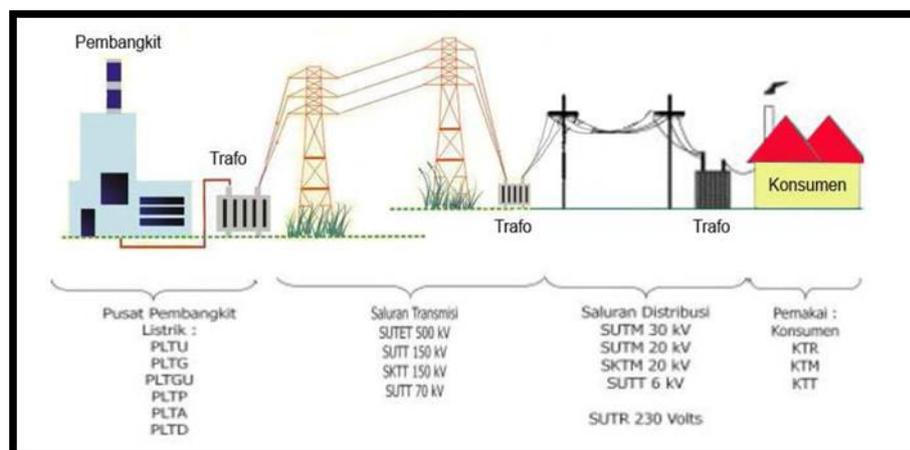


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pembangkitan, transmisi dan distribusi. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Sistem pembangkitan berfungsi membangkitkan energi listrik, lalu energi listrik tersebut disalurkan ke pusat beban atau gardu induk melalui saluran transmisi yang kemudian energi listrik tersebut di distribusikan ke konsumen-konsumen (pabrik, industri, perumahan dan lainnya). Terjadinya gangguan pada salah satu sistem energi listrik akan berpengaruh terhadap sistem lainnya. Sedangkan kehandalan operasi dari sistem tenaga listrik tersebut sangat diperlukan, karena sistem tenaga listrik memiliki peranan yang sangat besar bagi kehidupan masyarakat. [1]



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa secara umum sistem tenaga listrik terdiri dari:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*Prime Mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain, transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik.

3. Sistem Distribusi

Merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari Pusat Pengatur (Distribution Control Center, DCC), saluran tegangan menengah (6kV dan

20kV, yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380V, 220V) yang menghasilkan tegangan kerja atau tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen.

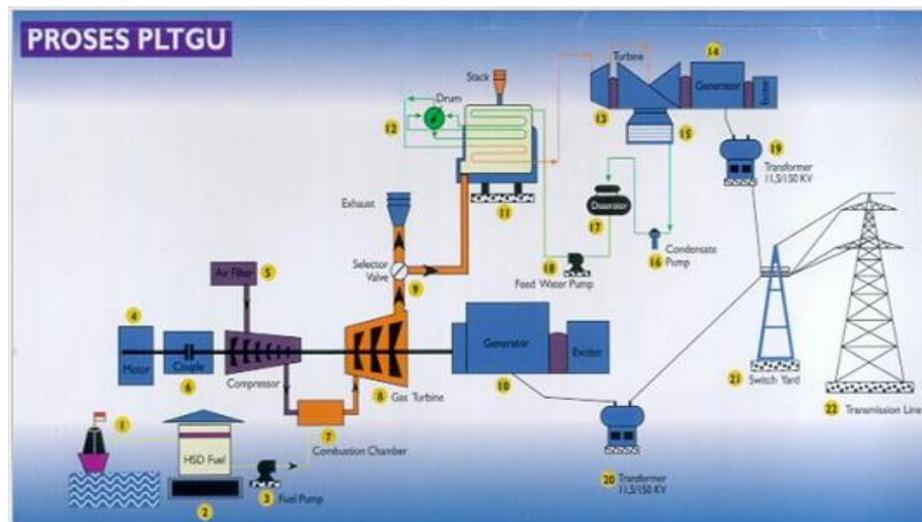
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU [2].

PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di Heat Recovery Steam Generator (HRSG), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (baling-baling). Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas

alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

Pada dasarnya Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan gabungan antara Turbin Gas (PLTG) dan Turbin Uap (PLTU). Karena itu Pembangkit ini disebut juga *Combined Cycle Power Plant*. Turbin gasnya menggunakan bahan bakar gas atau solar (HSD), sedangkan turbin uapnya memanfaatkan gas panas dengan temperature sekitar 500 °C, yang digunakan untuk memanaskan air menjadi uap pada HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Kemudian uap yang telah dihasilkan tersebut digunakan untuk memutar turbin uap.



Gambar 2.2 Diagram Alir PLTGU

Paada Gambar 2.2. dapat terlihat bahwa 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 diruang 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 diturbin 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.

2.2.1. Peralatan Utama

1. Turbin Gas



Gambar 2.3 Bentuk Fisik Turbin Gas PLTGU Gresik

Pada Gambar 2.3. merupakan bentuk fisik Turbin Gas PLTGU Gresik. Turbin gas merupakan peralatan pembangkit tenaga yang memanfaatkan

langsung tenaga dari panas yang mengembang dan bertekanan yang dihasilkan akibat adanya pembakaran bahan bakar (gas) dengan udara yang dikompresikan. Adapun sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kompresor, ruang bakar (*Combuster*) dan turbin.

a. Spesifikasi Turbin Gas

Merk : Mitsubishi Heavy Industry Co.
Tipe : MW 701D, Axial Flow Reaction Tipe
Putaran : 3000 rpm, pada keadaan maksimum 3750 rpm.
Jumlah Tingkat : 4

b. Spesifikasi Ruang Bakar

Tipe : Canular Tipe
Jumlah Ruang : 18

c. Spesifikasi Kompresor

Tipe : Axial Flow Tipe
Jumlah Tingkat : 19

2. Generator



Gambar 2.4 Bentuk Fisik Generator PLTGU Gresik

Pada Gambar 2.4 merupakan bentuk fisik Generator PLTGU Gresik. Generator merupakan bagian pokok dari pembangkit tenaga listrik, karena dari sinilah sumber listrik dihasilkan. Generator di PLTGU Gresik yang terdiri dari sembilan generator dengan penggerak turbin gas dan tiga generator dengan penggerak turbin uap menggunakan generator tiga fase sinkron dengan rotor silindris dan sistem dua kutub. Sedangkan pendingin yang dipakai adalah udara untuk generator turbin gas dan hidrogen untuk generator turbin uap.[3]

Tabel 2.1 merupakan spesifikasi Generator pada PLTGU Gresik yang mencakup spesifikasi Gas Turbin Generator dan Steam Turbin Generator.

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator

| Keterangan | Gas Turbin Generator | Steam Turbin Generator |
|-------------------|----------------------|------------------------|
| Vout | 10.50 kV | 15.75 kV |
| In | 8450 A | 9230 A |
| Pn | 150 MVA | 250 MVA |
| <i>Rotation</i> | 3000 rpm/min | 3000 rpm/min |
| Cos | 0.8 | 0.8 |
| <i>Frequency</i> | 50 Hz | 50 Hz |
| <i>Connection</i> | 3 Phase YY | 3 Phase YY |
| <i>Type</i> | TLRI 108/36 | THRI 100/42 |
| <i>Cooling</i> | Air/Water | Hydrogen/Water |
| <i>Weight</i> | 205.000 kg | 250.000 kg |
| <i>Merk</i> | SIEMENS | SIEMENS |

Penyaluran daya dari generator sampai ke transformator dilakukan menggunakan kabel yang diletakkan pada saluran tanah dan saluran di atas tanah (*cable duct*).

3. Turbin Uap (PLTU)

Turbin uap merupakan peralatan pembangkit tenaga yang memanfaatkan uap kering hasil pemanasan air dalam HRSG oleh gas panas yang keluar dari turbin gas sehingga mempunyai nilai ekonomi yang sangat tinggi.

Peralatan bantu turbin uap antara lain :

1. Kondensor

Merupakan alat yang mengubah fase dari uap menjadi air, dimana uap tersebut sebelumnya dimanfaatkan untuk memutar turbin.

2. Pompa Air *condensate*

Pompa pada sistem ini digunakan untuk mengalirkan air pada kondensator ke pemanas awal sampai deaerator.

3. *Gland Condensor*

Merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengondensasikan uap, dengan media pendinginnya adalah air pengisi *Steam Drum* sebelum masuk *Heater*.

4. Deaerator

Merupakan alat yang menghilangkan gas-gas yang tidak terlarut dalam air

5. Alat Kontrol Kualitas Air

Alat yang dipakai untuk mengontrol kualitas air pada proses deaerator

4. Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Sisa pembakaran dari turbin gas dilewatkan dalam HRSG untuk menghasilkan uap tekanan tinggi (*High Pressure / HP*) dan tekanan rendah (*Low Pressure / LP*). Ketel ini menggunakan gas sisa pembakaran dari turbin gas. Karena suhu dari sisa pembakaran turbin masih tinggi yaitu $\pm 500^{\circ}\text{C}$ jadi masih bisa digunakan untuk menghasilkan uap.



Gambar 2.5 HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)

Pada Gambar 2.5. merupakan HRSG PLTGU Gresik. Peralatan utama HRSG adalah sebagai berikut :

a. *Super Heater*

Super Heater berfungsi untuk memanaskan uap jenuh yang keluar dari HP *steam drum* dengan gas buang PLTG. Sebelum masuk kedalam turbin uap, agar uap tersebut benar-benar kering dan bebas dari

kandungan air. Tujuan mendapatkan uap kering ini untuk mencegah kerusakan turbin uap yang disebabkan oleh pukulan air pada sudu-sudu turbin uap.

Pada PLTGU UP Gresik, *super heater* yang digunakan mempunyai dua tingkat yaitu :

- a. Tingkat pertama merupakan *Primary Super Heater*.
- b. Tingkat kedua merupakan *Secondary Super Heater*.

b. *Economizer*

Terdiri dari beberapa pipa bengkok dalam lengkung horizontal, air masuk ke unit pembangkitan uap melalui *economizer inlet header* dan mengalir ke arah atas menghalangi aliran gas melalui pipa-pipa *economizer* keluar mengalir langsung ke *steam drum* melalui pipa-pipa pengisian.

Economizer berfungsi sebagai pemanas air dari *dearator* dimana air mencapai titik didihnya masuk ke HP dan LP *drum*.

c. *Evaporator*

Terdapat dua evaporator yakni :

a. *LP Evaporator*

LP Evaporator berfungsi sebagai peralatan penguapan untuk mengubah air yang dipompa dari LP *drum* menjadi uap basah yang kemudian ditampung kembali pada LP *Drum*.

b. *HP Evaporator*

HP Evaporator berfungsi untuk mengubah wujud air dari *HP drum* menjadi uap basah yang kemudian ke *HP drum* yang selanjutnya dengan melalui *HP super heater* masuk ke *HP turbin*.

d. *Pre Heater*

Berfungsi sebagai pemanas air yang akan menuju *dearator* dengan memanfaatkan gas yang akan dibuang melalui cerobong.

e. *LP/HP Drum*

Berfungsi untuk menampung campuran air dan uap hasil pemanasan dari *economizer* dan *evaporator*.

Sedangkan peralatan bantu *HRSG* adalah :

1) *Boiler Feed Pump (BFP)*

Berfungsi untuk memompa air dari *dearator* ke *LP* dan *HP drum* melalui *economizer*.

2) *Boiler Circulating Pump (BCP)*

Berfungsi untuk memompa air dari *steam LP* dan *HP drum* melalui *evaporator*.

3) *Chemical Injection*

Adalah alat untuk menginjeksi bahan-bahan kimia guna menjaga kualitas air dalam *HRSG*.

4) *Instrument Air Compresor (IAC)* dan *Service Air Compresor (SAC)*

Merupakan alat untuk memproduksi udara bertekanan untuk keperluan pengaturan dan kontrol pneumatik.

5) *Bypass Damper*

Berfungsi untuk mengalirkan gas panas dari *exhaustest gas turbine* ke udara bebas dan *atmosfer Damper (Exhaust Damper)* digunakan untuk mengalirkan gas panas dari *Exhaust gas turbin* ke HRSG.

5. Transformator

Adalah peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari salah satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Alat ini berfungsi untuk pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalkan kebutuhan akan tegangan transmisi daya listrik jarak jauh.

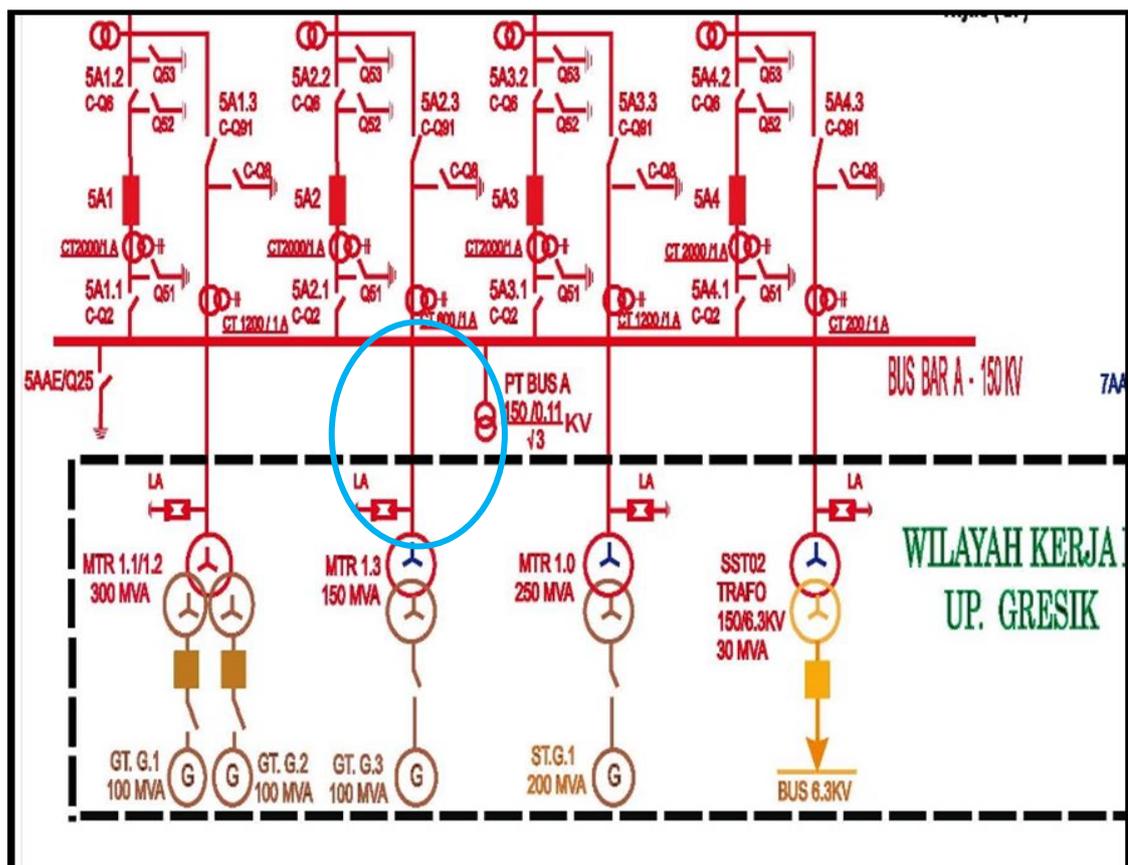
Beberapa jenis transformator di PLTGU berdasarkan penggunaannya :

- a. Main Transformator (*step up*)
 - 1) *3 winding step up transformer*
 - 2) *2 winding step up transformer*
- b. *Unit Auxiliary transformer*
- c. *Excitation Transformer*

Main Step UP Transformer berfungsi untuk menaikkan tegangan dari generator ke jaringan yang terinterkoneksi. Tegangan dari generator pada blok I untuk gas turbin normalnya 10.5 kV kemudian dinaikkan tegangannya menjadi 150 kV dan pada *steam turbin* tegangan dari generator 15.7 kV kemudian dinaikkan tegangannya menjadi 150 kV. Sedangkan pada blok II dan blok III tegangan generator untuk gas turbin normalnya 10.5 kV kemudian dinaikkan tegangannya menjadi 500 kV.

Transformator eksitasi (*Excitation Transformer*) berfungsi sebagai suplai pengisi daya sistem baterai yang akan digunakan untuk sistem eksitasi generator. Merupakan trafo *step down* berasal dari *Auxiliary Transformer* diturunkan dari tegangan 10.5 kV diturunkan ke 0.585 kV sebagai sumber tegangan AC dari AVR yang didalamnya terdapat rangkaian penyearah diubah ke tegangan DC. Sedangkan *Auxiliary Transformer trafo step down* dari tegangan 10.5 kV diturunkan ke 0.4 kV digunakan untuk kebutuhan pemakaian sendiri dari pembangkit seperti motor dan pompa.[4]

2.3. High Voltage (HV) Line



Gambar 2.6 Single Line Pembangkit dan Transimi

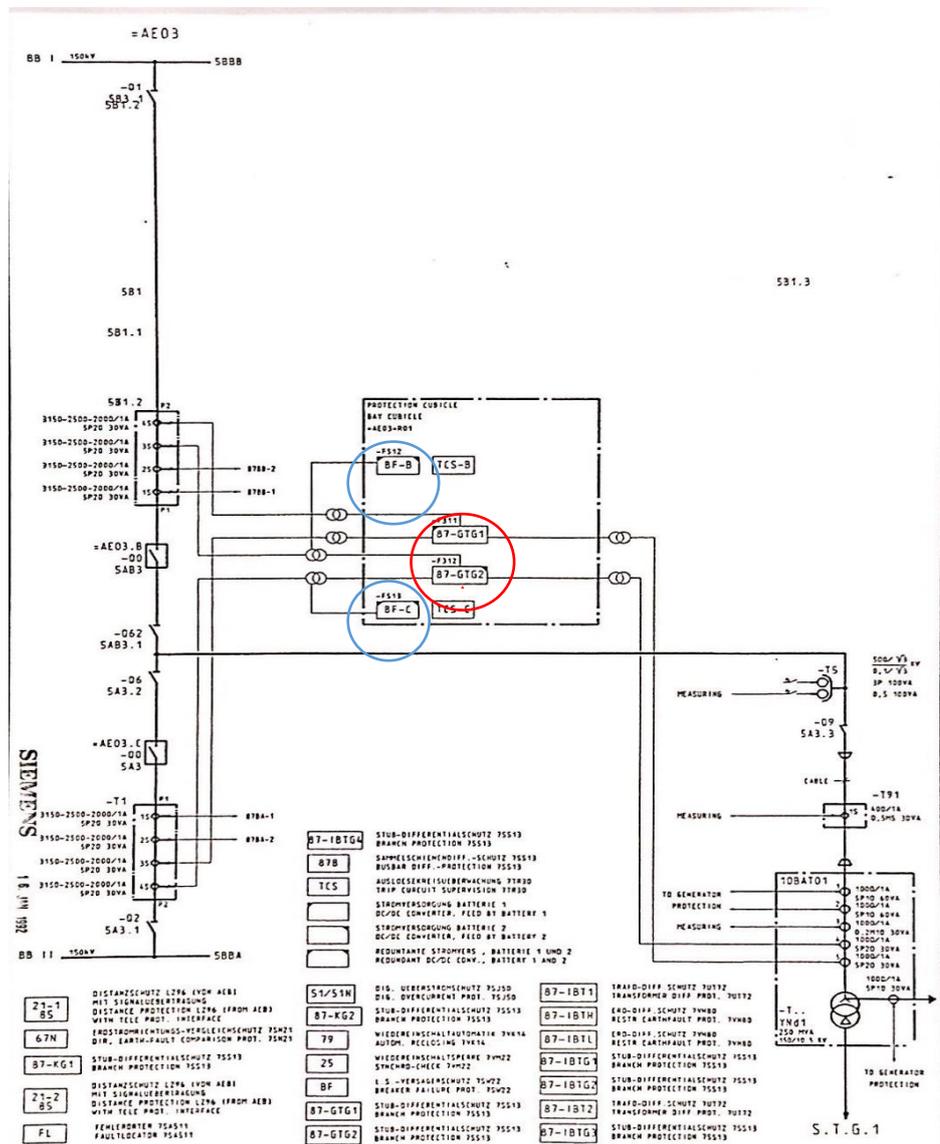
Pada Gambar 2.6 merupakan *Single Line* Pembangkit dan Transmisi. HV line adalah salah satu jenis dari sistem transmisi tenaga listrik. Sistem transmisi sendiri adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lain, seperti dari stasiun pembangkit ke *substation* (gardu induk). Pemakaian sistem transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dan jarak penyaluran yang cukup jauh antara sistem pembangkit dengan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi akibat jatuh tegangan. Sistem transmisi dapat dibedakan menjadi sistem transmisi tegangan tinggi (*high voltage, HV*), sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (*extra high voltage, EHV*), dan sistem transmisi ultra tinggi (*Ultra high voltage, UHV*).

Besarnya tegangan nominal saluran transmisi tegangan tinggi ataupun ekstra tinggi berbeda-beda untuk setiap negara atau perusahaan listrik di Negara tersebut. Di Indonesia tegangan tinggi yang digunakan adalah 150 kV dan tegangan ekstra tinggi adalah tegangan 500 kV yang terinterkoneksi antara Jawa dan Bali. Sistem interkoneksi ekstra tinggi ini merupakan bagian terpenting dari penyaluran daya di Indonesia sehingga kelangsungan dan keandalan sistem ini harus selalu dijaga.

Dalam hubungannya dengan sistem proteksi atau pengaman suatu sistem transmisi, adanya perubahan tersebut harus mendapat perhatian yang besar mengingat saluran transmisi memiliki fungsi yang sangat penting dalam proses penyaluran daya. Saluran transmisi listrik merupakan suatu sistem yang kompleks

yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah jika tidak segeraantisipasi.

2.4. High Voltage (HV) Line Protection

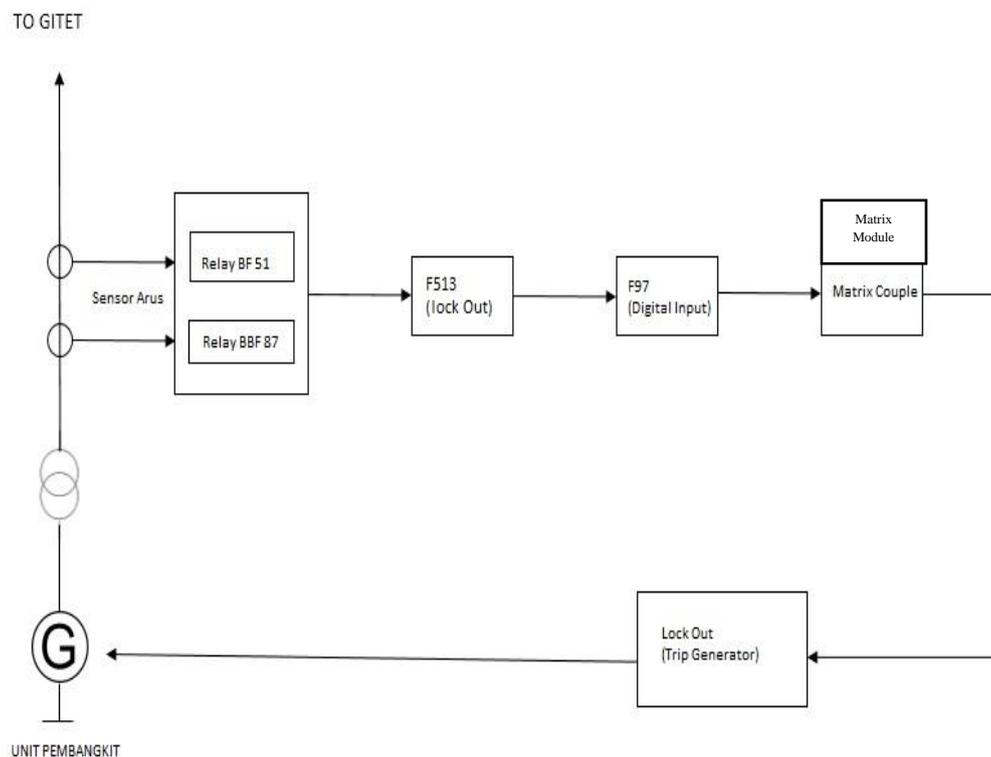


Gambar 2.7 Single Line HV Line Proteksi

Pada Gambar 2.7 merupakan Single Line HV Line Proteksi dengan keterangan sebagai berikut :

- a. Breaker Failure (BF)
- b. Branc Breaker Failure (BBF)

HV Line Protection adalah proteksi transmisi tenaga listrik yang dipasang di peralatan-peralatan listrik pada suatu transmisi tenaga listrik sehingga proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (Power Plant) hingga Saluran distribusi listrik (substation distribution) dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik dengan aman. Proteksi transmisi tenaga listrik diterapkan pada transmisi tenaga listrik agar jika terjadi gangguan peralatan yang berhubungan dengan transmisi tenaga listrik tidak mengalami kerusakan.[5]



Gambar 2.8. Flow Chart HV Line Protection

Paada Gambar 2.8. merupakan *Flow Chart HV Line Protection* dengan keterangan sebagai berikut:

- Relay BF 51 = Breaker Failure Protection
- Relay BBF 87 = Branch Breaker Failure Protection
- Relay 513 = Relay Lock out
- Relay F97 = Relay Digital Input

Di dalam *HV line* proteksi terdapat beberapa relay seperti pada gambar di atas, untuk BBF prinsip kerjanya hampir sama dengan *Relay Differential*, disini Relay ini memproteksi Busbar sedangkan BF hanya memproteksi PMT saja. *Relay Lock out* untuk menerima sinyal trip yang akan diteruskan ke PMT. *Relay Digital Input* atau *Overload Relay* adalah peralatan *switching* yang peka terhadap suhu dan akan membuka atau menutup kontaktor pada saat suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kontrol listrik yang berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. Perintah trip tersebut yang akan menuju ke Generator Pembangkit sehingga Generator akan trip.

Pengaruh Saluran transmisi mempunyai resiko paling besar bila mengalami gangguan, karena ini akan berarti terputusnya kontinuitas penyaluran beban. Terputusnya penyaluran listrik dari pusat pembangkit ke beban tentu sangat merugikan bagi pelanggan terutama industri, karena berarti terganggunya kegiatan operasi diindustri tersebut. Akan tetapi adakalanya gangguan tersebut tidak dapat dihindari. Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem proteksi transmisi yang dapat memisahkan bagian yang terganggu dari sistem. Proteksi berbeda

dengan pengaman. Jika pengaman suatu sistem berarti sistem tersebut tidak merasakan gangguan sekalipun. Sedangkan proteksi merasakan gangguan tersebut namun dalam waktu yang sangat singkat dapat diamankan. Sehingga sistem tidak mengalami kerusakan akibat gangguan yang terlalu lama. Sistem proteksi sistem tenaga listrik adalah pengisolasian kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik untuk meminimalisir pemadaman dan kerusakan yang lebih lanjut.

Pada sistem proteksi di PLTGU Unit Pembangkitan Gresik terdapat sistem Proteksi HV Line yang apabila terjadi gangguan pada sistem transmisi maka dari sisi pembangkitan akan di beri perintah shutdown, hal ini dimaksudkan agar kerusakan yang terjadi saat terjadi gangguan tidak menyebar terlalu luas dan semakin parah. Sistem HV Line Protection di PLTGU terdiri dari 3 input-an, yaitu *breaker failure, branch breaker protection, Sf6 protection*.

2.5. Circuit breaker

Circuit breaker adalah saklar elektrik yang berfungsi otomatis untuk mencegah kerusakan terjadi pada sirkuit listrik dikarenakan adanya hubungan singkat atau short circuit, beban berlebihan atau overload, dan gangguan ke tanah atau ground fault. Salah satu bahaya dari penggunaan arus listrik yang tidak benar adalah terjadinya hubungan pendek terjadi karena aliran listrik lebih besar daripada tahanan listrik sehingga menyebabkan arus meledak, memotong sirkuit listrik dan menghentikan aliran listrik. Pada panel listrik terdapat circuit breaker yang memproteksi dari arus pendek. Arus pendek berbahaya karena dapat

menyebabkan percikan api yang kemudian menyebabkan kebakaran. Hal ini membahayakan nyawa pekerja maupun masyarakat di sekitarnya.

Salah satu tipe circuit breaker adalah MCB atau Miniature Circuit Breaker.

Keuntungan circuit breaker tipe MCB adalah:

1. Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa sekaligus meskipun hanya salah satu fasa yang mengalami hubungan singkat.
2. Dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hubung singkat atau beban lebih.
2. Mempunyai respon yang baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih.

Tentunya berbagai jenis dan tipe dari *Circuit Breaker* harus disesuaikan dengan kondisi dan jumlah beban (arus dan tegangan) yang melaluinya

a. LowVoltage

Untuk jenis PMT tegangan rendah, kita tentunya sering menemukan jenis ini pada panel pembagi beban (Besaran yg efektif berkisar 15 A s/d 1500 A). Yang harus diperhatikan dalam jenis PMT ini adalah Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem. Dan juga arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya, dan nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.

b. HighVoltage

Klasifikasi PMT untuk tegangan tinggi berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

- a. Sakelar PMT Minyak: Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV.
- b. Sakelar PMT Udara Hembus (*Air Blast Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.
- c. Sakelar PMT vakum (*Vacuum Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV.
- d. Sakelar PMT Gas SF₆ (*SF₆ Circuit Breaker*): Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.

Circuit breaker sendiri adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik. High voltage circuit breaker adalah sebuah breaker yang menghubungkan tegangan yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik ke itransmisi jaringan listrik. Breaker failure adalah kegagalan sistem yang terjadi pada High Voltage Circuit Breaker baik dari gangguan ataupun dari ketidaknormalan status pada breaker tersebut. Breaker failure mempunyai sistem proteksi sendiri yang apabila terjadi kerusakan / abnormal status di breaker tersebut maka akan melepas breaker tersebut dan salah satu outputnya masuk ke sistem proteksi

HV Line di pembangkit yang mana akan memerintahkan pembangkit untuk shutdown / trip.

Circuit Breaker (PMT) 150 KV GITET Gresik

PMT terpasang adalah jenis triple pole operation dengan type 8DP3 dengan gas SF₆ sebagai media pemadam busur api.[6]

Masing – masing terdiri dari 1 (Satu) unit pemutusan.

1. Data Teknik Umum :

| | |
|----------------------------------|----------|
| Rated Voltage | : 170 KV |
| Rated Frequency | : 50 Hz |
| Rated Normal Current | : 3150 A |
| Rat. Short Cir. Breaking Current | : 40 KA |

2. Recovery Voltage :

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Crest Value | : 364 KV |
| First Pole to Clear Factor | : 1.5 KV/us |
| Rate Of Rise | : 2 |
| Rat. Short Cir. Breaking Current | : 108 KA |
| Rat. Short Circuit Duration | : 1s |
| Operating Sequence | : O - 0.3S – CO - 1 min – CO |

3. Rat. Power Freq Withstand Voltage

| | |
|----------|----------|
| To Earth | : 460 KV |
|----------|----------|

A Cross the B : 460 KV

4. Rated Lightning Impulse Withstand

Voltage (1.2 / 50 us)

To Earth : 1050 KV

A Cross the Break : 1050 KV

Tahun Pembuatan : 1991

2.5.1. Gas Circuit Breaker

Gas Circuit Breaker (GCB) merupakan salah satu bagian penting dari sistem proteksi yang berfungsi sebagai saluran penghubung antara sistem pembangkitan dan jaringan transmisi milik PLN. GCB adalah sebuah sistem penghubung dan pemutus jaringan listrik yang dikemas dalam sebuah tabung non-ferro dan menggunakan bahan gas *Sulphurhexaflouride* (SF6) sebagai media isolasinya. Gas SF6 mempunyai sifat elektronegatif yang berperan untuk menghambat busur api yang mungkin terjadi ketika operasi switchgear[7].

Sifat gas SF6 murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu diatas 150° C, gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastic dan bermacam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi, Gas SF6 pada GCB berfungsi untuk meredam loncatan

bunga api listrik sekaligus mengisolasi antara bagian-bagian yang bertegangan.

Sebagai isolasi listrik, gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali udara) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF₆ ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terjadi karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka. Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 KA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 KV.

2.5.2. SF₆ Protection

SF₆ protection adalah gas sf₆ yang terdapat pada Insulated Phase Busbar (IPB) HV Line yang berfungsi sebagai peredam maupun sebagai isolasi karena mempunyai kandungan dielektrik yang bagus. Gas SF₆ adalah unsur campuran gas yang tidak beracun, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mudah terbakar. Sampai temperatur 500°C, gas ini mempunyai susunan molekul yang sangat stabil mendekati sifat gas mulia, tidak akan terurai dan tidak terjadi reaksi kimia dengan bahan lain. Dibandingkan dengan udara, gas SF₆ memiliki massa 5 kali lebih berat dengan sifat elektronegatif pada gas ini, serta energi ikat yang tinggi, gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik 2 ½ sampai 3 kali di banding udara. Stabilitas gas SF₆ begitu baik sehingga tidak menimbulkan adanya perubahan kimia pada temperatur tinggi. Pada media pengisolasi lain seperti minyak, mulai beroksidasi

dan rusak. Keunggulan kemampuan gas SF₆ dalam memadamkan busur api oleh karena sifat elektro negatifnya artinya molekul-molekulnya dengan mudah dan cepat menyerap elektron bebas pada lintasan busur api yang timbul diantara kontak pemutus tenaga (Circuit Breaker) untuk membentuk lon negatif. Oleh karena kelebihan-kelebihan yang dimilikinya tersebut maka gas SF₆ banyak dipakai dalam bidang teknik elektro seperti pada switch gear tegangan tinggi, kabel tegangan tinggi dan seluruh transmisi serta pada trafo daya. Gas SF₆ dijaga tekanannya untuk mengetahui habis atau tidaknya kandungan gas di IPB HV line, output dari sensor tekanan ini salah satunya perintah trip ke pembangkit di PLTGU UP Gresik.

2.5.3. Circuit Breaker Failure



Gambar 2.9. Breaker Failure Protection

Pada Gambar 2.9. merupakan gambar *Breaker Failure Protection*. *Circuit Breaker Failure* (CBF) merupakan proteksi jika terjadi kegagalan trip PMT maka

akan memerintahkan seluruh PMT trip. CBF ini hanya ada di Gardu Induk 1 ½ breaker dan gardu induk yang terhubung langsung dengan pembangkit.

Sistem proteksi kegagalan pemutus (CBF) bekerja pada saat relai lokal memberikan perintah pemutusan (trip), tetapi pemutus (PMT) gagal membuka untuk memutuskan arus gangguan. Pola proteksi kegagalan pemutus (CBF) dirancang sederhana terdiri dari detektor gangguan, indikasi status pemutus, dan relai waktu yang akan bekerja ketika relai proteksi saluran memberikan perintah pemutusan. Setelah waktu tunda tertentu (umumnya 10 s.d. 20 siklus), proteksi CBF akan memberikan perintah trip kepada semua pemutus terkait. Jika sistem CBF ini sering bekerja, detektor gangguan lebih baik disetel diatas arus pembebanan maksimum dan dibawah arus gangguan minimum di saluran transmisi tersebut. Jika detektor gangguan diaktifkan hanya pada saat skema kegagalan pemutus aktif, setelan nilai kerja bisa disetel dibawah arus pembebanan maksimum.

2.5.4. Branch Breaker Failure



Gambar 2.10. Branch Breaker Failure

Pada Gambar 2.10. merupakan gambar *Branch Breaker Failure Protection*. Branch Breaker Failure (BBF) adalah titik percabangan pada sistem transmisi. terdapat sistem proteksi untuk branch/percabangan tersebut untuk kehandalan jaringan. Prinsipnya sama seperti Relay Differential yaitu bekerja berdasarkan perbandingan arus masukan dan arus keluaran. Jika terjadi perbedaan maka relay akan mendeteksi adanya gangguan pada peralatan yang diamankan. Relay ini efektif untuk mengamankan gangguan yang bersifat internal. Untuk gangguan yang bersifat eksternal, arus masukan dan arus keluaran transformator sama besar meskipun arus tersebut melebihi arus maksimal transformator, oleh sebab itu relay tidak meresponnya sebagai gangguan. BBF ini tidak hanya memproteksi PMT namun bekerja pada SF6 proteksi juga.

2.6. Root Cause Failure Analysis (RCFA) dan Failure Defense Task (FDT)

Root Cause Failure Analysis (RCFA) adalah sebuah rangkaian langkah logik yang menuntun pengamat melalui proses yang memisahkan fakta fakta yang mencakup sebuah kegiatan atau kegagalan. Ketika sebuah masalah sudah terdefinisi, analisis ini secara sistematis akan menentukan hal yang paling tepat untuk dilakukan yang akan mengatasi sebuah masalah dan menjamin masalah itu tidak akan terulang kembali. Tujuan utamanya adalah mencari penyebab terjadinya ketidakefisienan dan ketidakekonomisan, mengoreksi penyebab kegagalan (tidak hanya berkonsentrasi pada efeknya saja), membangkitkan semangat untuk melakukan improvement secara kontiniu dan menyediakan data untuk mencegah terjadinya kegagalan.[8]

RCFA berkonsentrasi secara proaktif mencari penyebab terjadinya kegagalan dimana biasanya dilakukan pada suatu peralatan yang keagalannya selalu berulang, metode penyelesaiannya bisa dilakukan dengan fishbone sehingga akar penyebab kegagalan bisa dapat ditemukan. Hasil dari RCFA berupa Failure Defense Task (FDT), yaitu rekomendasi yang dibuat agar tidak terjadi kejadian berulang.

RCFA menyediakan konsep yang diperlukan untuk melakukan pemecahan masalah industri secara efektif untuk melakukan investigasi. Ini menjelaskan metodologi untuk menganalisa kegagalan penyebab. RCFA mencakup desain peralatan terperinci dan pedoman pemecahan masalah, yang diperlukan untuk melakukan RCFA.[9]

Berikut adalah langkah langkah yang dilakukan dalam RCFA:

1. Melaporkan Sebuah Kejadian atau Masalah.

Laporan ini Biasanya adalah laporan secara lisan, catatan singkat dari kejadian atau masalah yang terjadi dan catatan di log book produksi. Dalam beberapa kasus laporan ini bukan merupakan deskripsi lengkap dari suatu masalah atau kejadian akan tetapi sebuah deskripsi singkat dari gejala yang dirasakan yang diamati oleh orang yang melaporkan masalah tersebut.

2. Klasifikasi Kejadian

Klasifikasi dari masalah yang umum terjadi adalah kerusakan alat atau kegagalan, Kinerja Operasi, Kinerja Ekonomik, Keamanan , Keluhan tentang Peraturan.

- a. Kerusakan alat atau kegagalan

Kerusakan alat ini adalah hal paling mudah untuk diklasifikasikan karena hanya dengan inspeksi visual saja sudah bisa mengetahui kerusakan dari alat tersebut. Akan tetapi melalui inspeksi visual tidak akan bisa mengetahui penyebab kegagalan dari alat tersebut.

b. Kinerja Operasi

Dalam kinerja operasi ini masalah yang biasanya terjadi adalah dari segi produksi dan kualitas dari sebuah produk yang tidak sesuai harapan. Dalam hal ini diperlukan sebuah analisa untuk memperbaikinya agar industri atau produsen bisa berjalan dengan baik

c. Kinerja Ekonomik

Analisa dalam kinerja ekonomik ini dilakukan untuk menanggulangi seperti biaya

d. Pengolahan Data dan Analisa Menggunakan RCFA :

Setelah penentuan komponen kritis, maka data yang akan dianalisa kerusakannya dengan menggunakan metode RCFA dengan skema Fishbone Diagram. [10]

- 1) Menyepakati pernyataan masalah
- 2) Mengidentifikasi kategori-kategori
- 3) Menemukan sebab-sebab potensial dengan cara brainstorming
- 4) Mengkaji sebab-sebab yang paling mungkin
- 5) Ringkasan analisa kegagalan
- 6) Tindak lanjut