

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Tinjauan pustaka adalah referensi yang diambil dari penelitian terdahulu yang terkait, berupa jurnal ilmiah, *paper conference* atau prosiding secara global; minimal terindeks pada *Google Scholar*; dan memiliki topik yang relevan dengan topik skripsi ini. Pada saat penelitian skripsi telah berjalan, beberapa ringkasan dari penelitian tersebut akan dibahas pada sub-bab ini.

Dekri Septiantp dkk (2016), Tentang “Studi Perancangan Pemasangan Genset Emergency pada gedung C fakultas teknik Universitas Riau, genset yang dipasang di gedung ini hanya untuk mensuplai lantai 3 pada gedung saja, jadi ketika sumber energi dari PLN mati maka lantai 1 dan lantai 2 tidak mendapatkan energi listrik dari genset. Dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP dan disimulasikan menggunakan proteus mendapatkan hasil prioritas pemakaian arus genset dibagi menjadi 8 prioritas.

Staff Pengajar Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin (2014), tentang “Power Management PLN-Genset Pada Bank Indoneisa Cabang Banjarmasin” kota Banjarmasin sering terjadinya pemadaman listrik dari pihak PLN untuk itu di butuhkan generator sebagai back up energi listrik. Untuk memindahkan aliran listrik dari PLN dan genset maka diperlukan alat *switch* yang saling *interlock*.

Anita Rahayu (2016), Tentang “Studi Perecangan Kapasitas Genset Sebagai Catu Daya Cadangan Pada Power Station Bandara Soekarno-Hatta”. Agar suplai energi listrik bandara soekarno hatta tetap terjaga maka perlu adanya cadangan suplai menggunakan generator set. Kapasitas generator juga disesuaikan dengan kebutuhan beban badara. Dalam perancangan dan perhitungan generator set yang dibutuhkan ditekankan pada DED (*Detail Engineering Design*). Factor penting dalam perancangan ini adalah *Demond factor*, kapasitas daya dan rating kinerja.

Hidayah Aprilawati (2007), Tentang “Perancangan Unit Instalasi Genset di PT ALCHI TEX Indonesia” dalam melakukan aktifitas produksi PT ALCHI TEX Indonesia hanya menggunakan satu energi listrik, karena belum mempunyai energi cadangan. Untuk itu dibutuhkan genset untuk *membbackup* energi listrik jika terjadi

gangguan pada sumber energi listrik dari PLN. Genset adalah suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

I Nyoman Setiawan dkk (2014), Tentang “Analisa Sistem Kelistrikan Dan Sistem Backup Pada *Air Traffic Control* di Bandara Internasional Ngurah Rai Bali” transportasi udara adalah transportasi yang memiliki tingkat keamanan yang tinggi untuk itu dibutuhkan alat-alat berteknologi tinggi yang mengkomsumsi daya listrik. Sebagian besar kegiatan bandara diperlukan pasokan daya listrik, dalam hal ini suplay daya utama menggunakan PLN dan suplay cadangan menggunakan genset yang berfungsi sebagai sistem daya *standby* atau *offline* dan *Uninterruptible power supply* (UPS) sebagai daya cadangan terus menerus secara *online* yang harus tersedia pada bebab beban kritis.

Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin (2014) tentang, “Power Management PLN-Genset Pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin” mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini diantaranya yaitu efisiensi pada suatu generator akan baik apabila generator di bebani sampai dengan beban maksimum generator yang diberikan dan untuk laju penggunaan bahan bakar mesin disel sangat dipengaruhi oleh daya yang diserap terhadap lamanya waktu saat genset beroperasi baik posisi parallel maupun tidak.

Penelitian yang pernah dilakukan Hendrawan (2013) tentang “Analisa Back-up sistem Sebagai Penyuplai Daya Listrik Gedung Bertingkat Bogor Trade Mall”. menggunakan tiga Generator Set yang berkapastias masing masing 1000kVA yang terpasang secara *paralel*. Ketiga Generator set tersebut bekerja dengan baik untuk mem*Backp up* yaitu dengan kapasitas 2.400 kW, ketiga generator set yang diparaleldapat mem*back up* daya sebesar 2.285.203,2 Watt.

P. Sabto Budi (2013), tentang “Studi Perancangan Instalasi Genset Gedung Baru PT. AT Indonesia” PT AT Indonesia dalam mensuplai tenaga listrik berasal dari PLN dan menggunakan cadangan berupa generator set. Generator set bekerja secara otomatis sehingga pada saat listrik PLN mati maka genset langsung bekerja. Pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan besarnya kapasitas dan tegangan untuk menyesuaikan kebutuhan genset. Untuk mengetahui kapasitas majadi perlukan pengumpulan data dan simulsikan menggunakan *software* ETAP.

Rosyidi Anang Fikri (2017), tentang “Analisa Stabilitas Distribusi Listrik Pada Sistem Backup Gedung F kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta” untuk mencakupi kebutuhan listrik pada gedung perkuliahan perlu adanya alat berupa generator untuk membackup kebutuhan listrik sebesar 500 Kva dan 700Kva agar kebutuhan listrik dapat terpenuhi. Proses analisa meliputi pembuatan diagram listrik kondisi instalasi listrik apakah sudah sesuai dengan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

## 2.2 Dasar Teori

### 1. Segitiga daya

Efisiensi dari suatu instalasi tenaga listrik dapat diukur dari faktor daya atau dikenal dengan istilah  $\cos \varphi$ . Adanya faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan oleh beban dan besarnya tergantung dari karakteristiknya. Sinusoidal besaran  $\cos \varphi$  menunjukkan level dari daya reaktif yaitu  $0 \leq \cos \varphi \leq 1$  dengan persamaan faktor daya dapat dilihat sebagai berikut :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana daya dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Begitupun dengan daya semu dapat dirumuskan sebagai berikut

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (VA)} \dots\dots\dots (2.3)$$

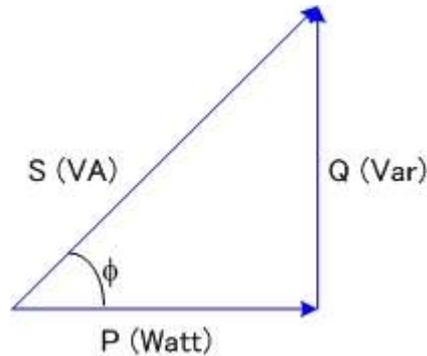
Sedangkan untuk daya reaktif dapat dirumuskan dalam persamaan berikut

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \text{ (VAR)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- $P$  = Daya Nyata (watt)
- $S$  = Daya Semu (VA)
- $\cos \varphi$  = Faktor Daya
- $V$  = Tegangan *line to line* (V)
- $I$  = Arus (A)
- $Q$  = Daya Reaktif (VAR)

Dari persamaan diatas dapat digambarkan dengan metode segitiga daya yang terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Gambar segitiga daya

Persamaan diatas mendefinisikan power faktor dengan sudut fasa. Dimana apabila sudut fasa semakin mendekati 1 maka akan mengecilkan daya reaktif yang di hasilkan.

### 2.2.2 Karakteristik Beban dan Faktor

Mengingat bahwa energi listrik tidak dapat disimpan maka perlu disesuaikan agar daya yang di bangkitkan oleh genset sama dengan kebutuhan beban. Beban selalu berubah-ubah sehingga daya yang di hasilkan oleh genset. Karakteristik beban listrik diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh thermis dari pembebanan dapat dianalisa dengan baik analisa tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan diproyeksikan dalam perancangan selanjutnya.

Faktor kebutuhan merupakan perbandingan antara beban puncak dengan beban terpasang pada suatu beban listrik. Besar *demand factor* dapat diketahui dengan persamaan

$$Demand\ Factor\ DF = \frac{Total\ Beban\ puncak}{Total\ beban\ yang\ terpasang} \dots\dots\dots (2.5)$$

Faktor kebutuhan dipakai untuk menentukan kapasitas dari peralatan listrik. Seperti genset yang di perlukan. Maka faktor kebutuhan sangat penting untuk menentukan pembiayaan.

Faktor kebutuhan dari beberapa jenis :

- a. Perumahan sederhana 50% - 75%
- b. Perumahan besar 40% - 65%
- c. Kantor 60% - 80%
- d. Toko sedang 40% - 60%
- e. Toko serba ada 70% - 90%
- f. industri sedang 35% - 65%

*Demon Factor* (DF) digunakan untuk mencari kapasitas daya genset yang digunakan. Setelah nilai dari *Demon Factor* didapatkan maka besar kapasitas daya genset dapat diketahui dengan persamaan :

$$\text{Kapasitas daya} = DF \times \text{Total beban terpasang} \times \text{Faktor keamanan trafo} \dots\dots\dots (2.6)$$

Adapun besar rating kinerja dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$\text{Rating kinerja genset} = \text{Kapasitas daya} \frac{\text{genset}}{\cos\phi} \dots\dots\dots (2.7)$$

### 2.2.3 Generator

Pada tahun 1831 Michael Faraday menemukan Generator untuk pertama kali dengan menggunakan induksi Elektromagnetik, dengan cara kerja generator listrik dengan memutar kumparan dalam medan magnet sehingga muncul energi induksi.

Generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Terdapat dua komponen utama yang ada pada generator

- a. stator (bagian diam)
- b. Rotor (bagian gerak)

Prinsip kerja dari generator itu sendiri ketika arus yang di alirkan ke kumparan rotor maka menghasilkan elektromagnetik besar yang membentuk kutub magnet. Magnet dari electromagnet akan keluar dari ujung kutub kumparan yang satu ke kutub kumparan yang lainnya dan memotong kumparan stator.

Jadi ketika rotor berputar maka di dalam kumparan stator akan menghasilkan sebuah GGL (gaya gerak listrik). GGL induksi terbentuk berupa gelombang sinus yang bias di sebut arus bolak balik (AC).

Sistem penyaluran generator adalah suatu generator listrik yang terdiri dari modul panel, generator berbahan solar dan terdapat beberapa pendingin yang di letakan pada mesin generator. Generator ini banyak digunakan di bangunan besar seperti rumah sakit perindustrian bandara untuk sumber daya energi yang selalu berkelanjutan. Generator yang digunakan juga harus berkapasitas besar untuk memback up semua energi listrik yang dibutuhkan.

#### **2.2.4 Generator Sinkron**

Generator sinkron (alternator) adalah mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub – kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub – kutub rotor tidak dapat tiba – tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala – jala. Generator sinkron mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun sumber dari energi mekanik tersebut adalah prime mover, baik mesin diesel, turbin uap, turbin gas, turbin air atau perangkat sejenis lainnya. Tegangan output dari generator sinkron adalah tegangan bolak-balik, karena itu generator sinkron disebut juga generator AC.

Hubungan kecepatan putar dengan putaran rotor di sebut frekuensi dengan satuan besaran Hz. Adapun persamaan antara kecepatan putar medan magnet dengan frekuensi listrik pada stator yaitu

$$n = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

F = Frkuensi Listrik (Hz)

P = Jumlah Kutub

N = Kecepatan putar rotor (rpm)

Putaran yang di hasilkan oleh rotor akan diinduksikan pada kumparan yang menghasilkan fluks magnetik yang besarnya akan berubah-uba di tiap waktu yg berbeda, fluks magnet yang berubah-ubah akan menghasilkan GGL induksi pada ujung kumpara yang terdapat dalam persamaan :

$$E_{eff} = 4,44 \times f \times \phi_m \times N \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$E_{eff}$  = ggl Induksi efektif (vold)

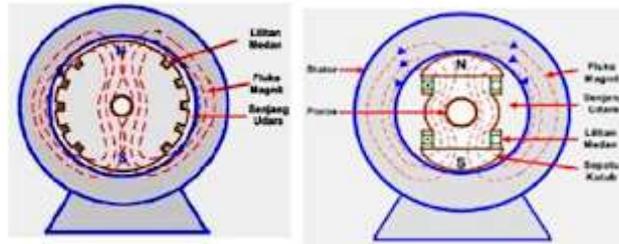
F = Frekuensi listrik

$\phi_m$  = Fluks magnetic (weber)

N = Jumlah lilitan

#### 2.2.4.1 Kontruksi Generator Sinkron

Kontruksi generator sinkron pada dasarnya kontruksi sinkron adalah sama dengan kontruksi motor sinkron, dan secara umum biasa disebut mesin sinkron. Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC (membangkitkan medan magnet, biasa disebut sistem eksitasi) dan sebuah kumparan (biasa disebut jangkar) tempat dibangkitkannya GGL arus bolak balik. Hampir semua mesin sinkron mempunyai belitan GGL berupa stator yang diam dan struktur medan magnit berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber DC luar melalui slipring dan sikat arang, tetapi ada juga yang tidak mempergunakan sikat arang yaitu sistem “*brushless excitation*” . bentuk rotor dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 A. Bentuk rotor kutub silinder dan b, bentuk stator kutub menonjol

### 2.2.4.2 Regulasi Tegangan Generator Sinkron

Perubahan beban yang terdapat di generator sinkron mengakibatkan berubahnya tegangan, besarnya perubahan terjadi tidak hanya di tegangan beban saja tetapi terjadi karena factor daya. Hal inilah mengakibatkan adanya regulasi tegangan. Regulasi tegangan adalah perubahan tegangan jepit atau tegangan terminal pada generator sinkron dalam keadaan berbeban penuh atau tanpa beban, persamaan regulasi tegangan dalam persamaan berikut:

$$\% \Delta V = \frac{E_o - V}{V} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

$E_o$  = Tegangan tanpa beban (volt)

$V$  = Tegangan dengan beban (volt)

### 2.2.4.3 Kinerja Paralel Generator Sinkron

Paralel Generator sinkron adalah untuk menggabungkan 2 buah generator atau lebih secara bersamaan. Sistem paralel ini mempunyai tujuan untuk menghasilkan daya yang lebih besar sebagai cara untuk memenuhi kebutuhan beban. Dalam segi efisiensi sistem paralel generator ini dapat menghemat biaya operasional dan biaya ekonomi dari pembelian kapasitas generator. Sistem ini disebut juga sinkronisasi generator.

Adapun persyaratan untuk sistem paralel generator:

1. Generator satu dengan yang lain harus mempunyai amplitude dan tegangan yang sama.

2. Pengaturan frekuensi generator harus diatur sama antara generator satu dengan yang lainnya.
3. generator mempunyai sudut fasa yang sama
4. fasa pada generator satu dengan yang lainnya harus berurutan

Ada dua cara sistem paralel tersebut, yaitu secara manual maupun otomatis. Ketika generator dinyatakan aman dapat di paralel maka sinkronisasi generator secara manual dapat dilakukan dengan mengandalkan peralatan dan ketelitian operator. Beberapa peralatan untuk sinkronisasi generator secara manual yaitu *dobel voltmeter*, *synchroscope*, *double frekuensi meter*, lampu indikator

Sinkronisasi generator otomatis, dilakukan dengan motor potensiometer guna melakukan pengaturan kecepatan yang di operasikan. Potensiometer ini berfungsi untuk mengatur sebuah kecepatan mesin yang akan menghasilkan frekuensi listrik. Waktu yang dibutuhkan untuk sinkronisasi berbeda-beda dimulai dari  $\frac{1}{2}$  detik. Menggunakan potensiometer berfungsi mengatur frekuensi listrik untuk menyamakan fasa generator yang ada pada bus aktif.

#### **2.2.4.4 Generator Tanpa Beban**

Suatu mesin sinkron berfungsi sebagai generator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $i_f$ ), maka pada kumparan jangkar akan diinduksikan tegangan tanpa beban ( $E_o$ ). Arus jangkar tidak akan mengalir pada stator dalam keadaan tanpa beban sehingga tidak ada reaksi jangkar. Fluks dihasilkan oleh arus medan ( $i_f$ ). Ketika arus medan dinaikan maka dapat mempengaruhi keluaran tegangan. Dimana tegangan keluar juga akan naik sampai ke titik saturasi.

#### **2.2.4.5 Generator berbeban**

Pada generator yang diberi beban berubah-ubah maka yang terjadi tegangan terminal V akan ikut berubah-ubah pula, hal ini terjadi karena kerugian tegangan antarlain

##### **a. Resistansi Jangkar**

Resistensi jangkar mengakibatkan terjadinya kerugian tegangan jatuh dan arus  $R_a$  yang sefasa dengan arus jangkar

b. Reaktansi Bocor Jangkar

Ketika arus mengalir melalui penyalur jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak berakibat pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini sering disebut “fluks bocor”

c. Reaksi Jangkar

Pada saat arus sudah mengalir pada kumparan jangkar saat generator diberi beban, maka timbul fluks jangkar ( $\phi_A$ ) yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan rotor ( $\phi_F$ ), sehingga menghasilkan fluks resultan sebesar

$$\phi_R = \phi_F + \phi_A \dots \dots \dots (2.11)$$

Persamaan tegangan ketika generator sinkron berbeban :

$$E_a = V_\phi + I_a R_a + j I_a X_s \dots \dots \dots (2.12)$$

$$X_s = X_L + X_a \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

$E_a$  = Tegangan induksi pada jangkar per fasa (volt)

$V_\phi$  = Tegangan terminal output per fasa (Volt)

$R_a$  = Resistensi jangkar per fasa (Ohm)

$X_s$  = Reaktansi sinkron per fasa (ohm)

$X_L$  = Reaktansi bocor per fasa (Ohm)

$X_a$  = Reaktansi reaksi jangkat per fasa (Ohm)

**2.2.4.6 Efisiensi Generator**

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output generator yang berbanding lurus dengan daya input mekanis generator. Dimana persamaan efisiensi generator adalah:

$$Efisiensi (n) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

n = Efisiensi generator

$P_{out}$  = Daya output generator untuk beban (watt)

$P_{in}$  = Daya mekanik output generator (watt)

## 2.2.5 Generator Set

Untuk mengantisipasi terjadinya pemutusan aliran listrik dari PLN yang disebabkan karena adanya gangguan, maka gedung harus menyediakan pembangkit listrik yang juga bekerja sebagai *back-up* energi listrik. Pembangkit yang banyak digunakan sebagai *back-up* pada umumnya berupa generator set (genset). Genset adalah mesin atau perangkat yang berfungsi sebagai penghasil energi listrik. Kenapa genset, karena perangkat ini merupakan gabungan dari dua peralatan yang berbeda, yaitu *engine* dan generator. *Engine* adalah perangkat penggerak sedangkan generator adalah perangkat penghasil energi listrik. Gambar generator dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 generator

### 2.2.5.1 Prinsip Kerja Genset

Prinsip kerja alat ini yaitu mengubah energi gerak (kinetik) atau mekanik menjadi listrik, dimana mesin akan memutar generator dengan bantuan bahan bakar berupa solar atau bensin. *Output* energi listrik yang maksimal, apabila perputaran generator stabil. Maka dari itu, sistem penggerak ini sangat berpengaruh terhadap kinerja dari generator. Pada suatu gedung alat ini sangat dibutuhkan karena berguna untuk memenuhi kebutuhan listrik apabila suplai energi listrik dari PLN mengalami gangguan.

Pada suatu gedung, pembangkit jenis ini lebih cocok digunakan untuk *back-up* energi listrik apabila dibandingkan dengan pembangkit jenis lain. Hal tersebut dikarenakan perawatan dan pemeliharanya lebih mudah. Dua komponen yang ada pada genset yaitu

- a. *Prime mover* atau sering dikenal dengan penggerak awal, dalam hal ini berupa mesin diesel
- b. Generator sinkron yaitu suatu komponen utama yang digunakan sebagai penghasil energi listrik

#### **2.2.5.2 Rating Genset**

Besaran rating genset dibagi menjadi beberapa rating yaitu

##### a. *Continuous Power Rating*

Rating ini memikul beban yang konstan atau sedikit variasi dengan rating load factor normal mencapai 70% - 100% dalam waktu yang tidak terbatas per tahun. *Engine* dengan rating ini dapat di beri beban secara terus-menerus dengan 100% beban (Ekw). Rating ini disarankan untuk pembangkit listrik utama (*utility power supply*) yang bekerja secara terus menerus untuk menyuplai energi listrik.

##### b. *Standby power Rating*

*Standby power rating* ini diaplikasikan untuk beban yang bervariasi. *Load Factor* normal mencapai 70%. Jumlah waktu operasi pertahun selama 200 jam dan maksimal 500 jam. Rating ini biasa digunakan sebagai genset *back-up* energi listrik apabila sumber energi utama padam.

##### c. *Prime Power Rating*

*Prime Power Rating* biasa diaplikasikan untuk beban bervariasi dengan *Load Factor* mencapai 70% dalam waktu yang tidak terbatas pertahun. Beban maksimal 100% dengan tambahan 10% *overload capability* hanya boleh dioperasikan selama 1 jam dalam 12 jam operasi. Ketika pengoperasian *overload* tidak boleh melebihi dari 25jam per tahun. Rating ini disarankan pada pembangkit listrik untuk industri.

d. *Emergency Standby Power Rating (ESP rating)*

*Emergency Standby Power* normalnya *load factor* mencapai 70% dengan jumlah operasional 50 jam pertahun dan mamksimal 200jam pe tahun. Rating ini cocok untuk digunakan *building service standby*

**2.2.5.3 Keuntungan dan kerugian pemakaian mesin diesel sebagai prime mover**

Ada beberapa keuntungan dari pemakaian mesin diesel sebagai prime mover yaitu :

- a. Waktu pembebanan singkat.
- b. Desain dan instalasi yang sederhana.
- c. *Auxiliary equipment* sederhana.
- d. Konsumsi bahan bakar yang murah dan hemat.
- e. *Proses start* dapat dilakukan dengan mudah karena membutuhkan sedikit waktu untuk pemanasan barulah mesin dapat diberi beban.
- f. Mudah mematikan dengan kata lain mesin diesel dijalankan dengan tanpa beban sehingga lebih dingin kemudian baru dapat dimatikan.

Sedangkan untuk kekurangan dari pemakaian mesin diesel yaitu

- a. mesin diesel dengan berbobot sangat berat, hal tersebut berfungsi untuk menahan getaran serta kompresi yang tinggi.
- b. Semakin besar daya yang diinginkan maka dimensi dari mesin tersebut juga semakin besar.
- c. *Startup* awal sangat berat, dikarenakan butuh kompresi yang sangat tinggi

**2.2.5.4 Faktor Pertimbangan Untuk Genset**

Beberapa factor yang mempengaruhi pertimbangan pemilihan yang sesuai genset adalah:

- a. jarak antara beban dan genset harus dekat, dengan tujuan untuk mengurangi kerugian yang ditimbulkan konduktor
- b. tidak membutuhkan tempat yang terlalu luas dan tidak membutuhkan air yang terlalu banyak
- c. Transfer bahan bakar, pertimbangan untuk hal ini sangat perlu dilakukan untuk mengurangi jumlah biaya.

### 2.2.5.5 Konsumsi Bahan Bakar Diesel

Untuk mengetahui nilai konsumsi solar yang digunakan maka cara untuk mengetahui menggunakan persamaan berikut :

$$Q = k \times p \times t \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

$k = 0,21$  (factor ketetapan konsumsi solar per kilowatt per jam)

$p =$  Daya Genset (kVA)

$t =$  Waktu (jam)

$Q =$  Laju konsumsi bahan bakar (liter/jam)

### 2.2.5.6 Automatic Main Failure (AMF) dan Automatic Transfer Switch (ATS)

*Automatic Transfer Switch* (ATS) yaitu proses pemindahan listrik dari sumber energi listrik ke sumber energi listrik yang lain secara bergantian sesuai perintah program yang telah di seting. Sistem ATS adalah pengembangan dari COS (*Change Over Switch*) dua sistem tersebut memiliki perbedaan perbedaan terletak di sistem kerjanya, sistem COS dioperasikan dengan cara manual sedangkan ATS mempunyai proses kendali dengan cara otomatis.

*Automatic Main Failure* (AMF) menjeaskan cara kerja otomatis terhadap sistem kelistrikan apabila terjadi gangguan pada sumber listrik utama, istilah ini secara umum siring di istilahkan sebagai sistem kendali start dan stop generator baik itu diesel generator, gas generator, maupun turbin. *Automatic Main Failure* (AMF) dapat mengendalikan suatu alat dari suplai utama ke suplai cadangan.

Sumber energi listrik (PLN) tidak selalu menyalurkan listrik secara stabil terkadang terjadi gangguan. Ketika catu daya mengalami gangguan, maka AMF akan beroperasi dan memindah catu daya cadangan (Generator). Saat beroperasi, sumber listrik dari PLN teggangan mengalami fluktuasi atau naik turun. Sekiranya 10% dari tegangan normal atau hilang. Sehingga sinyal gangguan akan masuk ke AMF dan akan diproses. Sinyal diproses sehingga menghasilkan perintah ke penggerak, dapat berupa pemutusan kedua catu daya yang sedang beroperasi dengan sistem *interlock*.

### 2.2.6 Hubungan Generator dengan Penggerak Mula

Generator dihubungkan satu poros dengan mesin diesel. Pada saat mesin diesel akan start, Accu yang bertegangan 12/24 V akan mensuplai motor DC. Motor Dc ini yang nantinya akan menghidupkan mesin diesel dan generator yang mengikuti arah putaran diesel. Pada mesin diesel akan terjadi gerak mekanik yang akan memutar generator sehingga generator berputar dan menghasilkan tegangan. Sistem AMF ini akan memerintah start generator dengan secara otomatis ketika terjadi pemadaman energi listrik dari PLN.

### 2.2.7 Pengaman Genset

Pengaman genset digunakan untuk melindungi genset agar tidak rusak apabila sistem mengalami gangguan. Pengaman akan memutus aliran listrik antara genset dengan sistem yang mengalami gangguan. Adapun beberapa pengaman genset yaitu:

#### a. *Fuse sekering*

Sekering biasa di sebut pengaman lebur atau *fuse* yang berfungsi sebagai pengaman peralatan listrik dari *short* atau gangguan hubung singkat. Dalam pengaplikasian sekering dihubungkan dengan hantaran (R,S,T). Sekering ini memiliki karakteristik pemutus lebih cepat dibanding dengan MCB. Sekering Cuma dapat digunakan satu kali.

#### b. MCB (*Miniature Circuit Breaker*) ‘

MCB sering disebut sebagai perangkat pengaman otomatis. Alat ini bekerja memutuskan sirkuit secara otomatis apabila arus melewati atau melebihi seting dari MCB yang digunakan. Pengaman ini masih dapat di gunakan kembali setelah mengalami pemutusan akibat adanya gangguan arus hubung singkat dan beban yang melebihi kapasitas. Kemampuan MCB tidak seperti MCCB atau ACB yang mampu digunakan untuk arus di atas 1000A, batasan arus maksimal untuk MCB yaitu 63A.

#### c. MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)

MCCB adalah alat pengaman yang berfungsi untuk pengaman terhadap arus hubung singkat dan arus beban lebih. MCCB memiliki kemampuan reaktif tinggi dibandingkan MCB dan dapat di atur kebutuhannya. Kemampuan MCCB ada yg

mencapai 1000 A, beberapa pilihan MCCB dalam jumlah kutub (pole) yaitu: MCCB 2P, MCCB 3P, MCCB 4P. Sebagian besar MCCB digunakan untuk keperluan industry yang rata-rata mempunyai kebutuhan daya yang cukup besardan bisanya digunakan untuk listrik 3fasa yang membutuhkan pengaman berkapasitas besar.

d. ACB (*Air Circuit Breaker*)

ACB adalah alat yang berfungsi sebagai pemutus rangkaian listrik dengan memanfaatkan media udara untuk meredam burus api pada saat beroperasi. Alat ini memiliki kemampuan pemutus secara otomatis saat di bebani arus yang melebihi kapastas maksimal ACB yang digunakan. Kemampuan ACB yang digunakan mencapai 6000 A. ACB digunakan hanya untuk keperluan sistem kelistrikan industry yg menggunakan daya yang besar dan listrik 3 fasa. ACB ada 2 pilihan yaitu ACB 3P dan ACB 4P.

Untuk menentukan rating pengaman genset menurut PUIL 2000 pasal 5.6.1.2.3 yang berisi “Generator yang bekerja pada 65V atau kurang dan dijalankan oleh motor tersendiri, dapat dianggap telah diproteksi oleh gawai proteksi arus lebih yang mengamankan motor bila gawai proteksi ini bekerja kalau generator membangkitkan tidak lebih dari 150% dari arus pengenalan pada beban penuhnya”. Maka besar rating pengaman genset dapat di tentukan dengan persamaan:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{p}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$I_{(pengaman)} = 150\% \times I_n \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

- In genset = Arus pada genset (A)
- P = Daya genset (Watt)
- $V_{L-L}$  = Tegangan Line to Line (V)
- $\cos \varphi$  = Faktor daya

## **2.2.8 Penghantar**

### **2.2.8.1 Penjelasan Umum**

Penghantar umum yang digunakan adalah berupa kabel yang bermacam-macam jenisnya. Pada dasarnya kabel digunakan untuk mengaliri arus listrik. Kabel-kabel yang digunakan sangat banyak digunakan ragamnya oleh karena itu jenis kabel harus dinyatakan dalam bantuan huruf maupun angka.

suatu penghantar telah di atur dalam PUIL 2000. Menurut PUIL 2000 pasal 7.1.1 persyaratan umum penghantar “Semua penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan di uji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi yang berwenang”

Suatu penghantar dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Kabel instalasi yang digunakan untuk instalasi biasa digunakan untuk instalasi rumah tinggal, pabrik, dan lain-lain. Pemasangan kabel instalasi yaitu NYA, NYM, NYY.
- b. Kabel tanah yang tidak seperti kabel pada umumnya. Kabel ini dipasang di dalam tanah terdapat dua jenis kabel tanah yaitu kebel termoplastik tanpa perisai dan termoplastik berperisai.
- c. kabel fleksibel digunakan untuk menghubungkan peralatan rumah tangga.

### **2.2.8.2 Pemilihan penghantar**

Perhitungan penghantar *outgoing* genset menurut PUIL 2000 pasal 5.6.1.3 tentang “Penghantar dari terminal generator ke proteksi pertama harus mempunyai kemampuan arus tidak kurang dari 115% dari arus yang tertera pada plat nama generator”

Menurut PUIL 2000 pasal 5.5.3.1 tentang “penghantar sirkit akhir yang menyuplai motor tunggal tidak boleh mempunyai KHA kurang dari 125% arus pengenal beban penuh”

Ketika memilih penghantar maka yang harus diperhatikan adalah besarnya arus yang mengalir pada hantaran itu. Adapun dihitung dengan persamaan:

a. untuk arus searah

$$In = \frac{P}{V} (A) \dots \dots \dots (2.18)$$

b. Untuk arus bolak-balik satu fasa

$$In = \frac{P}{V \times \cos\phi} (A) \dots \dots \dots (2.19)$$

c. Arus bolak-balik tiga fasa

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi} (A) \dots \dots \dots (2.20)$$

d. Kemampuan hantar arus pada beban

$$KHA = I_{Nominal} \times 125\% \dots \dots \dots (2.21)$$

e. Kemampuan hantar arus pada outgoing genset

$$KHA = I_{Nominal} \times 115\% \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

$I_{Nominal}$  = Arus nominal beban penuh

KHA = Kemampuan hantar arus

$\cos\phi$  = Faktor daya

P = Tegangan

### 2.2.9 Program ETAP (*Elektric Transient and Analysis*)

*Software* yang digunakan untuk perancangan dan analisa menggunakan *software* ETAP (*Elektric Transient and Analysis*). *Software* ini sangat dibutuhkan untuk mempresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem tenaga listrik direalisasikan. *Software* ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline dan online. Dalam keadaan offline program ETAP digunakan untuk simulasi tenaga listrik dan untuk keadaan online program ETAP digunakan untuk pengelolaan data *realtime* untuk digunakan dan mengendalikan sistem secara *realtime*. Adapun analisa program ETAP untuk sistem tenaga listrik yaitu:

- a. Analisa hubung singkat.
- b. Analisa aliran daya.
- c. *Optimal capacitor placement*.
- d. Analisa transient, dll.

Adapun beberapa hal yang harus di perhatikan untuk menggunakan software ETAP yaitu:

- a. *Diagram Single Line* adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antar komponen listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan. *Diagram single line* ini digunakan untuk acuan pemasangan instalasi sistem kelistrikan.
- b. *Study case* berisi tentang parameter yang berhubungan dengan metode studi.
- c. *Library* yaitu informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sebuah sistem kelistrikan.
- d. Standar yang dipakai biasanya mengacu IEC dan ANSI.