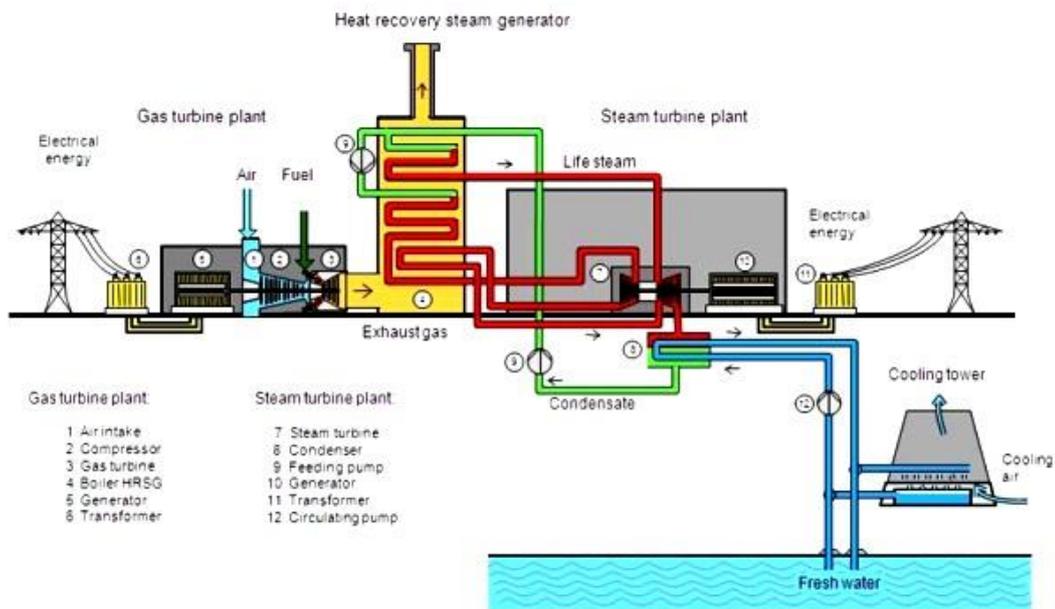
2.1. Pengertian PLTGU (Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap)¹

HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) adalah ketel uap atau boiler yang memanfaatkan energi panas sisa gas buang satu unit turbin gas untuk memanaskan air dan mengubahnya menjadi uap, dan kemudian uap tersebut dipergunakan untuk menggerakkan turbin uap. Pada umumnya HRSG tidak dilengkapi pembakar (*burner*) dan tidak mengkonsumsi bahan bakar, sehingga tidak terjadi proses perpindahan/penyerapan panas radiasi. Proses perpindahan/penyerapan yang terjadi hanyalah proses konveksi dan konduksi dari gas buang turbin gas ke dalam air yang akan diproses menjadi uap melalui elemen-elemen pemanas didalam ruang boiler HRSG.

HRSG dalam perkembangannya dapat terdiri dari 3 drum dengan tekanan uap yang berbeda. Tekanan Tinggi (HP), Tekanan Menengah (MP), Tekanan Rendah (LP). Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik, sementara dalam gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaatan gas buang. Kira-kira 6 jam kemudian, setelah uap dalam ketel cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik.

HRSG sangat bermanfaat untuk meningkatkan hasil guna (efisiensi) bahan bakar yang dipakai pada unit turbin gas, yang selanjutnya akan menggerakkan unit turbin uap. Sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan proses ini yaitu PLTGU (Pusat listrik tenaga gas dan uap). HRSG adalah bagian penting PLTGU, dimana unit pembangkit PLTGU disebut juga Blok PLTGU.

¹ Rakhman, A. (2013, Januari 17). *Prinsip kerja PLTGU*. Retrieved Januari 20, 2020, from *Power plants*: <https://rakhman.net/power-plants-id/prinsip-kerja-pltgu/>.

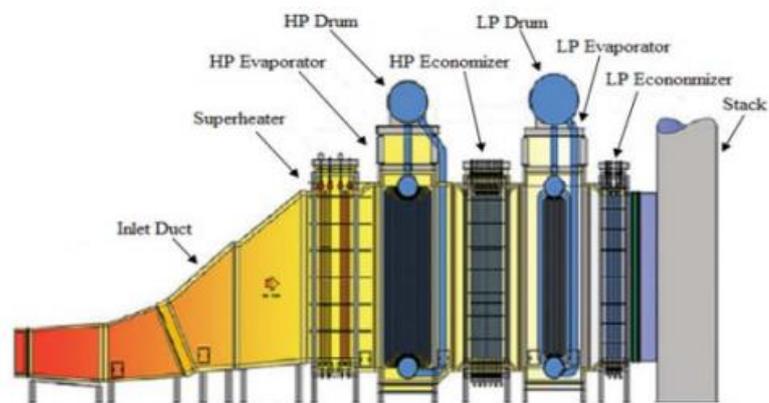


Gambar 2.1 Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

proses produksi listrik pada PLTGU sebagai berikut :

1. Kompresor menghisap udara bebas yang masuk melalui filter dan kemudian menekannya ke dalam ruang bakar.
2. Udara yang bertekanan dan gas alam (bahan bakar) yang ada di ruang bakar nantinya akan dibakar bersamaan sehingga akan menghasilkan gas panas yang bertekanan tinggi yang kemudian akan diarahkan ke sudu-sudu turbin atau nozzle.
3. Turbin akan berputar akibat adanya gas panas bertekanan tinggi yang terarah ke sudu-sudu turbin sehingga daya putaran yang ada di turbin bisa digunakan langsung untuk mengoperasikan generator.
4. Generator yang sudah berputar akibat adanya putaran dari turbin gas akan menghasilkan energi listrik.
5. Gas panas yang keluar dari turbin gas (*Exhaust Gas*) nantinya akan dialirkan ke HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) untuk memanaskan air.

6. LP BFP (*Low Pressure Boiler Feed Pump*) akan memompa air dari dearator ke LP Economizer dan HP BFP (*High Pressure Boiler Feed Pump*) akan memompa air dari dearator ke HP Economizer.
7. Air dari LP Economizer akan dialirkan ke LP Drum untuk dipompa oleh LP BCP (*Low Pressure Boiler Circulating Pump*) ke LP Evaporator kemudian uap yang dihasilkan LP Evaporator akan dialirkan kembali ke LP Drum.
8. Air dari HP Economizer akan dialirkan ke HP Drum untuk dipompa oleh HP BCP (*High Pressure Boiler Circulating Pump*) ke HP Evaporator kemudian uap yang dihasilkan HP Evaporator akan dialirkan kembali ke HP Drum.
9. Uap dari LP Drum akan dialirkan ke LP Steam Turbin guna menggerakkan sudu-sudu turbin uap LP.
10. Uap dari HP Drum kemudian akan dialirkan ke *Super Heater* untuk mendapatkan uap kering. Uap tersebut nantinya akan digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin uap HP dan sisa uap dari turbin uap HP akan dialirkan ke turbin uap LP.
11. Generator yang digerakkan oleh turbin uap (LP dan HP) menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.2 Proses Evaporator PLTGU

Pada dasarnya turbin gas yang beroperasi pada putaran tetap, aliran udara masuk kompressor juga tetap, perubahan beban turbin yang tidak konstan dengan aliran bahan bakar tetap, sehingga suhu gas buang juga berubah mengikuti perubahan turbin gas. Dimana ada 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 :

$$X = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- x = Data yang dicari
- x₁+x₂ ... = Data yang ke....
- n = Banyaknya Jumlah

2.2 Bagian Bagian Utama HSRG²

Heat Recovery Steam Generator terdiri dari beberapa bagian elemen yaitu pemanas awal kondensat (*condensate preheater*), ekonomiser, *evaporator*, dan *superheater* yang masing-masing memiliki fungsi yang berbeda. Pada sub bab ini akan membahas fungsi masing-masing elemen pada *Heat Recovery Steam Generator*.

1. Pemanas awal kondensat (*condensate preheater* atau CPH)

Pemanas awal kondensat berfungsi memanaskan air yang berasal dari kondensat keluaran turbin uap, kemudian air yang sudah dipanaskan ini dialirkan dan dikumpulkan ke tangki air umpan. Umumnya pemanas awal kondensat ini diletakkan di bagian paling atas sekali dari posisi pipa-pipa pemanas yang ada dan diikuti oleh pipa-pipa lainnya.

² Marsudi, Djiteng .2011. *Pembangkit Energi Listrik.Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga

2. Ekonomiser

Ekonomiser terdiri dari pipa-pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap setelah pipa-pipa evaporator. Ekonomiser berfungsi untuk memanaskan air pengisi sebelum memasuki steam drum dan *evaporator* sehingga proses penguapan lebih ringan dengan memanfaatkan gas buang dari HRSG yang masih tinggi sehingga memperbesar efisiensi HRSG karena dapat memperkecil kerugian panas pada HRSG tersebut.

3. *Evaporator*

Evaporator merupakan elemen HRSG yang berfungsi untuk mengubah air hingga menjadi uap jenuh. Pada *evaporator* dengan adanya pipa-pipa penguap akan terjadi pembentukan uap. Biasanya pada *evaporator* kualitas uap sudah mencapai 0,8-0,98 sehingga sebagian masih berbentuk fase cair.

4. *Superheater*

Superheater merupakan alat yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut (*superheater vapour*). Uap lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin atau mesin uap tidak akan mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik (*back stroke*) yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi. Turbin gas merupakan alat yang mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanis melalui proses pembakaran, kemudian energi mekanis tersebut dikonversi oleh generator menjadi energi listrik.

2.3 Kontruksi Turbin³

2.3.1 Sudu Sudu Pemandu

Sudu-sudu pemandu (*guide blade*) adalah sejenis sudu-sudu tetap yang berfungsi untuk membalikkan arah uap dari arah keluar menjadi arah masuk. Dalam grup sudu-sudu pemandu tidak terjadi proses konversi energi. Sudu-sudu turbin pemandu dioperasikan hanya pada kelompok turbin kompon. Sudu-sudu pemandu dipasang pada bagian dari casing dalam tegak lurus terhadap sumbu turbin



Gambar 2.3 Sudu-Sudu Turbin

2.3.2 Nozel

Nozel adalah salah satu diantara komponen terpenting dalam turbin uap yang berfungsi sebagai sarana konversi energi yang mengkonversikan energi thermal menjadi kinetik. Karena memiliki fungsi yang sangat penting maka nozel tersebut harus memiliki syarat diantaranya yaitu dapat menghindari perubahan tiba-tiba dari arah aliran uap khususnya untuk kecepatan-kecepatan tinggi Nozel sendiri ada dua jenis yaitu *Nozel Konvergen* dan *Nozel Konvergen Difergen*. *Nozel Konvergen* yaitu

³ hyprowira. (2019, November 19). *Turbin Uap; Pengertian Prinsip kerja Dan Komponen*. <https://hyprowira.com/blog/prinsip-kerja-turbin-uap>

jenis nozel yang cocok untuk mengekspansikan uap dari tekanan-tekanan tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih tinggi dari tekanan kritis yang bersangkutan. Sedangkan *Nozel Konvergen Divergen* adalah jenis nozel yang mengekspansikan uap dari tekanan-tekanan awal tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih rendah dari tekanan kritis yang bersangkutan.

2.3.3 *Cilinder Casing*

Silinder (*casing*) adalah rumah turbin, silinder atau rumah turbin ini memiliki fungsi untuk menyatukan komponen-komponen instalasi turbin dalam satu unit operasional jadi sebagai bingkai turbin. Rumah turbin akan menjadi penyekat ruang uap dan berbentuk yang mengikut bentuk arah aliran uap didalamnya. Turbin-turbin modern umumnya memiliki sebuah silinder ganda (*double sylinder*) dengan maksud bahwa mempunyai rumah bagian dalam (*internal casing*) dan rumah bagian luar (*outernal casing*) sekeliling rumah bagian dalam. Bila perlu uap ventilisasi dapat disirkulasikan antara kedua casing tersebut untuk mengurangi perbedaan temperature antara bagian luar dan bagian dalam.

2.3.4 Katup Penutup Uap

Uap dari super heater mengalir melalui dua sistem kontrol uap masuk yang dipasang secara paralel. Prinsip dasar dari fungsi kedua sistem ini “mengalir atau tidak” atau disebut dengan sistem go/no go dan keduanya disebut katup penutup uap (*stop valve*). Katup dengan kedudukan tunggal, pas dengan sebuah katup pemandu (*pilot valve*) yang dipergunakan juga untuk menyeimbangkan tekanan uap pada kedua sisi dari katup utama (*main valve*), atau untuk memungkinkan aliran uap yang lebih perlahan-lahan pada awal pembukaan katup. Katup-katup penutup (*stop valve*) digerakkan oleh sebuah motor servo hidrolik tunggal atau ganda dengan sebuah pegas spiral untuk mengembalikan posisi katup pada kedudukannya pada penurunan tekanan kerja fluida (minyak hidrolik). Motor Servo katup dikontrol oleh peralatan pengaman turbin (*turbine safety equipment*). Peralatan ini memeriksa bahwa kondisi operasional turbin adalah normal. Apabila salah satu peralatan tidak bekerja maka katup penutup uap akan menutup dengan sempurna.

Untuk membukanya kembali sesudah suatu kejadian maka sistem pengaman harus distel kembali.

2.3.5 Katup Kontrol

Katup kontrol adalah jenis katup dengan dudukan tunggal yang bekerja berdasarkan jumlah aliran uap yang sepadan dengan gerakan alat kontrol. Uap dari masing-masing katup mengalir melalui suatu pemipaan yang terpisah ke gelang saluran masuk turbin yaitu suatu ruangan yang berbentuk lingkaran pada sisi masuk, untuk mensuplai uap ke sudu-sudu tetap.

2.3.6 Governor

Governor adalah sebuah pengontrol kecepatan tipe *sentrifugal*. Pada puncak governor terdapat ruang oli dengan tekanan tetap lebih atau kurang. Terdapat D piston terdapat ruangan yang dihubungkan ke ruang atas melalui sebuah saluran dalam piston dan juga dengan sebuah lubang pembuang. Oli keluar melalui lubang tersebut tergantung pada perbedaan antara poros pengontrol kecepatan bobot balans dan pangkal dari poros berlubang yang terpasang di piston. Jadi begitu putaran bertambah maka poros pengontrol bobot balans mengangkat, mengurangi sepanjang saluran keluar oli dan tekanan didalam ruangan yang berada di *piston switch*. Gaya pegas yang terpakai untuk piston berkurang dan piston bergerak naik. Poros governor menggerakkan katup kontrol untuk mereduksi jumlah aliran uap.

2.3.7 Kondensor

Kondensor adalah untuk mengembalikan *exhaust steam* dari turbin ke fase cairnya agar dapat dipompakan kembali ke boiler dan digunakan kembali. Kondensor terbagi diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu Jet Kondensor dan Surface Kondensor. Pada Jet Kondensor, uap dikondensasikan dengan air pendingin. Secara alami, temperature dan air pendingin adalah sama ketika melewati kondensor. Oleh karena itu, proses kondensasi tidak bisa dilakukan kembali secara langsung untuk penggunaan sebagai tekanan untuk air menuju boiler. Disisi lain pada permukaan kondensor , tidak ada kontak langsung antara

uap yang dikondensasikan dan sirkulasi pada *cooling water*. Sedangkan pada *surface Condensor*, air pendingin yang melalui tabung dan uap melalui sekelilingnya. Melewati tabung air pendingin disirkulasikan. Oleh piring penyekat, jumlah air dibagi menjadi dua bagian, terletak dibagian tabung atas dimana air pendinginnya sedikit lebih panas. Uap pembuangannya dari turbin masuk menuju kondensor dari atas dan menuju tabung yang lebih panas. Dan akhirnya terkondensi pada tabung pendingin bagian bawah dan dikirim oleh pompa ekstraksi menuju boiler melalui *economizer*.

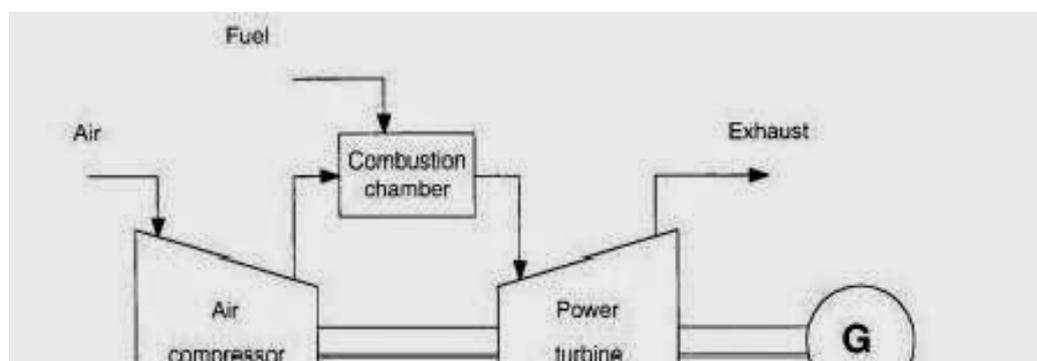
2.4 Siklus Turbin

2.4.1 Siklus Turbin Gas

Prinsip kerja sistem ini adalah udara atmosfer masuk ke dalam kompresor yang berfungsi menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga temperaturnya naik. Kemudian udara bertekanan tinggi itu masuk ke dalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar ke dalam arus udara tersebut, sehingga terjadi proses pembakaran.

Proses pembakaran tersebut berlangsung pada tekanan konstan, sehingga bisa dikatakan bahwa ruang bakar hanyalah digunakan untuk menaikkan temperatur udara. Gas pembakaran yang bertemperatur tinggi itu kemudian masuk ke dalam turbin gas dimana energinya dipergunakan untuk memutar sudu turbin $\pm 60\%$ dari daya yang dihasilkan turbin untuk memutar kompresornya sendiri, sisanya baru digunakan untuk memutar generator.

Siklus ideal ini terdiri dari 2 proses isobar yang terjadi diruang bakar dan proses pembuangan gas bekas, serta 2 proses isentropik yang terjadi pada kompresor dan ekspansi gas pada turbin.



Gambar 2.4 Siklus Turbin Gas

2.4.2 Siklus Turbin Uap

Turbin merupakan suatu penggerak dimana mengubah energi potensial dari uap yang dihasilkan menjadi energi kinetik yang akan berubah menjadi putaran poros turbin. Ide dari pembuatan turbin uap ini diketahui kira-kira tahun 120 SM. Hero di Alexandria membuat prototip yang bekerja pada prinsip reaksi. Yang terdiri dari bejana yang berisikan air, penampang berbentuk bola, pipa-pipa, dan dikeluarkan melalui nosel. Beberapa abad kemudian pada tahun 1629, Giovanni Branca memberikan gambaran pada sebuah mesin yang terdiri dari ketel uap, nosel, roda yang memiliki sudu-sudu, poros dan roda gigi. Uap yang dihasilkan didalam ketel akan dialirkan ke nosel dalam kecepatan tinggi sehingga akan memutar roda dan akhirnya menggerakkan mesinnya tersebut. Dan pada akhirnya berkembanglah hingga saat ini. Turbin uap saat ini secara umum dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu turbin implus, reaksi dan gabungan.

Adapun turbin implus mengubah energi potensial supaya menjadi energi kinetik didalam nosel. Uap yang keluar dari dalam nosel dengan kecepatan mutlak memasuki sudu-sudu turbin. Hal ini disebabkan oleh putaran cakram turbin, kecepatan uap pada jalan masuk ke laluan sudu akan mempunyai relative terhadap laluan sudu, nilai yang berbeda, dan juga arahnya berbeda. Kecepatan ini dikenal sebagai kecepatan relative. Sedangkan turbin reaksi pada umumnya dibuat hanya sebagai turbin bertingkat. Dalam turbin reaksi mengalami ekspansi baik pada suhu pengarah maupun sudu gerak sehingga mengarahkan dorongan pada sudu

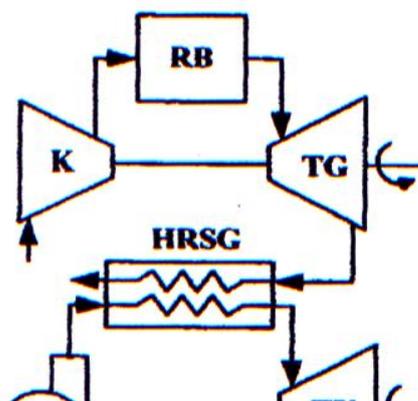
dalam arah aksial. Untuk mengurangi dorongan aksial ini biasanya dipasang sudu-sudu gerak pada drum yang juga berfungsi sebagai rotor. Sudu-sudu pengarah dipasang pada stator turbin.

2.4.3 Siklus Gabungan (*Combine Cycle*)

Siklus gabungan adalah suatu siklus yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas (PLTGU) untuk memanaskan air dalam ketel, dengan menggunakan heat exchanger berupa HRSG dan uap yang dihasilkan HRSG tersebut digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

Gas turbin dari turbin gas keluar pada umumnya 500°C . Disebabkan tekanan rendah, suhu tinggi (entalpi tinggi) ini, gas buang tidak dapat dimanfaatkan menjadi fluida kerja. Regenerator dapat digunakan untuk memanfaatkan gas terbuang ini dengan cara memanaskan gas keluar dari kompressor sebelum masuk ke ruang bakar. Beberapa halangan dalam penggunaan regenerator:

1. Regenerator mengakibatkan penurunan tekanan antara outlet kompressor dan inlet ruang bakar yang menyebabkan naiknya kerja kompressor karena untuk tekanan inlet turbin yang tertentu. *Outlet compressor* tekanannya harus lebih tinggi.
2. Regenerator menimbulkan naiknya tekanan luar (*back pressure*) turbin yang menyebabkan turunnya kerja turbin.
3. Regenerator sulit untuk melayani debit aliran yang tinggi. Pada gambar 2.3 berikut menampilkan skema pembangkit daya dengan menggunakan HRSG.



Gambar 2.5 Pembangkit Daya Siklus Gabungan

Keterangan:

P	= Pompa
HRSG	= Heat Recovery Steam Generator
TU	= Turbin Uap
C	= Condenser
K	= Kompresor
RB	= Ruang Bakar
TG	= Turbin Gas

Pembangkitan daya seperti gambar 2.4 diatas, disamping menghasilkan efisiensi yang tinggi dan keluaran daya yang lebih besar siklus gabungan bersifat luwes, mudah dinyalakan dengan beban tak penuh, cocok untuk operasi beban. besar dan turbin bersiklus mempunyai efisiensi dalam daerah beban yang luas. Kelemahannya berkaitan dengan keruwetannya, karena pada dasarnya instalasi ini menggabungkan dua teknologi didalam satu kompleks pembangkit daya.

2.5 Sistem Proteksi⁴

Sistem Proteksi adalah susunan perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20. Dengan demikian sekarang bagaimana caranya supaya gangguan yang terjadi seminim mungkin berakibat terhadap konsumen. Sedikit dan sesingkat mungkin. Salah satu cara ialah dengan sistem pengaman yang baik, dalam hal ini disamping perangkat kerasnya (rele) juga terdapat perangkat lunaknya diantaranya penyetelannya. Apabila penyetelan rele ini tidak benar, maka dapat tidak selektif atau akan terjadi salah kerja (*miss trip*). Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan secara dini atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya yang tidak normal pada peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga.

2.6 Cara Kerja Sistem Proteksi

Fungsi utama peralatan atau pelindung adalah melepaskan atau memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem keseluruhannya guna memperkecil kerusakan

⁴ Samaullah, H. (2004). *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang : Universitas Sriwijaya

yang dapat terjadi dan sebanyak mungkin mempertahankan kontinuitas penyediaan tenaga listrik. Peralatan pengaman harus melakukannya dalam waktu yang secepatnya sehingga perlu seluruhnya dilaksanakan secara otomatis. Hal ini dilakukan dengan rele pengaman.

2.7 Pembagian Tugas Sistem Proteksi⁵

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 umumnya selektif dan bahkan jenis tertentu mempunyai sifat mutlak, misalnya rele diferensial dan digunakan sebagai pengaman utama atau inti.

2. Pengaman Cadangan

Pengaman cadangan umumnya memiliki perlambatan waktu, hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama untuk bekerja 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 terbuka.
- 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 itu hal diatas pada sistem pengaman (*Protection Zone*), dalam hal

⁵ SUPRIANTO. (2015, Oktober 17). *Sistem Proteksi*. <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/sistem-proteksi/>

ini semua komponen peralatan dalam sistem tenaga listrik harus termasuk didalam daerah pengamanan, sehingga tidak ada daerah yang mati.

2.7.1 Syarat Sistem Proteksi⁶

Sistem proteksi tentu haruslah memiliki ketentuan-ketentuan yang berlaku diantaranya yaitu:

1. Faktor Keandalan

Kebutuhan perangkat sistem proteksi dengan tingkat keandalan yang tinggi merupakan salah satu factor pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan. Sebuah peralatan proteksi dapat digunakan yang andal berarti bisa mengamankan suatu peralatan dengan baik dan sesuai dengan fungsinya.

2. Selektivitas

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

3. Stabilitas

Stabilitas system proteksi biasanya terkait dengan skema unit proteksi yang dimaksudkan untuk menggambarkan kemampuan system

⁶ Dayat, Akmal. (2016, Februari 04). *Syarat Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. <https://dayat-akmal.blogspot.com/2016/04/syarat-syarat-sistem-proteksi-sistem.html?m=1>

proteksi tertentu untuk tetap bertahan pada karakteristik kerjanya dan tidak terpengaruh factor luar daerah proteksinya seperti adanya 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 ditimbangkan.

4. Kecepatan

Fungsi dari suatu system proteksi adalah untuk mengisolasi gangguan secepat dan sesegera mungkin. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang kearah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi system yang akhirnya dapat meruntuhkan system tersebut. Oleh karena itu proteksi harus bekerja secepat mungkin sehingga gangguan tersebut tidak merambat bahkan merusak peralatan yang ada

5. Sensitivitas

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

2.8 Jenis-Jenis Relay Proteksi⁷

2.8.1 Relay Arah

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



Gambar 2.6 Rele Arah

2.8.2 Relay 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.

⁴ Samaullah,H. (2004). *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang : Universitas Sriwijaya



Gambar 2.7 Relay Diferensial

2.8.3 Relay 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).



Gambar 2.8 Relay OCR

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 pengguna rele harus memenuhi persyaratan proteksi yaitu: cepat, selektif, serta handal. 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 ini disebut karakteristik *inverse*.

2.8.4 Relay Tegangan

Rele ini bekerja menggunakan tegangan sebagai besaran ukuran, 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 2.9 Rele *Over Voltage*

2.8.5 Relay Jarak

Dalam Relay jarak terdapat keseimbangan antara tegangan dan arus perbandingannya dinyatakan dalam impedansi- impedansi yang merupakan ukuran listrik untuk suatu saluran transmisi. Pada umumnya yang disebut impedansi dapat berupa tahanan resistansi (R), reaktansi (X) atau kombinasi dari keduanya. Dalam

terminology rele pengamanan, impedansi rele mempunyai karakteristik yang berhubungan dengan seluruh komponen impedansi.



Gambar 2.10 Relay Jarak

2.8.6 Relay Overspeed

Overspeed adalah sebuah kejadian dimana putaran pada turbin melebihi dari putaran nominalnya. Dimana biasanya rele *overspeed* ini memiliki toleransi putaran sebesar 7-10%. Dimana jika suatu putaran nominal turbin 6230rpm maka sebesar sekitar 6665 rpm rele akan bekerja.



Gambar 2.11 Relay *Overspeed*

2.9 Sistem Pemutus Hubungan Pada *Overspeed*

Secara umum turbin uap dilengkapi dengan dua peralatan trip putaran lebih (*overspeed 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 (*overspeed*), yaitu putaran yang berlaku diatas putaran yang berlaku diatas putaran yang direncanakan. Biasanya kelebihan putaran yang ditoleransi adalah sebesar 10%. Dimana alat proteksi akan bekerja jika putaran melewati putaran nominalnya.

$$\text{Putaran lebih (overspeed) = n nominal + toleransi (2.2)}$$

Dimana : n nominal = putaran nominal turbin uap dan toleransi 7%

Saat putaran turbin telah sampai pada nominal maksimal yang telah ditentukan maka relay akan bekerja secepat mungkin untuk mengamankan system dan komponen pada turbin, biasanya turbin *overspeed* saat proses run up yang membutuhkan putaran tinggi, kemungkinan *overspeed* selanjutnya yaitu gangguan pada saat system lepas beban dan governor tidak mampu kembalikan putaran normal akibat dari *overspeed* ini dapat sebabkan turbin vibrasi dapat merusak bearing dan shaft dan frekuensi menjadi naik. Maka dari itu system proteksi *overspeed* ini sangat dibutuhkan keandalan dan ketepatan aktu saat relay bekerja juga perlu di perhatikan sebagai rumus berikut untuk menghitung waktu kerja relay *overspeed*.

$$T_{c, rotor} = \frac{0,619 \times N_{rated}^2 \times WR^2 \times 0.042}{10^6 \times H_{Prated}} \dots \dots \dots (2.3)$$

