

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Dewasa ini penelitian mengenai analisis kelistrikan gedung bertingkat menjadi tema yang sering diangkat dengan beberapa referensi sebagai pedoman oleh karena itu di ambil beberapa referensi penulisan, sebagai berikut:

- a. Amrullah [2014] tentang Perencanaan Sistem Elektrikal dan Elektronik Proyek Pembangunan Hotel Fave Yogyakarta. Didalam penelitian tersebut yaitu merancang sistem elektrikal dan elektronik pada hotel yang terdiri dari lantai basement, lantai lobby, lantai 2-8, dan lantai atap dengan total daya perencanaan beban pada hotel dengan nilai daya semu ( $S$ ) = 506,6 kVA dan nilai daya aktif ( $P$ ) = 404,8kW, sehingga diperoleh kapasitas minimal transformator dan genset sebesar 545 kVA.
- b. Selain itu ada penelitian serupa seperti, Hendrawan [2013] tentang “Ananlisi Back-Up Sistem Sebagai Penyuplai Daya Listrik Gedung Bertingkat Bogor Trade Mall” yang terdiri7 lantai lantai, lantai basement, lower ground, ground floor dan lantai 1-4 dengan total beban pada gedung dengan total daya terpasang 6000 kVA dengan trafo 3 x 2000 kVA , dengan sistem Back-up berupa *Genset* 3 x 1000kVA dalam karya ilmiah ini membahas kemampuan *genset* terhadap total daya yang terpasang.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Generator Sinkron**

Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut *alternator*) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan. Generator sinkron yang dipergunakan ini mempunyai rating daya dari ratusan sampai ribuan mega Volt Ampere (MVA). Disebut mesin sinkron, karena bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan di bawah kondisi ”*Steady state*”. Mesin sinkron bisa dioperasikan baik sebagai generator maupun motor. Mesin sinkron bila difungsikan sebagai motor berputar dalam kecepatan konstan. Apabila dikehendaki kecepatan yang bersifat variabel, maka motor sinkron dilengkapi dengan dengan pengubah frekwensi seperti *inverter* atau *cyclo-converter*.

#### **2.2.1.1 Prinsip Kerja Generator Sinkron**

Sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal

(*internal pole generator*), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut  $120^\circ$

Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan menimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat DC mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (sinkron). Dilihat dari segi adanya interaksi dua medan magnet maka fungsi sudut kopelnya ( $\delta$ ).

$$T = Br B_s \sin \delta$$

### **2.2.1.2 Reaksi Jangkar**

Apabila generator sinkron melayani beban maka pada kumparan jangkar stator mengalir arus; dan ini akan menimbulkan fluks jangkar. Fluks jangkar yang ditimbulkan arus ( $\Phi_A$ ) akan berinteraksi dengan kumparan medan rotor ( $\Phi_F$ ), sehingga menghasilkan resultan fluks ( $\Phi_R$ ). Adanya interaksi ini dikenal sebagai reaksi jangkar.

$$\Phi_R = \Phi_F + \Phi_A$$

### **2.2.1.3 Generator Tanpa Beban**

Dengan memutar generator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ); tanggapan ( $E_o$ ) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

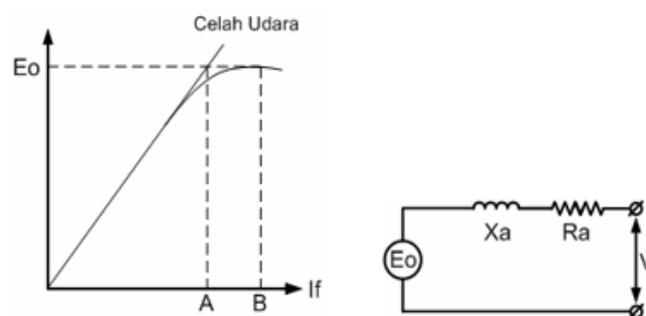
$$E_o = c n \Phi$$

$c$  = konstanta mesin

$n$  = putaran sinkron

$\Phi$  = fluks yang dihasilkan oleh  $I_f$

Dalam keadaan tanpa beban, arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ). Apabila arus medan ( $I_f$ ) diubah-ubah nilainya maka akan diperoleh nilai  $E_o$  seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Celah udara kurva kemagnetan merupakan garis lurus



Gambar 2.1 Kurva celah udara

AB = tahanan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh

$R_a$  = tahanan stator

$X_a$  = fluks bocor

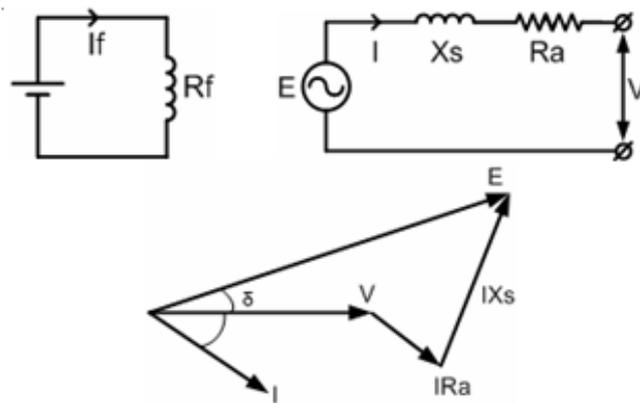
$E_o = V$  (keadaan tanpa beban)

#### 2.2.2.4 Generator Berbeban

keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai

reaktansi, dan disebut reaktansi pemagnet ( $X_m$ ).  $X_m$  ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor ( $X_a$ ) dikenal sebagai reaktansi sinkron ( $X_s$ ). Model rangkaian dan diagram vector dari generator berbeban induktif (pf lagging) , maka di dapat persamaan vektor :

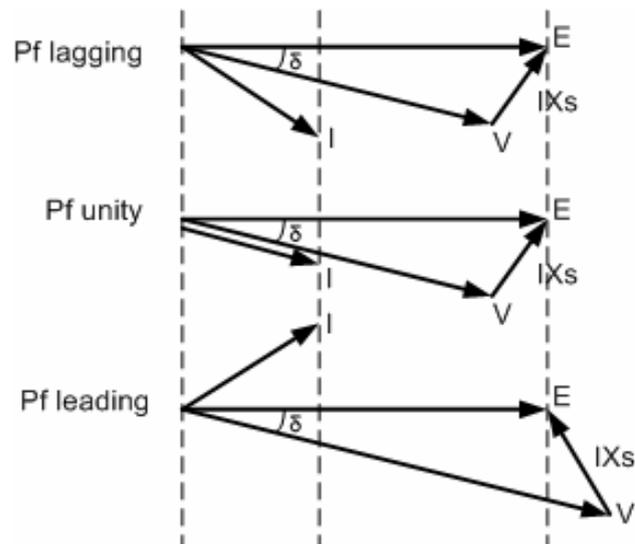
$$E = V + IR_a + jX_s; X_s = X_m + X_a$$



Gambar 2.2 Rangkaian dan beban induktif

### 2.2.1.5 Pengaturan Tegangan

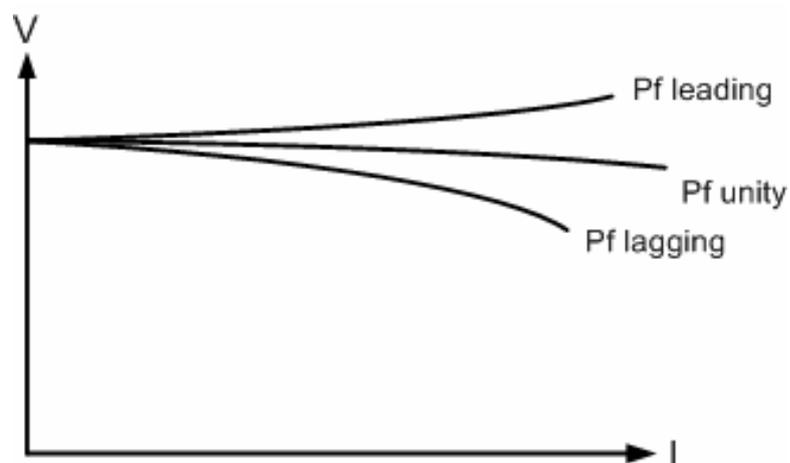
Terdapat perbedaan antara tegangan terminal  $V$  dalam keadaan berbeban, dengan tegangan  $E_o$  pada saat tanpa beban, dipengaruhi selain oleh faktor kerja juga oleh besarnya arus jangkar ( $I$ ), dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 karakteristik perbedaan V dan Eo

Dengan perubahan tegangan V untuk faktor kerja berbeda-beda pada vektor di atas, karakteristik tegangan terminal V terhadap arus jangkar I dapat digambarkan pada grafik di bawah ini. Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal generator antara keadaan tanpa beban dan beban penuh dinyatakan:

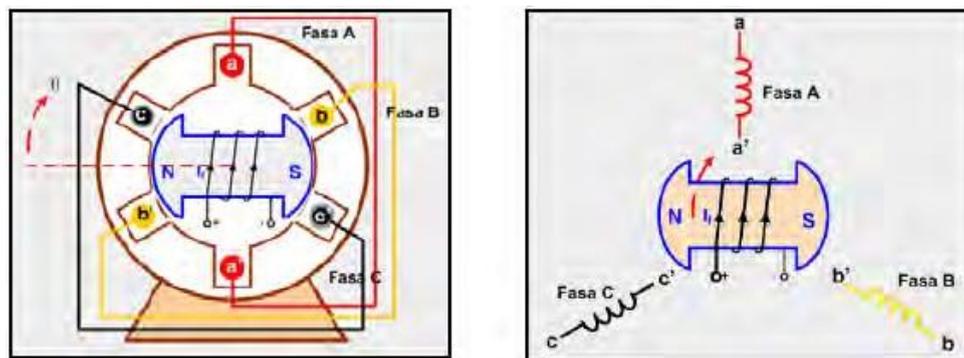
$$\text{Pengaturan tegangan} = \frac{E_o - V}{V}$$



2.4 Hubungan PF dengan tegangan output

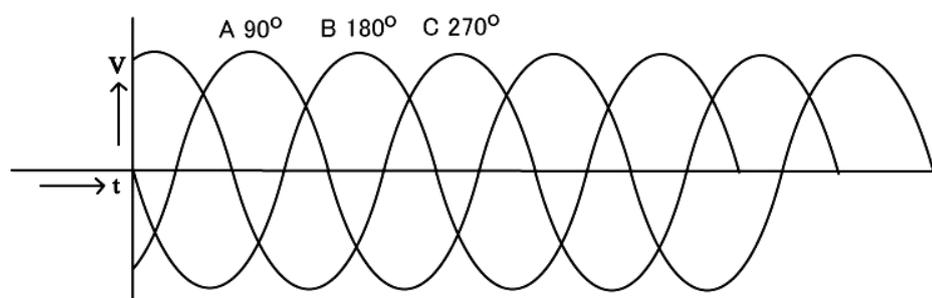
### 2.2.1.6 Generator Tiga phase

Generator tiga phase lebih handal karena konduktor dalam sistem tiga phase hanya membutuhkan  $\frac{3}{4}$  tembaga dari sistem satu phase untuk menyalurkan daya yang sama. Efisiensi transmisi tiga phase juga lebih baik dibanding sistem dua phase. Selanjutnya, sistem tiga phase digunakan pada stator (armatur) generator karena lebih efektif dan ukurannya lebih kecil jika dibandingkan sistem satu atau dua



phase dengan daya yang sama. Sistem tiga phase juga lebih ekonomis dan efisien.

Gambar 2.5 Generator tiga phase dua kutub



Gambar 2.6 Bentuk gelombang sinusoidal tiga phase

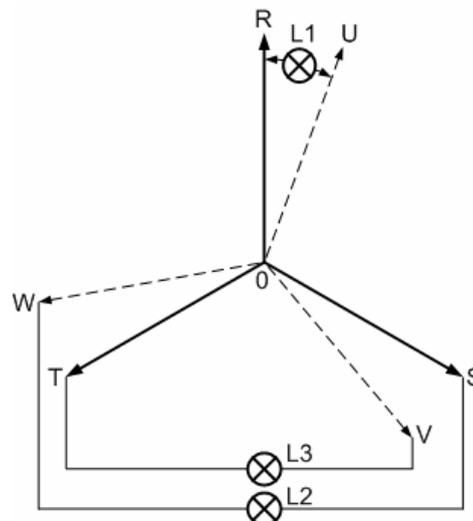
Gelombang sinusoidal yang dihasilkan oleh generator 3phase memiliki beda sudut phase, antar phase memiliki selisih 120 derajat listrik dapat dilihat pada gambar 2.6

### 2.2.1.7 Sinkronisasi generator

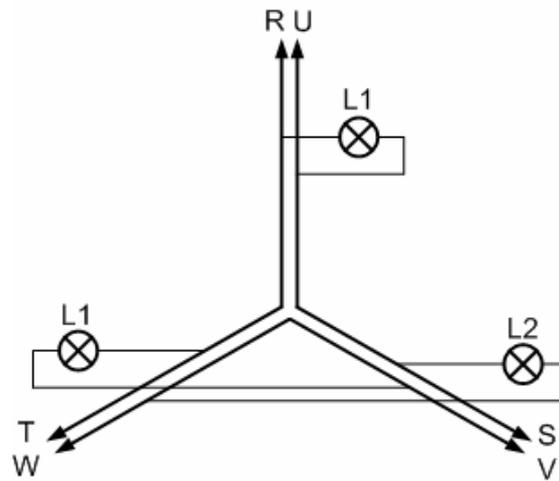
Semakin bertambah kapasitas beban maka perlu di lakukan penambahan kapasitas generator hal ini perlu untuk menjaga kontinuitas daya listrik, maka perlu di lakukan penambahan generator cadangan dengan cara memparalel. Paralel generator atau yang sering di sebut sinkronisasi generator memiliki kelebihan misalnya untuk *maintenance* atau *standby* maka listrik tetap tercukupi. Adapun syarat parallel generator adalah :

- a. Frekwensi harus sama
- b. Urutan fasa harus sama
- c. Fasa harus sama
- d. Tegangan (GGL) sesaat harus sama.

R, S, dan T adalah urutan fasa tegangan jala-jala. U, V, dan W adalah urutan fasa tegangan generator. Saat memparalelkan, lampu L1 mati sedangkan L2 dan L3 nyala sama terangnya, dan keadaan ini berlangsung agak lama. Posisi semua fasa sistem tegangan jala-jala berhimpit dengan semua fasa sistem tegangan generator.



Gambar 2.7 Kondisi tegangan belum sinkron



Gambar 2.8 Kondisi generator setelah sinkron

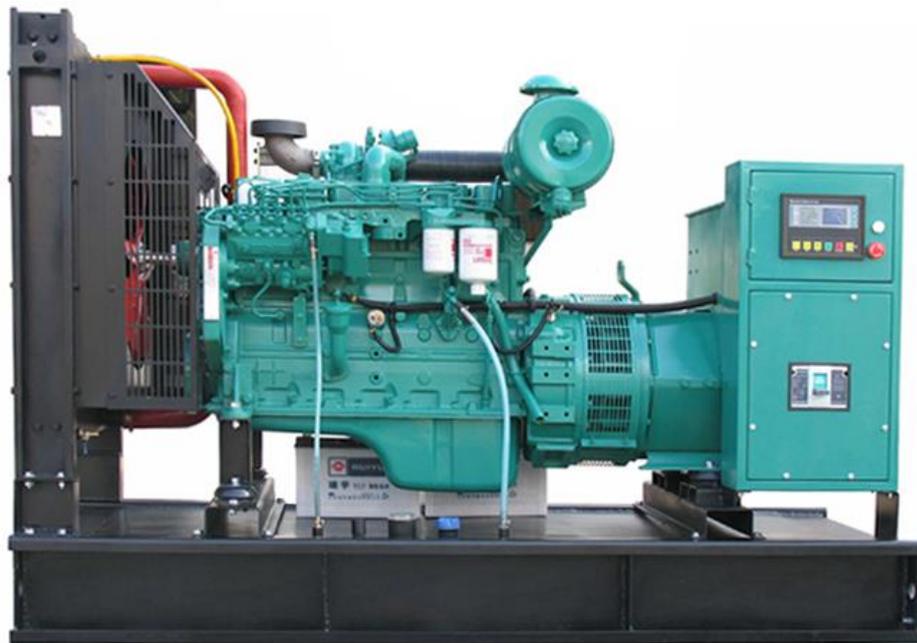
Kontroler yang digunakan pada aplikasi generator guna mencocokkan kecepatan dan fasa tegangan sebelum memparalel dengan generator yang lain atau bus bar yang sedang *online*. Sistem ini di kemas dalam sebuah panel khusus yaitu berupa panel sinkronisasi



Gambar 2.9 Panel sinkronisasi

### 2.2.2 Genset (Generator Set)

Generator set merupakan suatu mesin listrik yang merubah energi kimia pada bahan bakar ke bentuk energi listrik dan panas. Gabungan antara engine, generator, dan kontrolernya disebut juga generator set (*genset*).

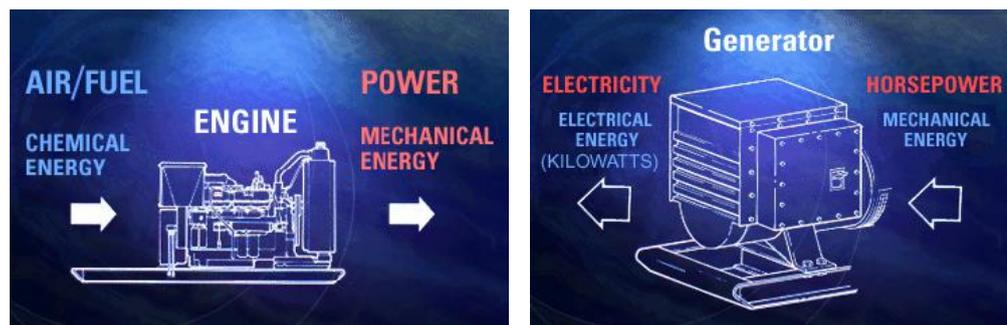


Gambar 2.10. Genset Tipe Open Merk CUMMINS

Generator Set (*genset*) berfungsi sebagai pemasok daya listrik cadangan yang dapat bekerja apabila daya listrik utama dari PLN terputus. Genset ini terhubung dan dikontrol dengan Panel Kontrol Genset (PKG). PKG terhubung dengan unit Panel Utama Tegangan Rendah (LVMDP). PKG akan menghidupkan genset dan mensuplai tegangan ke LVMDP bilamana terjadi gangguan pada sumber PLN, sehingga akan memberikan pelayanan yang kontinu terhadap ketersediaan sumber tenaga listrik dan diharapkan dengan sistem tersebut kehandalan sistem energi listrik akan terpenuhi.

### 2.2.2.1 Sistem kerja genset

Engine merubah campuran udara dan bahan bakar (energi kimia) ke dalam energi mekanik. Generator mengambil tenaga dari engine (*Brake HP* atau kW) dan merubahnya ke dalam energi listrik (*Electrical kW*). BHP adalah daya yang tertera pada nameplate engine. Tenaga engine (kW) selalu lebih besar antara 105% - 110% dibanding tenaga nyata generator (ekW).



Gambar 2.11. Konversi energi kimia ke mekanik lalu menjadi listrik

### 2.2.2.2 Tenaga penggerak mesin diesel

Genset sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, putaran engine harus konstan agar frekwensi yang dikeluarkan generator selalu konstan 50Hz atau 60Hz sehingga untuk pengaturan daya *output* dari generator (dengan mengacu persamaan di atas), yang dapat diatur hanya nilai BMEP. Pengaturan nilai BMEP ini dilakukan dengan mengatur pemberian bahan bakar yang harus diikuti oleh pengaturan pemberian udara. Hal ini disebabkan bahan bakar memerlukan udara untuk pembakaran.

Terlalu banyak atau sedikit udara untuk pembakaran menyebabkan pembakaran di dalam silinder menjadi tidak efisien. Masalahnya, karena genset putarannya

konstan, jadi perubahan pemberian bahan bakar tidak dapat diikuti oleh pemberian udara secara seimbang. Sehingga nilai efisiensi maupun nilai BMEP tidak konstan sebagai fungsi beban. Oleh karena itu, unit PLTD sebaiknya dibebani konstan yang menghasilkan efisiensi maksimum, kira-kira beban 80%

Daya *output* shaft engine diesel dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{S \times A \times I \times BMEP \times n \times k}{2}$$

Dimana :

P = Daya output engine / indicated horse power (IHP)

S = Jumlah silinder

A = Luas lingkaran silinder (cm<sup>2</sup>)

I = Panjang langkah (m)

BMEP = Tekanan rata-rata peledakan tiap silinder (kg/cm<sup>2</sup>)

n = Jumlah putaran per detik (RPS)

2 = Untuk 4 langkah, 1 untuk 2 langkah

k = Konstanta = 1/75 = karena 1 HP = 75 kgm/s

### 2.2.2.3. Rating Genset

Besaran rating genset di bedakan berdasarkan aplikasinya, genset dibagi dalam beberapa rating :

#### A. Continuous Power Rating

Rating ini dapat memikul beban yang konstan atau sedikit variasi dengan *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). Aplikasi ini disarankan pada pembangkit listrik utama (*utility power supply*)

#### **B. Standby Power Rating**

Diaplikasikan untuk beban yang lebih bervariasi. *Load factor* normalnya mencapai 70 %. Jumlah jam operasi per tahun selama 200 jam dan maksimum

500 jam. Aplikasi ini cocok dipergunakan sebagai *standby power* dan *rental power*.

#### **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. Aplikasi ini disarankan pada pembangkit listrik untuk industri, pompa, dan konstruksi.

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

Diaplikasikan untuk beban yang lebih bervariasi. *Load factor* normalnya mencapai 70 %. Jumlah jam operasi per tahun selama 50 jam dan maksimum 200 jam. Aplikasi ini cocok dipergunakan untuk *building service standby*.

#### 2.2.2.4 *Reverse power* Generator

*Reverse power* merupakan fenomena perubahan unjuk kerja dari generator menjadi motor. Jadi dalam kejadian ini, sebuah generator yang tadinya menghasilkan daya listrik, berubah menjadi menggunakan daya listrik.

Dampak *reverse power* adalah sebagai berikut:

- a. Pada diesel generator dapat terjadi ledakan pada ruang bakarnya karena adanya akumulasi bahan bakar yang tak terbakar sedangkan rotor terus berputar,
- b. Pada gas turbin juga akan merusak *gear box*-nya dan
- c. Pada *hydroplant* (turbin air) akan terjadi kavitasi.

Hal ini bisa terjadi karena pada dasarnya antara generator dan motor memiliki konstruksi yang sama dan jika:

- a. Generator dihubungkan parallel atau bergabung dalam suatu jaringan dengan generator lain.
- b. Kehilangan torsi dari penggerak mulanya (dengan kata lain penggerak mulanya seperti turbin atau mesin diesel "Trip" atau mengalami kegagalan operasi) dan generator masih terhubung dengan jaringan. Karena masih ada kecepatan sisa pada rotornya, sedangkan disisi statornya ada tegangan dari jaringan, sehingga tegangan di stator menginduksi ke lilitan rotor yang berputar.
- c. Torsi yang dihasilkan oleh penggerak mula (*power mover*, dalam hal ini misalkan turbin uap, turbin air, atau mesin diesel) lebih kecil dari torsi yang

dibutuhkan untuk menjaga agar kecepatan rotornya berada pada kecepatan proporsionalnya (dengan referensi frekuensi sistem).

Pada suatu sistem pembangkitan yang terdiri dari dua atau lebih generator dan dioperasikan secara paralel maka setiap generator dilengkapi dengan peralatan proteksi berupa relay *reverse power* untuk mendeteksi dan membuka pemutus apabila ada *reverse power* (gangguan) yang mengalir dari satu generator ke generator lainnya yang mengalami gangguan pada penggerak mulanya. Maka dari itu di pasang relay *reverse power* bekerja dengan mengukur komponen aktif arus beban,  $I \times \cos \phi$ . Ketika generator menghasilkan daya listrik maka komponen arus beban  $I \times \cos \phi$  bernilai positif, sedangkan dalam kondisi *reverse power* berubah menjadi bernilai negatif. Jika nilai negatif ini melampaui set point dari relay, maka *reverse power* relay akan bekerja secara interlock dengan membuka *Circuit Breaker* (CB). Inti dari semuanya, jika terjadi *reverse power* pada suatu unit pembangkit listrik maka terjadi kerusakan pada peralatan penggerak mulanya (*power mover*).

#### **2.2.2.5 ATS (*Automatic Transfer Switch*)**

ATS sendiri adalah kependekan dari ungkapan *Automatic Transfer Switch* yaitu sebuah rangkain elektrik listrik yang memiliki fungsi sebagai saklar yang beroperasi otomatis mana kala terjadi pemutusan arus listrik terencana atau mendadak, maka secara otomatis panel akan bekerja sendiri memindahkan pengambilan sumber listrik dari sumber lain yang pada umumnya menggunakan

mengin *genset* atau diesel. Sebagai sumber listrik baru. Begitu pula sebaliknya ketika daya listrik dari PLN sudah menyala maka secara otomatis pula *genset* akan mati sendiri dan kembali sumber listrik PLN yang dipakai.



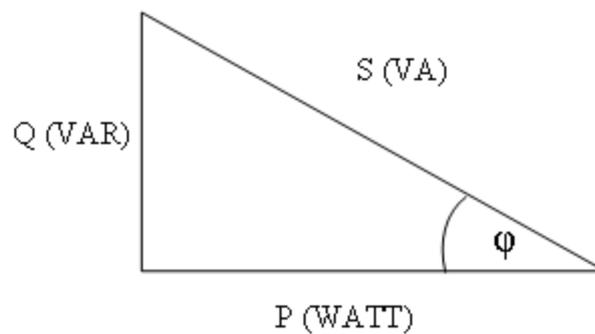
Gambar 2.12 Panel ATS

### 2.2.3 Faktor daya

Faktor daya atau sering di sebut cosinus sudut ( $\cos \alpha$ ) merupakan perbandingan antara daya aktif dengan daya semu. Adanya dan besarnya faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan oleh ada beban dan besarnya tergantung dari karakteristiknya.

Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor

daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya (pf) selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Secara teori, jika seluruh beban daya memiliki  $pf = 1$ , maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistim pendistribusian. Jika faktor daya sangat rendah maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAR) harus serendah mungkin untuk keluaran daya aktif (W) yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya semu (VA). Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi.



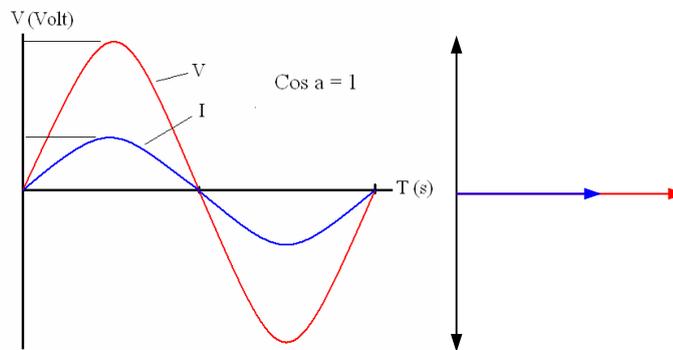
Gambar 2.13 Segitiga daya

### 2.2.3.1 Daya Aktif (P)

Adanya daya aktif (faktor P) disebabkan beban yang digunakan bersifat resistif seperti lampu pijar, rheostat, *load bank*, pemanas, motor induksi berbeban berat, dan trafo berbeban tinggi, dll. Beban resistif membuat phasa antara tegangan dan arus selalu sama (*inphase*) sehingga membuat  $pf = 1$ . Adapun perhitungan daya aktif sebagai berikut:

$$1 \text{ phasa} \quad P = V \times I \times \cos \alpha \text{ ( W )} \quad \text{dimana } Z = R$$

$$3 \text{ phasa} \quad P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \alpha \text{ ( W )}$$



Gambar 2.14 Karakteristik fasa dan vektor pada beban resistif murni

### 2.2.3.2 Daya Semu (S)

Daya semu atau daya total (S), ataupun juga dikenal dalam Bahasa Inggris Apparent Power, adalah hasil perkalian antara tegangan efektif (root-mean-square) dengan arus efektif (root-mean-square).

$$S = V \times I$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

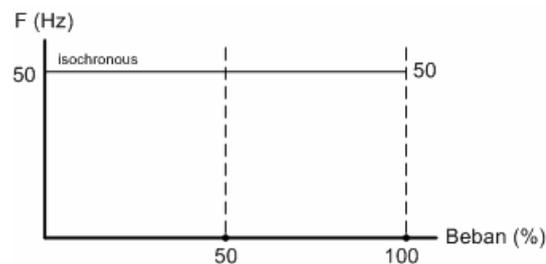
### 2.2.3.3 Daya Reaktif (Q)

Pada dasarnya daya reaktif ini (faktor Q) disebabkan oleh 2 karakteristik beban yaitu beban induktif dan kapasitif. Adanya beban induktif membuat perbedaan phase antara tegangan dan arus dimana arus tertinggal terhadap tegangan atau disebut dengan pf lagging (positif pf). Sehingga membuat pf rendah ( $pf < 1$ ), atau induktif murni ia memiliki  $pf = 0$  maka hanya ada daya reaktif saja. Contoh beban induktif seperti motor induksi tanpa beban atau berbeban rendah, trafo berbeban rendah, ballast, dll.

## 2.2.4 Sistem pembagian beban

### 2.2.4.1 Sistem *Isochronous*

Metode *isochronous* atau dengan istilah *speed droop* 0% digunakan untuk kecepatan tetap konstan pada *prime mover* di berbagai tingkat pembebanan baik aplikasi single operation, atau dua atau lebih *prime mover* yang dikontrol oleh



*load sharing control*.

Gambar 2.15 Fungsi beban terhadap frekwensi dengan *isochronous*

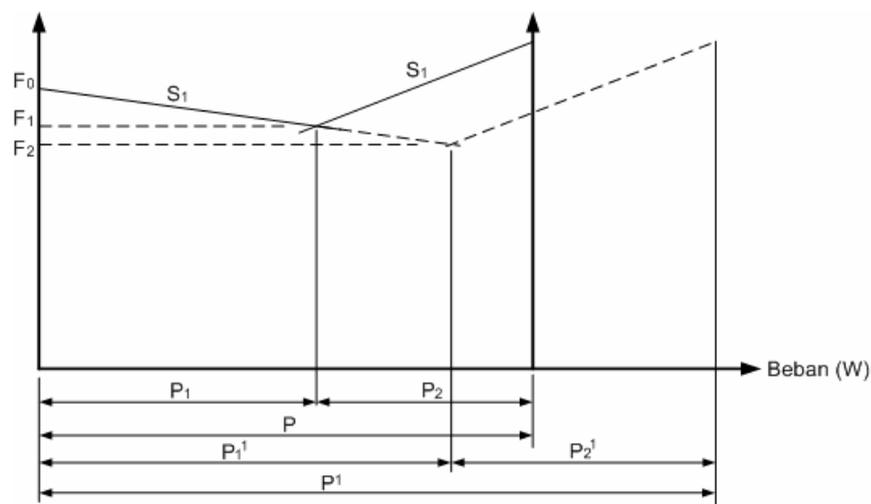
### 2.2.4.2 Hubungan Speed Droop dengan Pembagian Beban

Terdapat dua buah unit pembangkit yang bekerja secara paralel dan melayani beban sebesar  $P$ , hanya saja untuk pembangkit 2, garis beban berarah ke kiri dan sumbu frekwensinya ada di kanan untuk memudahkan penggambaran bahwa beban  $P$  selau sama dengan jumlah daya yang dibangkitkan yakni  $P_1$  ditambah  $P_2$ . Unit pembangkit 1 mempunyai *speed droop*  $S_1$  sedangkan pembangkit 2 *speed droop*-nya  $S_2$ .

Mula-mula masing-masing unit mempunyai beban  $P_1$  dan  $P_2$  sedangkan frekwensinya  $F_1$  dan jumlah beban adalah  $P$ . Kemudian terjadi kenaikan beban menjadi  $P^1$  sehingga beban masing-masing unit pembangkit menjadi  $P_1^1$  dan  $P_2^1$  dimana penjumlahan keduanya adalah  $P^1$  dan frekwensinya turun menjadi  $F_2$ .

Terlihat bahwa unit pembangkit 1 yang mempunyai *speed droop*  $S_1$  lebih kecil daripada  $S_2$  mengalami penambahan beban yang lebih besar daripada penambahan beban pada unit pembangkit 2 yang sebesar  $P_2^1 - P_2$ .

Sistem yang terdiri dari banyak unit pembangkit sesungguhnya dapat dianalogikan dengan sebuah unit pembangkit besar yang memiliki *speed droop* tertentu.



Gambar 2.16 Pengaruh *Speed droop* terhadap pembagian beban

### 2.2.5 Program ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) PowerStation 12.6.0 merupakan salah satu software aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.

ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara realtime. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam

antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Analisa system 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

Dalam menganalisa sistem tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah.

ETAP memiliki 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.

Etap Power Station memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis . Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

a. Virtual Reality Operasi

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

b. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short-circuit analysis) -yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi- serta perhitungan ampacity derating suatu kabel -yang memerlukan data fisik routing.

c. Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

ETAP PowerStation dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonisa, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah :

- a. One Line Diagram, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b. Library, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- c. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSII, 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.

### 2.2.5.1 Element AC Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Komponen elemen ac pada software power station ETAP dalam bentuk diagram satu garis ditunjukkan pada Gambar, kecuali elemen-elemen IDs, penghubung bus dan status. Semua data elemen ac dimasukkan dalam editor yang telah dipertimbangkan oleh para ahli teknik. Daftar seluruh elemen ac pada software power station ETAP ada pada AC toolbar.



Gambar 2.17 Element elementdi etap

#### a. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam editor power station software transformator 2 kawat pada power station software ETAP ditunjukkan Gambar Simbol transformator 2 kawat.



Gambar 2.18 Simbol trafo pada Etap

### **b. Generator**

Generator sinkron sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station ETAP berupa rating KV, rating MW, dan mode kerja yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor generator. Simbol generator sinkron pada power station software ETAP ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.19 Simbol Generator pada etap

### **c. Load**

Beban listrik sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station ETAP berupa rated kV dan MVA yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor load. Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis. Simbol generator sinkron pada power station software ETAP ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.20 Simbol Static load pada Etap

#### d. Pemutus rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Simbol pemutus rangkaian di ETAP ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.21 Simbol pemutus rangkaian pada Etap

#### e. Bus

Bus AC atau node sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station software ETAP. Editor bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban statik adalah elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan. Simbol bus pada power station software ETAP ditunjukkan Gambar.



Gambar 2.22 Simbol bus pada Etap

#### 2.2.5.2 Aliran beban ( *Load Flow Analysis* )

Analisa aliran daya (Load Flow Analysis) dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan bus, faktor daya dari cabang, arus dan aliran daya yang terjadi pada saluran dalam sistem. ETAP PowerStation LoadFlow Analysis adalah program simulasi untuk tujuan analisa aliran daya. Sistem yang dapat dianalisa adalah sistem

radial maupun loop. Studi aliran daya adalah yang memberikan analisis aliran daya pada suatu sistem tenaga Listrik yang bertujuan untuk :

- a. Memeriksa tegangan dan pengaturan tegangan
- b. Memeriksa semua peralatan (transformator dan saluran distribusi) apakah mampu untuk mengalirkan daya yang diinginkan.
- c. Memperoleh kondisi awal (eksisting) untuk memperoleh studi – studi operasi ekonomis, hubung singkat, stabilitas dan perencanaan pengembangan sistem.

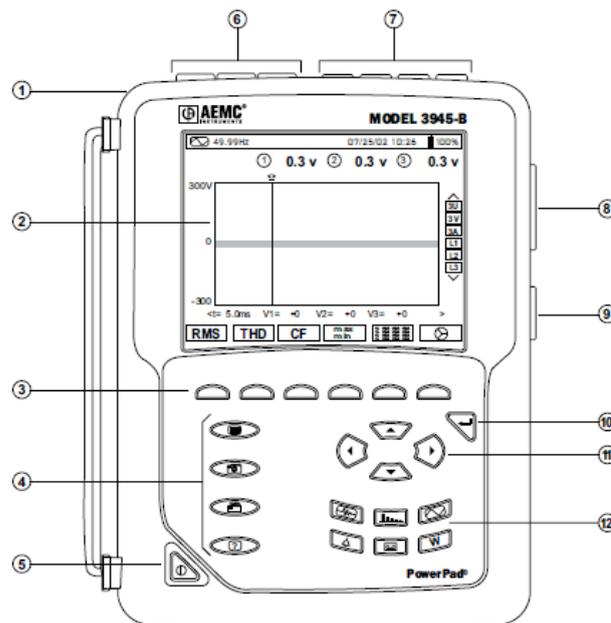
Untuk memulai load flow analysis maka single line diagram (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen AC dan DC serta peralatan yang digunakan.

### ***2.2.6 Power Quality Analyzer***

*Power quality analyzer* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui kualitas daya dari tenaga listrik. Alat ini sangat kompleks, karena dapat digunakan untuk mengukur tegangan, arus listrik, frekuensi, daya kompleks, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya.

*Power quality analyzer* yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini yaitu *PowerPad Model 3945-B*. *Power quality analyzer* ini mudah digunakan dan tahan guncangan. Alat ini ditujukan untuk para teknisi dan engineer untuk melakukan pengukuran dan pekerjaan diagnostik serta kualitas daya bekerja pada satu, dua, atau tiga fase jaringan tegangan rendah.

Pengguna dapat mendapatkan bentuk gelombang dari karakteristik utama jaringan listrik, dan memonitor variasi pengukuran selama periode waktu tertentu. Sistem *multi – tasking* pengukuran yang simultan dapat menangani semua fungsi pengukuran dan tampilan bentuk gelombang dari berbagai besaran, deteksi, rekaman yang terus menerus. Dibawah ini adalah gambar dari *PowerPad* Model 3945-B :



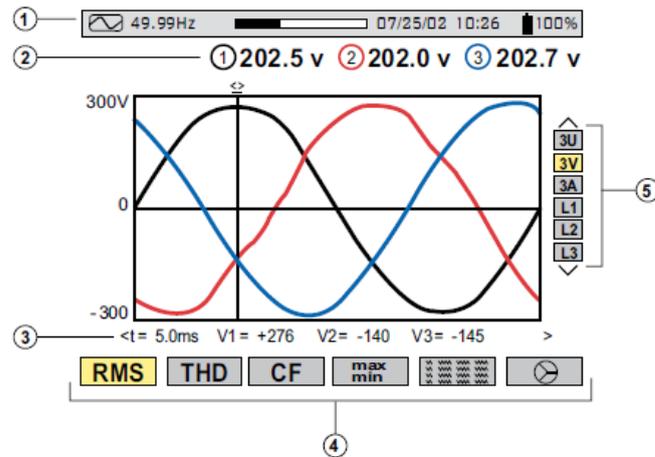
Gambar 2.23 *PowerPad* Model 3945-B

Keterangan gambar 2.22, sebagai berikut :

1. *Over molded protective case*
2. Layar LCD berwarna dengan representasi grafis dari parameter sistem dan pengukuran
3. Enam tombol fungsi yang digunakan untuk merubah mode tampilan
4. Empat tombol fungsi yang digunakan pengguna untuk :

- a. Melakukan setup parameter pada alat
  - b. Mengambil gambar dari tampilan layar yang dapat disimpan di memori
  - c. Mencetak hasil pengukuran dari printer eksternal
  - d. Tombol bantuan
5. Tombol ON / OFF
  6. Tiga masukan arus disisi atas alat yang dapat digunakan dari sensor arus
  7. Empat tegangan masukan
  8. RS-232 untuk transfer data ke PC
  9. Daya masukan AC
  10. Tombol enter
  11. Empat tombol yang dapat memindahkan cursor
  12. Enam tombol untuk mengganti mode pengukuran :
    - a. Transients, menampilkan bentuk gelombang dengan perubahan masukan
    - b. Tampilan Harmonisa, menampilkan bentuk harmonisa dari tegangan, arus dan daya.
    - c. Tampilan bentuk gelombang
    - d. Mode daya
    - e. Mode record
    - f. Alarm event

Tampilan dari *PowerPad* model 3945-B dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.24 Tampilan dari *PowerPad* model 3945-B

Keterangan gambar :

1. Tampilan atas ( baris indikator ), berisi simbol mode pengukuran, frekuensi dari signal yang diukur, status bar kapasitas memori, tanggal dan waktu, status baterai
2. Hasil pengukuran RMS dengan bentuk gelombangnya
3. Nilai T dari signal
4. Pilihan Pengukuran

Pilihan tampilan bentuk gelombang