

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Saat ini, penelitian mengenai analisis sistem kelistrikan pada gedung bertingkat menjadi tema yang sering diangkat dengan beberapa referensi sebagai pedoman. Oleh karena itu diambil beberapa referensi penulisan sebagai berikut:

Penelitian yang pernah dilakukan Rosyidi Anang fikri (2017), yang berjudul Analisis Stabilitas Distribusi Listrik Pada Sistem Back-up Gedung F Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menghasilkan kesimpulan bahwasanya beban gedung yang di *back-up* oleh generator tidak boleh melebihi batas kapasitas generator, karena dapat menyebabkan generator yang digunakan menjadi *overload* sehingga terjadi kerusakan pada generator.

Dekri Septiano dkk (2014), tentang Studi Perancangan Pemasangan Genset *Emergency* pada Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau, menghasilkan kesimpulan bahwa kebutuhan daya total emergency pada gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau sebesar 15175 Watt, sedangkan genset yang ada hanya mampu menyuplai beban sebesar 6336 Watt.

Selain itu ada beberapa penelitian serupa seperti, Hendrawan (2013) tentang “Analisa Back-up Sistem Sebagai Penyuplai Daya Listrik Gedung Bertingkat Bogor

Trade Mall” yang terdiri dari 7 lantai utama, dengan total beban terpasang pada gedung sebesar 6000 kVA dengan trafo 3 x 2000 kVA, dan sistem back-up genset 3 x 1000 kVA dimana karya ilmiah ini membahas kemampuan genset terhadap total daya yang terpasang.

Hasil penelitian oleh P.Sabto Budi (2013), tentang Studi Perancangan Instalasi Genset Gedung Baru PT. AT Indonesia memperoleh hasil kesimpulan yaitu rating pengaman dan penghantar yang digunakan pada sistem *back-up* atau instalasi genset pada gedung harus sesuai rating dan standar yang berlaku, hal tersebut bertujuan untuk memperoleh keandalan sistem.

Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin (2014) melakukan penelitian tentang “Power Management PLN-Genset Pada Bank Indonesia Cabang Banjarmasin”. 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 paralel maupun tidak.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 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 nyata 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 di rumuskan 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)

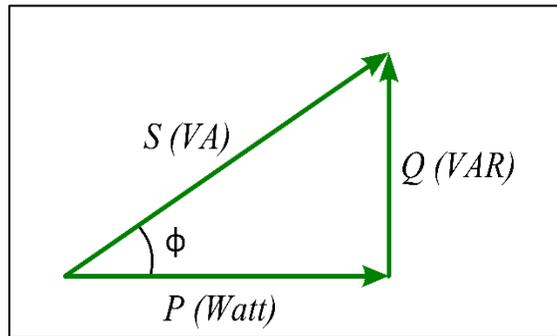
$\cos \varphi$ = Faktor Daya

V = Tegangan *line to line* (V)

I = Arus (A)

Q = Daya Reaktif (VAR)

Dari persamaan di atas dapat digambarkan dengan metode segitiga daya yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Segitiga daya*
 (Sumber: <http://AzlyRahmad.blogspot.co.id/> 2016/08/)

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

2.2.2 Karakteristik Beban dan Faktor Pusat Listrik

Mengingat bahwa energi listrik tidak dapat disimpan, maka perlu disesuaikan agar daya yang dibangkitkan oleh genset sama dengan kebutuhan beban. Pada umumnya, beban selalu berubah-ubah sehingga daya yang dihasilkan oleh genset selalu disesuaikan dengan beban yang berubah-ubah tersebut.

Faktor kebutuhan (*Demand Factor*) merupakan perbandingan antara beban puncak dengan beban terpasang pada suatu beban listrik. Besar *demand factor* dapat kita ketahui melalui persamaan berikut:

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

Faktor kebutuhan dipakai untuk menentukan kapasitas dari peralatan listrik seperti halnya genset yang diperlukan untuk melayani beban. Karena berpengaruh terhadap investasi, maka faktor kebutuhan menjadi sangat penting dalam menentukan pembiayaan.

Faktor kebutuhan dari beberapa jenis bangunan antara lain:

- 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%

Demand factor (DF) ini digunakan untuk mencari kapasitas daya genset yang digunakan, sesuai kebutuhan beban yang terpasang. Setelah nilai dari *deman factor* didapatkan, maka besar kapasitas daya genset dapat diketahui dari persamaan berikut:

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

Adapun besar rating kinerja genset dapat diketahui dari persamaan berikut:

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

2.2.3 Generator

Generator pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1831. Dengan menggunakan induksi elektromagnetik, generator listrik tersebut bekerja dengan memutar kumparan dalam medan magnet sehingga muncul energi induksi.

Terdapat dua komponen utama yang ada pada generator, yaitu:

- a. Stator (bagian yang diam)
- b. Rotor (bagian yang bergerak).

Prinsip kerja dari generator yaitu, ketika arus searah dialirkan ke kumparan rotor, maka akan menghasilkan elektromagnet besar yang membentuk kutub utara dan selatan. Magnet dari elektromagnet tersebut, akan keluar dari ujung kutub kumparan yang satu ke kutub kumparan yang lainnya dan memotong kumparan stator. Jika magnet rotor diputar, maka dalam kumparan stator akan timbul ggl (gaya gerak listrik). GGL induksi yang terbentuk berupa gelombang sinus, yang tidak lain adalah arus bolak-balik (AC).

Generator atau sistem generator penyaluran adalah suatu generator listrik yang terdiri dari modul panel, berbahan bakar solar dan terdapat kincir angin yang diletakkan pada radiator sebagai media pendingin mesin. Generator ini banyak digunakan di bangunan besar seperti di bandara, rumah sakit, dan perindustrian untuk memungkinkan sumber daya energi yang selalu kontinyu. Generator yang digunakan juga harus berkapasitas besar agar suplai energi listrik dapat terpenuhi.

2.2.4 Generator Sinkron

Saat ini hampir semua energi listrik dibangkitkan oleh mesin sinkron. Generator sinkron atau sering disebut *alternator* merupakan mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator ini dapat berupa generator sinkron AC tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa. Prinsip kerja generator sinkron dapat dianalisis melalui pengoperasian generator dalam keadaan berbeban, tanpa beban, menentukan reaktansi dan resistansi dengan melakukan percobaan tanpa beban, percobaan hubung-singkat, dan percobaan resistansi jangkar. Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator sinkron adalah berbanding secara langsung. (*Tri Watiningsih, dkk, 2013, Pembangkit Energi Listrik*).

Generator sinkron merupakan mesin sinkron yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik berupa putaran rotor digerakkan oleh penggerak mula *prime mover* yang akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor.

Hubungan antara kecepatan putar dengan putaran rotor tersebut disebut frekuensi dengan satuan besaran Hz. 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 = Frekuensi listrik (Hz)

p = Jumlah kutub

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

Medan putar yang dihasilkan oleh rotor akan di induksikan pada kumparan jangkar yang menghasilkan fluks magnetik yang besarnya akan berubah-ubah terhadap waktu. Fluks magnet yang berubah-ubah akan menghasilkan ggl induksi pada ujung kumparan yang terdapat dalam persamaan:

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

Dimana:

E_{eff} = ggl induksi efektif (Volt)

f = frekuensi listrik

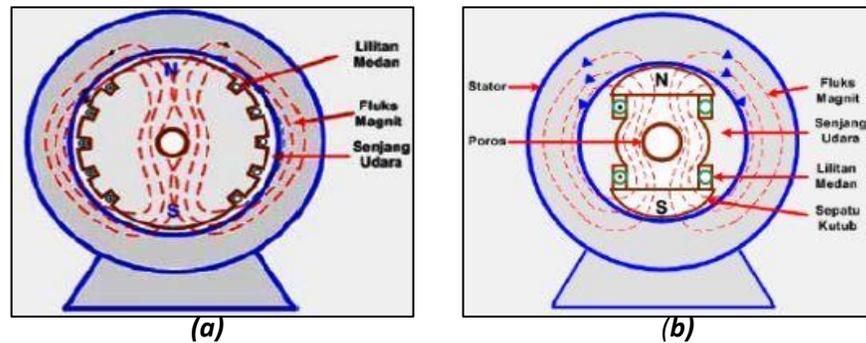
Φ_m = fluks magnetik (weber)

N = Jumlah lilitan

2.2.4.1 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron pada dasarnya sama dengan konstruksi motor sinkron, sehingga secara umum biasa disebut mesin sinkron. Terdapat dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC atau disebut kumparan medan dan sebuah kumparan atau disebut kumparan jangkar tempat dibangkitkannya GGL arus bolak-balik.

Mesin sinkron terdiri dari kumparan jangkar berupa stator yang diam dan medan magnet yang berputar sebagai rotor. Dimana medan yang berputar atau rotor dihubungkan pada sumber DC melalui cincin geser (slip ring) dan sikat arang (carbon brush), tetapi terdapat beberapa yang tidak menggunakan sikat arang yaitu sistem *brushless excitation*. Guna dari memberikan penguatan tegangan DC pada rotor yaitu untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan. Bentuk rotor generator dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 a. Bentuk rotor kutub silinder dan b. Bentuk stator kutub menonjol
(Sumber: <http://ArdhiJaja.blogspot.co.id/2011/09/>)

2.2.4.2 Regulasi Tegangan Generator Sinkron

Perubahan beban pada generator sinkron menyebabkan berubahnya tegangan pada terminalnya, besarnya perubahan tersebut tidak hanya dari perubahan beban saja tetapi juga tergantung pada faktor daya. Hal inilah yang mengakibatkan adanya istilah regulasi tegangan. Regulasi tegangan yaitu perubahan tegangan jepit atau tegangan terminal pada generator sinkron dalam keadaan tanpa adanya beban dengan beban penuh. Adapun persamaan regulasi tegangan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\% \Delta V = \frac{E_0 - V}{V} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

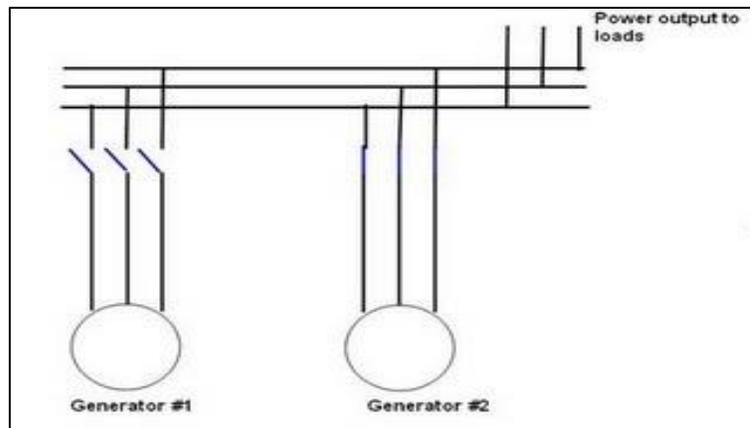
Dimana :

E_0 = Tegangan tanpa beban (Volt)

V = Tegangan dengan beban (Volt)

2.2.4.3 Kinerja Paralel Generator Sinkron

Paralel generator sinkron yaitu menghubungkan dua buah generator atau lebih secara bersamaan, sistem paralel ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan daya yang lebih besar yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban. Dalam hal efisiensi, hal ini dapat menghemat biaya pemakaian operasional dan biaya ekonomi dari pembelian kapasitas generator, serta menjamin kontinuitas ketersediaan listrik. Sistem paralel ini dapat disebut juga dengan sinkronisasi generator.

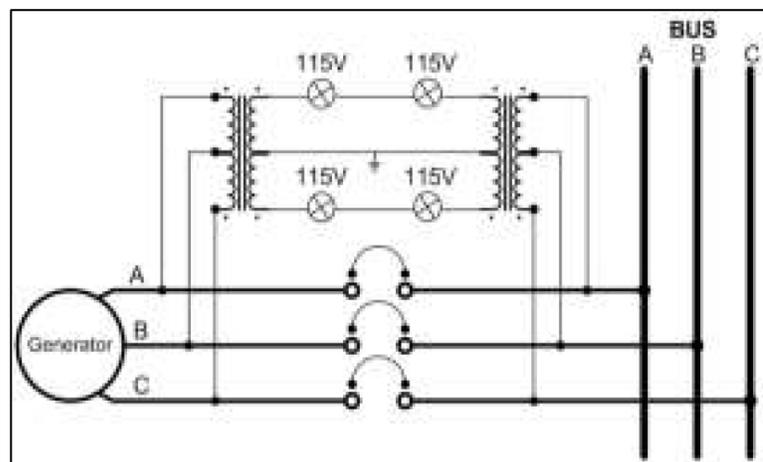


Gambar 2.3 Paralel generator
(Sumber: <http://ArdhiJaja.blogspot.co.id/2011/09/>)

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sebelum generator dapat di paralel dalam kondisi sinkron yaitu:

1. Tegangan antara generator satu dan generator yang lainnya harus memiliki besaran dan amplitudo yang sama.
2. Frekuensi antar generator harus diatur dengan besaran yang sama.
3. Sudut fasa kedua generator harus sama.
4. Urutan fasa antara generator satu dan yang lain harus sefasa.

Sistem paralel generator dapat dilakukan dengan dua acara yaitu cara manual dan otomatis. Sinkronisasi generator secara manual dilakukan dengan mengandalkan peralatan dan ketelitian operator ketika beberapa generator telah aman untuk dapat di paralel. Beberapa peralatan yang harus ada saat kondisi manual paralel generator adalah *dobel voltmeter*, *synchroscope*, *double* frekuensi meter, lampu indikator kondisi paralel generator.

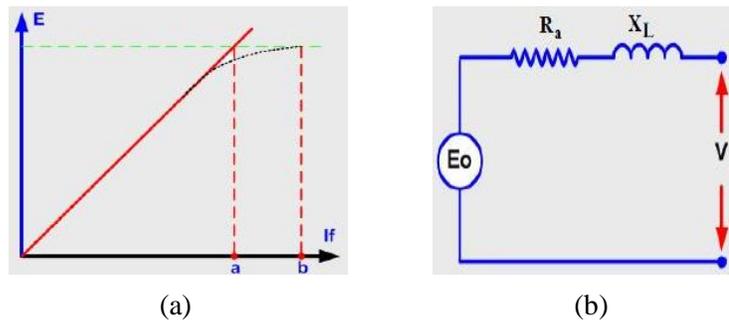


Gambar 2.4 Indikator lampu sinkronisasi generator sama fasa
(Sumber: SetiaGraha, 2014, Junal Poros Teknik)

Sinkronisasi generator secara otomatis dilakukan melalui pengaturan kecepatan yang dioperasikan dengan motor potensiometer. Potensiometer ini digunakan untuk mengatur kecepatan mesin yang akan menghasilkan frekuensi listrik. Potensio berfungsi mengatur frekuensi listrik untuk mencocokkan fasa generator mendekati dengan yang ada pada bus aktif. Waktu yang dibutuhkan untuk sinkronisasi bervariasi, dari $\frac{1}{2}$ detik ke atas. Sinkronisasi sangat bergantung pada seberapa dekat kecepatan governor dan seberapa dekat sinkronisasi cocok dengan frekuensi generator terhadap aktif bus.

2.2.4.4 Generator Tanpa Beban

Apabila suatu mesin sinkron berfungsi sebagai generator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban (E_o). Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila besar arus medan dinaikkan, maka akan mempengaruhi tegangan keluar, dimana tegangan keluar juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh). Kondisi generator tanpa beban ini bisa digambarkan rangkaian ekuivalennya seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 a). merupakan kurva ekuivalen generator tanpa beban, dan
 b). rangkaian ekuivalen generator tanpa beban
 (Sumber: <http://ApriApriyanto.Slideshere.net/2013/08/>)

Dimana :

ab = tahanan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh

R_a = tahanan stator

X_L = fluks bocor

$E_o = V$ (keadaan tanpa beban)

2.2.4.5 Generator Berbeban

Apabila suatu generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal V akan ikut berubah-ubah, hal ini disebabkan karena adanya kerugian tegangan pada:

a. Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar/fasa R_a mengakibatkan terjadinya kerugian tegangan jatuh/fasa dan arus R_a yang sefasa dengan arus jangkar.

b. Reaktansi Bocor Jangkar

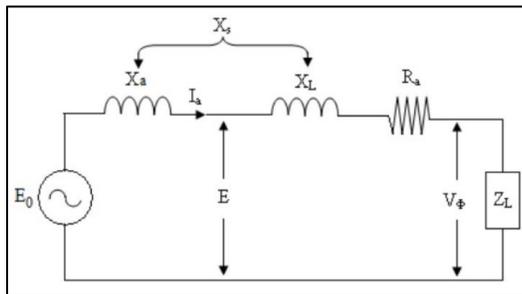
Ketika arus mengalir melewati penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak mengimbas pada jalur yang telah ditentukan, hal seperti ini sering disebut “fluks bocor”.

c. Reaksi Jangkar

Ketika adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat generator dibebani akan timbul fluks jangkar (ϕA) yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan medan rotor (ϕF), sehingga menghasilkan fluks resultan sebesar

$$\phi R = \phi F + \phi A \dots\dots\dots (2.11)$$

Adapun gambar rangkaian dan karakteristik generator sinkron berbeban dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian Generator Sinkron Berbeban
(Sumber: <http://ApriApriyanto.Slideshere.net/2013/08/>)

Persamaan tegangan ketika generator sinkron berbeban adalah:

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

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

Dimana:

E_a = Tegangan induksi pada jangkar per fasa (Volt)

V_ϕ = Tegangan terminal output per fasa (Volt)

R_a = Resistansi jangkar per fasa (Ohm)

X_s = Reaktansi sinkron per fasa (Ohm)

X_L = Reaktansi bocor per fasa (Ohm)

X_a = Reaktansi reaksi jangkar per fasa (Ohm)

2.2.4.6 Efisiensi Generator

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

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

Dimana :

n = Efisiensi generator

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

P_{in} = Daya mekanik output generator (Watt)

2.2.5 Generator Set (Genset)

Untuk mengantisipasi terjadinya pemutusan aliran listrik dari PLN yang disebabkan karena adanya gangguan, maka suatu gedung harus menyediakan

pembangkit listrik sendiri sebagai *back-up* energi listrik. Pembangkit yang banyak digunakan sebagai *back-up* biasanya berupa *generator set* (Genset). Genset adalah mesin atau perangkat yang memiliki fungsi sebagai penghasil energi listrik. Disebut dengan 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.

2.2.5.1 Prinsip Kerja Genset

Prinsip kerja alat ini yaitu mengubah energi gerak (kinetik) menjadi energi listrik, dimana mesin atau *engine* akan memutar generator dengan bantuan bahan bakar berupa solar atau bensin. Untuk mendapatkan *output* energi listrik yang maksimal, perputaran generator harus stabil. Maka dari itu, sistem penggerak atau *engine* 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.



Gambar 2.7 Bentuk penampang dari Generator Set (GenSet)
(Sumber: <http://SelvianHelma.blogspot.co.id/2014/08/>)

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

- a. *Prime Mover* atau sering dikenal dengan penggerak mula, dalam hal ini berupa mesin diesel/*engine*.
- b. Generator sinkron, suatu komponen utama penghasil energi listrik.

2.2.5.2 Rating Genset

Besaran rating genset dibagi dalam beberapa rating, diantaranya yaitu:

A. Continous Power Rating

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

B. Standby Power Rating

Rating ini diaplikasikan untuk baban yang bervariasi. *Load factor* normalnya mencapai 70%. Jumlah jam operasi per tahun selama 200 jam dan maksimum 500 jam. Rating ini cocok digunakan sebagai genset back-up energi listrik apabila suplai utama energi listrik padam.

C. *Prime Power Rating*

Diaplikasikan untuk beban yang bervariasi dengan *load factor* normal mencapai 70% dalam jam yang tidak terbatas per tahun. Beban maksimum 100% dengan tambahan 10% *overload capability* hanya boleh dioperasikan selama 1 jam dalam 12 jam operasi. Operasi *overload* tidak boleh lebih dari 25 jam per tahun. Rating ini disarankan pada pembangkit listrik untuk industri.

D. *Emergency Standby Power Rating (ESP Rating)*

Diaplikasikan untuk beban yang bervariasi. Normalnya *load factor* mencapai 70% dengan jumlah jam operasi per tahun selama 50 jam dan maksimum 200 jam. Rating ini cocok digunakan untuk *building service standby*.

2.2.5.3 Keuntungan dan kekurangan Pemakaian Mesin Diesel Sebagai

Prime mover

Beberapa keuntungan dari pemakaian mesin diesel sebagai *Prime Mover* antara lain yaitu:

- a. Desain dan instalasi yang sederhana.
- b. *Auxiliary equipment* yang sederhana.
- c. Waktu pembebanan relatif singkat.
- d. Konsumsi bahan bakar relatif murah dan hemat.

- e. Proses *start* dapat mudah dilakukan, membutuhkan sedikit waktu untuk pemanasan, kemudian mesin dapat dibebani.
- f. Mudah dimatikan, dengan kata lain mesin disel dijalankan tanpa beban terlebih dahulu hingga dingin kemudian mesin dapat dimatikan.

Sedangkan kerugian dari pemakaian mesin diesel sebagai penggerak mula yaitu:

- a. Mesin didesain dengan bobot yang sangat berat dikarenakan agar dapat 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 kompresinya tinggi yaitu sekitar 200bar.

2.2.5.4 Faktor Pertimbangan Untuk Genset

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertimbangan pilihan yang sesuai untuk genset diantaranya adalah:

- a. Jarak genset ke beban harus dekat, dengan tujuan agar dapat mengurangi rugi-rugi yang ditimbulkan oleh konduktor.
- b. Persediaan area yang tidak terlalu luas dan tidak membutuhkan persediaan air yang banyak.
- c. Transfer bahan bakar, pertimbangan ini sangat perlu dilakukan untuk mengurangi jumlah dana yang tidak perlu.

2.2.5.5 Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui nilai konsumsi solar yang digunakan genset kita dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = k \times P \times t \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

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

$P =$ Daya Genset (kVA)

$t =$ Waktu (Jam)

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

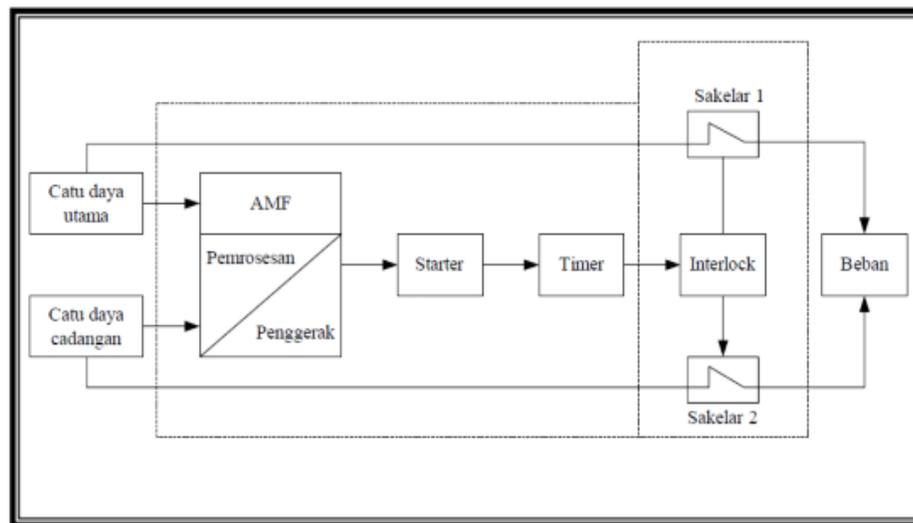
2.2.5.6 *Automatic Main Failure* (AMF) dan *Automatic Transfer Switch* (ATS)

Automatic Transfer Switch (ATS) yaitu proses pemindahan penyulang dari sumber listrik satu ke sumber listrik yang lain secara bergantian sesuai perintah program. Sistem ATS adalah pengembangan dari COS (*Change Over Switch*) perbedaan antara keduanya terletak pada sistem kerjanya, untuk ATS proses kendali kerjanya dilakukan secara otomatis, sedangkan COS dioperasikan secara manual.

Automatic Main Failure (AMF) menjelaskan cara kerja otomatisasi terhadap sistem terhadap sistem kelistrikan cadangan apabila terjadi gangguan pada sumber listrik utama (Main), istilah ini secara umum sering dijabarkan

sebagai sistem kendali start dan stop generator baik itu diesel generator, gas generator, maupun turbin.

Automatic Main Failure (AMF) dapat mengendalikan transfer suatu alat dari suplai utama ke suplai cadangan atau sebaliknya. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada Gambar 2.8.



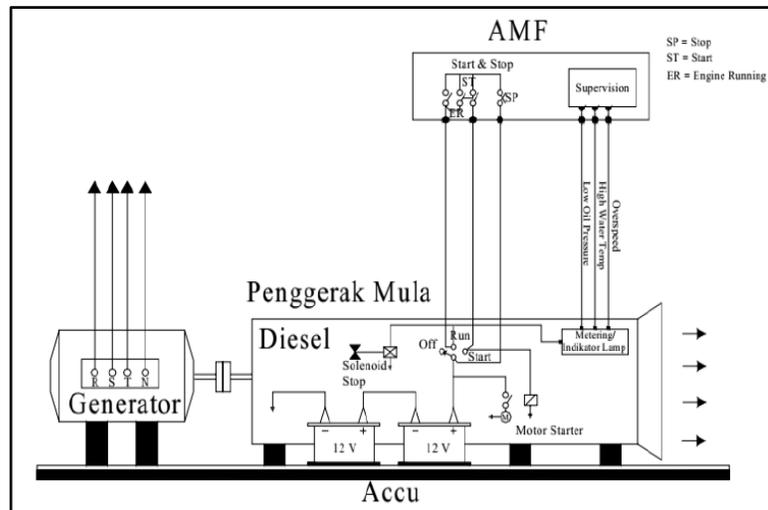
Gambar 2.8 Blok diagram proses kerja AMF dan ATS
(Sumber: <http://SelvianHelma.blogspot.co.id/2014/08>)

Catu daya utama (PLN) tidak selalu menyalurkan energi listrik secara penuh, terkadang dapat terjadi gangguan. AMF akan beroperasi saat catu daya utama (PLN) padam dan memindah catu daya cadangan (generator). Saat beroperasi, sumber listrik dari PLN tegangannya naik turun. Kira-kira 10% dari tegangan nominalnya atau hilang. Sehingga sinyal gangguan yang terdeteksi akan masuk ke AMF pada pemrosesan. Pada sistem AMF, sinyal diolah sehingga menghasilkan perintah ke penggerak, dapat berupa pemutusan kedua

catu daya yang sedang beroperasi dengan sistem saling mengunci (interlock), seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:

2.2.6 Hubungan Generator dengan Penggerak Mula (*Prime mover*)

Generator dihubungkan satu poros dengan mesin diesel. Pada saat genset akan *start*, accu yang tertegangan 12/24 V akan mensuplai motor DC. Motor DC ini yang nantinya akan menstarting diesel dan generator mengikuti arah putaran diesel. Pada mesin diesel akan terjadi gerakan mekanik yang akan memutar generator sehingga generator berputar dan mengeluarkan tegangan. Terlihat pula, bahwa AMF akan mengontrol keadaan diesel. Sistem AMF ini yang akan memerintah *start* generator secara otomatis ketika terjadi pemadaman energi listrik dari PLN. Gangguan seperti: *low oil pressure*, *high water temperature*, dan *overspeed* juga dapat dilihat pada panel AMF.



Gambar 2.9 Hubungan generator dengan penggerak mula (*Primeover*)
(Sumber: <http://SelvianHelma.blogspot.co.id/2014/08>)

2.2.7 Pengaman Genset

Pengaman genset digunakan untuk melindungi genset agar tidak rusak apabila pada sistem terjadi gangguan. Pengaman akan memutus aliran listrik antara genset dan sistem yang mengalami gangguan. Beberapa pengaman yang digunakan pada sistem keistrikan genset diantaranya yaitu:

a. *Fuse* Sekering

Sekring sering disebut juga dengan pengaman lebur atau *fuse* yang berfungsi sebagai pengaman peralatan instalasi listrik dari gangguan hubung singkat. Dalam pemasangannya, sekering dihubungkan pada hantaran fasa (R, S, T). pengaman ini memiliki karakteristik pemutusan lebih cepat dibandingkan dengan MCB. Pengaman ini hanya dapat dipakai satu kali dan tidak dapat dioperasikan kembali.

b. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB sering disebut sebagai pengaman otomatis. Alat ini berkerja memutuskan sirkit secara otomatis apabila arus yang melewatinya melebihi *setting* dari MCB yang digunakan. Pengaman ini masih dapat dioperasikan kembali setelah mengalami pemutusan akibat adanya gangguan arus hubung singkat dan beban yang berlebih. Kemampuan hantar arus maksimal MCB tidak seperti halnya MCCB ataupun ACB yang dapat digunakan untuk arus diatas 1000 A, Batasan arus maksimal yang dimiliki MCB hanya 63 A. Batasan arus pada MCB tidak bisa di *setting* seperti halnya MCCB dan ACB.

c. MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*)

Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) adalah alat pengaman yang berfungsi sebagai pengaman terhadap arus hubung singkat dan arus beban lebih. MCCB memiliki rating arus yang relatif tinggi dibandingkan MCB dan dapat diatur sesuai kebutuhan. Kemampuan pengaman MCCB ada yang mencapai 1000A. Beberapa pilihan MCCB dalam jumlah kutub (pole) yaitu: MCCB 2P, MCCB 3P, MCCB 4P. Sebagian besar MCCB digunakan untuk keperluan sistem kelistrikan industri yang menggunakan daya cukup besar dan biasanya digunakan untuk listrik 3 fasa, yang memerlukan kapasitas pemutus (*Breaking Capacity*) yang lebih besar.

d. ACB (*Air Circuit Breaker*)

ACB yaitu alat yang berfungsi sebagai pemutus rangkaian listrik dengan memanfaatkan udara untuk meredam busur api saat bekerja. Alat ini memiliki kemampuan pemutus secara otomatis saat dibebani dengan arus yang melebihi kapasitas maksimal ACB yang digunakan. Kemampuan hantar arus alat ini mencapai 6000 A. ACB hanya digunakan untuk keperluan sistem kelistrikan perindustrian yang menggunakan daya cukup besar untuk listrik 3 fasa. ACB hanya tersedia 2 pilihan jumlah kutub (pole), yaitu ACB 3P dan ACB 4P.

Untuk menentukan rating pengaman keluaran genset menurut PUIL 2000 pasal 5.6.1.2.3 yang berisi “generator yang bekerja pada 65 V 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 mambangkitkan tidak lebih dari 150% dari arus pengenal pada baban penuhnya”. Maka besar rating pengaman genset dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{L-L} \times \cos\phi} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$I_{(Pengaman)} = 150\% \times I_n \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

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

2.2.8 Penghantar

2.2.8.1 Penjelasan Umum

Penghantar yang digunakan adalah berupa kabel yang memiliki bermacam jenis. Secara umum kabel digunakan untuk mengalirkan arus listrik. Kabel-kabel yang digunakan sangat beragam jenisnya, oleh karena itu jenis kabel dinyatakan dalam bantuan singkatan huruf maupun angka.

Suatu penghatar untuk instalasi listrik telah diatur dalam PUIL 2000. Menurut PUIL 2000 pasal 7.1.1 persyaratan umum penghantar, bahwa “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”.

Dilihat dari berbagai jenisnya, suatu penghantar dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Kabel instalasi, digunakan untuk instalasi perancangan, jenis kabel yang banyak digunakan untuk instalasi rumah tinggal, pabrik, dan lain-lain. Dimana pemasangannya tetap yaitu NYA, NYM, dan NYY.
2. Kabel tanah, tidak seperti kabel pada umumnya, kabel ini pemasangannya di dalam tanah. Terdapat dua jenis kabel tanah yaitu kabel tanah termoplastik tanpa perisai dan kabel tanah termoplastik berperisai.
3. Kabela 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 yang berisi “penghantar dari terminal generator ke proteksi pertama harus mempunyai kemampuan arus tidak kurang dari 115% dari arus pengenal yang tertera pada pelat nama generator”.

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

Untuk memilih penghantar harus memperhatikan besarnya arus yang mengalir pada hantaran itu, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

- a. Untuk arus searah

$$In = \frac{P}{V} (A) \dots\dots\dots (2.17)$$

- b. Untuk arus bolak-balik satu fasa

$$In = \frac{P}{V \times \text{Cos}\varphi} (A) \dots\dots\dots (2.18)$$

- c. Untuk arus bolak-balik tiga fasa

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\varphi} (A) \dots\dots\dots (2.19)$$

- d. Kemampuan hantar arus pada beban

$$KHA = I_{Nominal} \times 125\% \dots\dots\dots (2.20)$$

- e. Kemampuan hantar arus pada outgoing genset

$$KHA = I_{Nominal} \times 115\% \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan:

$I_{Nominal}$ = Arus nominal beban penuh (A)

KHA = Kemampuan hantar arus (A)

P = Tegangan (V)

$\text{Cos}\varphi$ = Faktor Daya

2.2.9 Program ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

Dalam perancangan dan analisa suatu sistem tenaga listrik, software simulasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem tenaga listrik direalisasikan. ETAP 12.6.0 adalah suatu software komputer yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. ETAP mampu

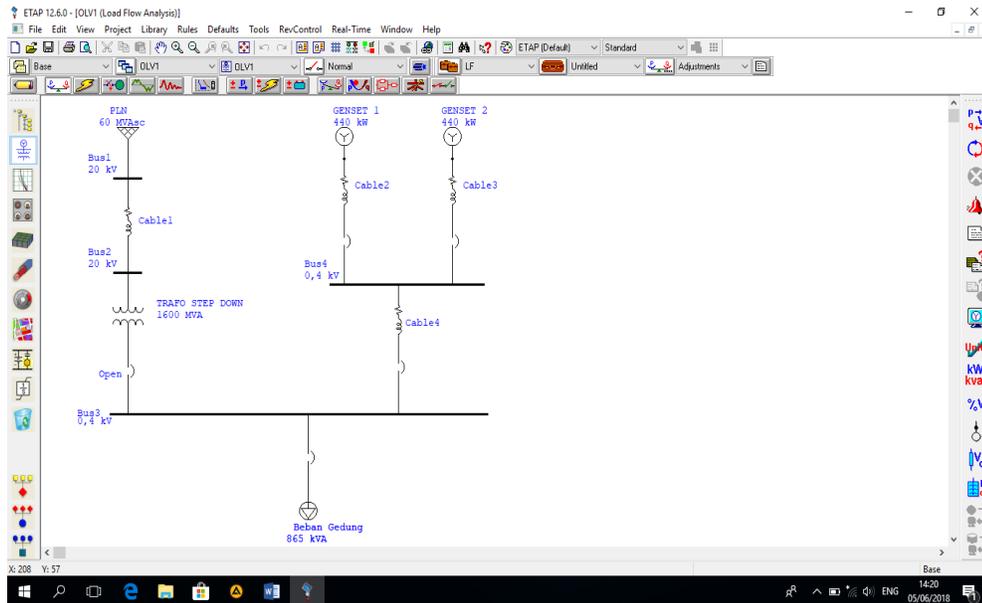
bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, dan *online* untuk pengelolaan data *realtime* untuk digunakan dan mengendalikan sistem secara *realtime*. Adapun analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain:

- a. Analisa aliran daya
- b. Analisa hubung singkat
- c. *Optimal Capacitor Placement*
- d. Starting motor
- e. Analisa kestabilan transient, dll.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan software ETAP *PowerStation* adalah:

- a. *Diagram Single Line*, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan. *Diagram single line* ini yang nantinya sebagai acuan pemasangan instalasi sistem kelistrikan.
- b. *Library*, yaitu informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanik dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi dan analisa.
- c. Standar yang dipakai biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- d. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

Program simulasi ETAP PowerStation 12.6.0 dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Program simulasi ETAP PowerStation 12.6.0