

**Kumpulan Bahan Ajar  
Mata Kuliah  
Listrik kapal  
(Shipboard Electrical Course)**

**Oleh:**

**Eko Sasmito Hadi, ST, MT**

**PS. Teknik Perkapalan**

**Fakultas Teknik - UNDIP**

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 0145/BA/FT/01

Tgl. : 23-7-2009

# Pengantar Listrik Kapal

## UMUM

Umumnya sejumlah peralatan listrik banyak digunakan didarat dan untuk kepentingan instalasi dikapal haruslah menggunakan beberapa persyaratan dari regulasi yang ada. Adanya regulasi ini digunakan untuk keamanan atau keselamatan di laut. Hal ini terkait beberapa faktor kondisi kapal yang cukup ekstrem bagi operasional beberapa peralatan listrik. Seperti faktor kondisi *climatic*, *vibration*, gerakan kapal, temperatur dan beberapa kondisi ruangan didalam kapal.

*Lifetime* peralatan juga merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan untuk peralatan instalasi listrik dikapal. Umumnya sejumlah peralatan listrik dikapal diharapkan mempunyai *lifetime* 30 tahun sampai 50 tahun. Tetapi selama waktu tersebut faktor *reliability* juga merupakan faktor yang penting.

## PERSYARATAN DAN REGULASI

Kapal yang teregistrasi dengan badan klasifikasi tertentu haruslah memenuhi persyaratan badan klasifikasi tersebut. Masing – masing klasifikasi mempunyai persyaratan tertentu dan cukup ketat dan semuanya digunakan berdasarkan SOLAS.

Misal, BKI mensyaratkan minimal 2 agregat / unit generator diatas kapal dengan tujuan bahwa jika salah satu rusak atau dalam kondisi perawatan masih terdapat 1 unit yang beroperasi, jumlah ini belum termasuk generator cadangan.

Dua faktor yang utama dalam pemilihan dan instalasi dari *marine electrical equipment* adalah ;

1. Faktor *reliability* pada masa *service* atau pelayanan terutama pada peralatan Navigasi (Steering, Navigation light, radio, dll).
2. Faktor bebas dari kebakaran.

Disamping kedua faktor diatas yang menjadi perhatian adalah masalah *material equipment* listrik (berhubungan dengan sifat non inflammable), kemampuan operator (kualitas SDM dalam pengoperasian peralatan) dan kemampuan rawatan operator terhadap peralatan yang ada.

Disamping itu persyaratan design secara umum adalah masalah inklinasi dari mesin. Ini sangat terkait dengan gerakan kapal, sehingga peralatan listrik harus dapat mampu kerja dengan baik pada sudut rolling  $22,5^{\circ}$  dan sudut trim  $10^{\circ}$ . Begitu juga untuk peralatan emergency (generator cadangan dan bateray. Faktor ini berhubungan dengan sistem lubrikasi (genset, transformator, dll) dan beberapa kontaktor, switch gear dan relay, dll.

## PERSYARATAN TEMPERATUR

Secara praktis peralatan listrik sangat terkait dengan temperatur. Temperatur tidak hanya berpengaruh pada *performance* tetapi juga berpengaruh pada *lifetime service* peralatan tersebut. Peralatan listrik hampir semua berhubungan dengan *electromagnetic* dengan *shunt coil* dan tahanan (*resistance*) coil akan naik berdasarkan perubahan temperatur, dan berakibat pada kuat arus yang mengalir pada coil tersebut. Kontaktor atau relay akan gagal jika terjadi overheat.

Faktor ...

Faktor yang cukup berpengaruh pada temperatur adalah adanya temperatur keadaan sekitar (*ambient temperatur*) dan juga temperatur dari beban listrik.

Dalam perancangan, temperatur direkomendasikan adalah 40 °C (104 °F) untuk peralatan selain dikamar mesin, dan 45 °C (113 °F) atau 50 °C (122 °F). Dan untuk *water cooled heat exchanger* yang digunakan pendinginan adalah 30 °C (85 °F), ini diasumsikan berdasarkan temperatur maksimum *sea water*.

Selain itu yang harus diperhatikan adalah secara periodik memeriksa keadaan sambungan listrik. Baik untuk daya kuat maupun untuk keperluan kontrol. Ini disebabkan adanya vibrasi, sehingga kita tidak bisa menjamin dengan pasti secara terus menerus kualitas sambungan yang ada.

Scope...

# Pengantar Listrik Kapal

## Scope

Yang termasuk dalam shipboard electrical system adalah

- Electric power plant
- Penerangan
- Interior communications dan control
- Eksterior communications
- Navigation system dan sistem keselamatan serta berhubungan dengan misi electric atau elektronik support system.

Electric power digunakan untuk,

- Propulsion
- Propulsion system auxiliaries
- Deck machinery
- Illumination
- Heating
- Ventilation
- Air conditioning
- Stores and cargo refrigerations
- Galley
- Fresh water and sanitary system
- Safety and casualty control seperti pemadam dan sistem bilga
- Fire detection and alarm system
- Remotely operated watertight and fire screen doors
- Interior communication system
- Controls
- Radio communications
- Radar dan berbagai peralatan navigasi

Electric power sangat vital untuk dipergunakan selama kapal beroperasi dan keselamatan serta kenyamanan penumpang dan crew kapal. Selama kapal berlayar semua beban listrik dipasok atau di suplai oleh generator sehingga kapasitas generator harus cukup untuk menjamin keselamatan serta kenyamanan penumpang dan crew kapal.

Untuk keadaan emergency di kapal harus mempergunakan genset emergency, yang kapasitasnya harus mencukupi beban vital baik pada propulsion system dan ship service. Pada kapal yang menggunakan system electric propulsion, kapasitas generator selain harus mencukupi untuk system propulsi juga harus mencukupi untuk beban ship electric auxiliaries dan service.

Kapal juga dilengkapi dengan sistem koneksi ke darat atau off shore yang dipergunakan untuk kondisi reparasi atau dalam keadaan kapal sedang tidak beroperasi. Dasar konfigurasi dari electric power plant (seperti jumlah generator, switchboard, load centre, group centers, etc) dan seleksi berdasarkan fungsi keamanan, economics, kontinuitas pelayanan, survivability dan reliability. Besarnya kapasitas generator ditentukan dengan load analysis. Load analysis ditentukan berdasarkan pengalaman kapal – kapal yang telah dibuat.

### **Load Analysis**

Load analysis berupa indentifikasi, tabulasi dan ringkasan dari semua beban listrik. Dengan demikian analisis beban listrik dipergunakan untuk menentukan besarnya kapasitas genset pada setiap kondisi kapal secara umum seperti kondisi dipelabuhan, manuver dan berlayar.

Dalam...

Dalam work sheet load analysis rata – rata beban listrik untuk masing – masing peralatan dihitung dengan mengalikan service faktor / load faktor dari peralatan itu sendiri pada setiap kondisi kapal. Service faktor / load faktor sangat consist dengan beban komponen atau peralatan itu sendiri dan siklus pengoperasian.

Untuk cycle komponen merupakan refleksi dari persentase waktu peralatan tersebut dipergunakan pada setiap kondisi kapal. Misalnya untuk peralatan capstan dan boat winches dapat diasumsikan mempunyai nilai service faktor 0 (nol). Sehingga untuk semua peralatan penentuan service faktor atau load faktor ditentukan secara analitical berdasarkan scenario pengoperasian peralatan tersebut.

### **Sistem Tegangan dan Frekwensi**

Pemilihan Tegangan dan Frekwensi pada tahap pra design sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Batasan praktis dalam pemilihan tegangan dan frekwensi dapat mengacu pada faktor coercial dan naval shipboard application. Beberapa pilihan untuk frekwensi adalah: 50 Hz, 60 Hz, 400 Hz. Beberapa pilihan untuk tegangan yaitu, 120 / 240 Volt, 480 / 450 Volt, 2400 Volt, atau 4160 Volt.

### **Alternating Current Plant**

Alternating current sekarang banyak dipergunakan standart baik pada land based electric power plant maupun pada marine.

Ini disebabkan karena kelebihan yang dimiliki oleh AC plant daripada DC plant yaitu,

- ❖ biaya lebih murah
- ❖ lebih ringan
- ❖ space yang dipergunakan lebih kecil
- ❖ tidak perlu perawatan yang lebih
- ❖ mempunyai nilai lebih availability pada marketplace
- ❖ lebih reliability (handal)

Contohnya, beberapa keuntungan realistik pada penggunaan squirrel-cage induction motor dibandingkan dengan motor DC adalah digunakannya commutator dan brushes pada motor DC yang mana sangat riskan dengan kerusakan.

### Sistem Konfigurasi

Sistem konfigurasi disini yang dimaksudkan adalah sistem konfigurasi kapasitas genset di kapal. Beberapa *requirements* dan *constraints* dalam pemilihan konfigurasi sangat dipengaruhi oleh,

- Type bahan bakar yang dibawa oleh kapal
- Type dari sistem propulsion plant
- Maximum functional load
- Power margin untuk permintaan beban di masa datang
- Constraints space dan weight
- Constraints ekonomi baik pada biaya awal (pengadaan) maupun biaya operasional.
- Applicable dengan persyaratan klasifikasi yang ada. (Untuk BKI misalnya mensyaratkan minimum 2 agregat genset harus disediakan, dan 1 genset untuk emergensi).

Umumnya pada kapal – kapal komersial, semua genset diletakkan pada kompartemen yang sama (machinery space) dan dihubungkan menjadi satu pada panel ship – service switchboard.



## Generator Set

Perlengkapan genset secara umum meliputi, Prime mover, reduction gear (jika disyaratkan), generator, exciter, control panel, lubrication oil system and cooling water system. Pada argument ini hanya dibahas untuk diesel generator mengingat diesel generator dipergunakan secara luas di dunia perkapalan.

## Diesel Generator

Umumnya generator di kopel langsung dengan engine, ini disebabkan putaran dari prime mover diesel relatif lebih rendah, dan tidak diperlukan reduction gear. Perlengkapan untuk diesel generator antara lain,

- Fuel control system
- Lubrication oil system
- Freshwater system
- Exhaust system consisting of a dry.
- Starting system
- Air intake filter-silencer.
- Electro-hydraulic load sensing speed governor.
- Speed adjusting device
- Overspeed trip device
- An interlock switch
- Local control and gageboard including
- Manual engine turning gear
- In addition to aforementioned equipment  
(turbo-charge and equipment)
- Tube or plate type coolers (for cooling system)

Selesai

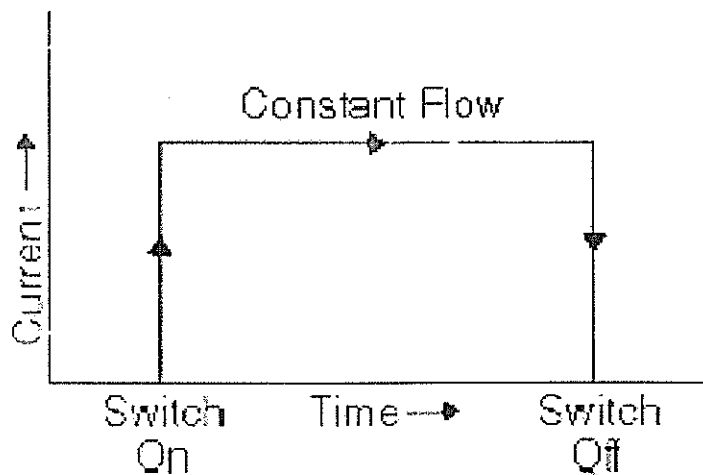
[Kembali ke Menu Utama](#)

## INTRODUCTION TO DC AND AC CIRCUITS

A basic direct current (dc) is fairly simple to understand. A source of electrical force (such as a battery) is connected to various components with a return path to the source. The flow of current in the circuit is then in a particular direction. This flow can be compared with a similar closed loop hydraulic motor in a simple recirculating system.

A dc circuit, then, when connected or switched on provides a constant flow of current in one direction through the circuit unless something changes in the circuit (e.g., source voltage changes, or a circuit resistance value alters). The value of this current is determined by the source voltage and the total resistance in the circuit.

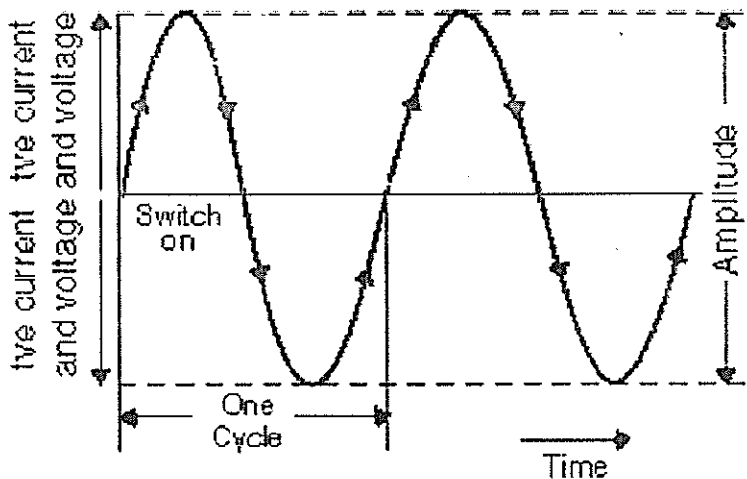
Direct current flow with constant circuit resistance:



In the case...

In the case of an ac circuit, the source of voltage (or electric pressure) reverses in a periodic manner. This means that current flows through the circuit first in one direction (positive) and then the other (negative). The displacement from maximum positive to maximum negative is known as the amplitude of an ac current. Also, one complete period from zero to maximum positive, back to zero, down to maximum negative and back to zero again is known as a cycle. The frequency of the ac current is equal to the number of cycles per second. "Cycle per second" is now known as hertz (abbreviated Hz). Standard mains frequency is 50Hz or 60Hz.

Alternating current flow occurs in cycles of positive and negative current:



Alternating current has a distinct advantage over direct current. Alternating current, apart from being able to be transported over large distance without huge losses (which occur with direct current) can also be stepped up to obtain higher voltages and lower currents, and still produce the same amount of power at the other end of the line. Its transportation over long distances permits the use of small wires because of the higher voltages and lower currents. Current determines the size of the wire. Then the voltage is stepped down for local distribution. The stepping up and stepping down are accomplished by transformers. Since transformers are very efficient machines, very low losses are encountered with ac.

Usually, ac is generated at 13,00 volts (v). This is then stepped up to at least 138,000v for transmission. The most commonly used high voltages for long distance transmission are 138,000, 250,000 and 750,000v. Once the power reaches its destination, it is reduced to as low as 240v for home use. This is further split for home circuits of 120v.

### Maximum and Peak Values of AC

Three values are used to describe ac:

Peak

Average

Root-mean-square (rms)

Peak ...

### Peak

The maximum point on a sine wave is the peak value. Both peaks may be included in a reference. If so, this becomes a peak-to-peak value. A peak value of 100v means that the peak-to-peak value is 200v.

### Average

The average value (of all the instantaneous values taken at regular intervals) of an ac current is 0.637 times the peak. This means that a peak value of 100v is equal to an average of 63.7v.

### Root-mean-square (rms)

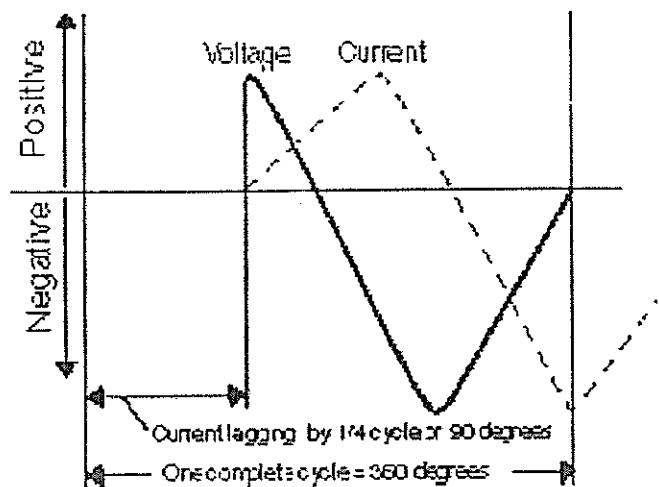
This term is used often in ac circuits. It is a method used for equating dc to ac. If we take an ac sine wave and break it into four parts, each containing 90 degrees of the complete cycle needed to generate 1Hz, we will find that the instantaneous voltage and current when taken 90 times (once for each degree) and squared, then averaged (mean means average), and the square root taken of the average, we will have 0.7071 times the peak value of the sine wave. The same value would be obtained by taking the sine of 45 degrees (one-half of 90 degrees). We must remember that the shape of the waveform is more like a sine wave.

### Phase Difference and Lag

Another characteristic of ac is that both the voltage and current are continually changing in similar cycles. Very infrequently, however, do the voltage and current both attain maximum and zero values at precisely the same time. In other words, the current (waveform) curve is displaced relative to the voltage (waveform) curve. This displacement is known as a phase difference. It is normally expressed in terms of the ratio of the actual displacement to a full cycle length on the zero line, multiplied by 360 (since a full cycle represents 360 degrees corresponding to the ac curve).

This is known as the phase angle. Generally, the current will "peak" after the voltage (that is, displaced to the right as shown in the figure below), whereupon the current is said to be lagging and the phase angle is referred to as angle of lag. However, in some cases, the current can lead the voltage.

Current usually lags behind voltage in an alternating current circuit:



For ...

For a general understanding of ac it is better to think of angle as meaning a particular "number point" on a line of length representing one full cycle divided into 360 divisions. Thus, a phase angle of 30 degrees can be understood as a point  $30/360$ ths along the line. Phase difference (phase angle) can be an important factor in the design and performance of ac circuits since when a current lags (or leads) the voltage, the timing aspects of a circuit are affected.

# INSULATION AND TEMPERATURE RATINGS OF MACHINE

For convenient reference insulating materials are grouped in classes according to their *nature* and the *working temperature* for which they are suitable.

Classes O, A, B and C have been in general use for many years, but *O will in future* be known as *Y* and three classes E, F and H have recently been added to legislated for some of the new material and processes in this field.

## CLASSIFICATIONS OF INSULATIONS

### Class Y

Insulation consists of material or combinations of materials such as *cotton, silk and paper without impregnation*.

### Class A (105 °C)

Insulation consists of materials such as *cotton, silk, and paper* when suitably *impregnation or coated* or when *immersed in dielectric liquid* as oil.

### Class E

Insulation consists of materials or combinations of material which experience or test can be shown to be capable of operation at the class E temperature.

### Class B (130 °C)

Insulation consists of materials or combinations of materials such as *mica, fiber, asbestos, etc with suitable bonding, impregnation or coating substance*.

Class F...



### Class F (155 °C)

Insulation consists of materials or combinations of materials such as *mica, fiber, asbestos, etc with suitable bonding, impregnation or coating* substance as well as other materials or combinations of material.

### Class H (180 °C)

Insulation consists of materials or combinations of materials such as *mica, fiber, asbestos, etc with suitable bonding, impregnation or coating* substance such as appropriate silicone resins.

### Class C (220 °C)

Insulation consists of materials or combinations of materials such as *mica, porcelain, glass quartz and asbestos without or with an inorganic binder.*

In each class, a proportional of materials of a *lower temperature class* may be included for *structural proposes only*, provided that adequate *electrical and mechanical properties* are maintained during the applications of the *maximum permitted temperature*.

An Insulating material is considered to be "***suitably impregnated***" when suitable substance such as *varnish penetrates the interstices between fibers, film, etc* to a *sufficient degree adequately to bond components* of the insulations structure and to *provide a surface film* which adequately *excludes moisture, dirt and other contaminations*.

For some applications, compounds and resins without solvents may be used which substantially *replace all the air in the interstices*.

An insulating material is considered to be "**suitably coated**" when it is **covered** with a suitable substance such as *varnish* which *excludes moisture, dirt and other contaminations* to a degree sufficient to provide adequate performance in service.

The endurance of insulation is affected by many factors such as *temperature, electrical and mechanical stresses, vibrations, exposure to deleterious atmosphere, and chemicals, moisture and dirt*. For example, some varnish tend to harden with age to such an extent that cracks are formed and moisture is then admitted.

## HOT – SPOT TEMPERATURE

When considering suitable operating temperature is the temperature at the hottest point that is important, and this is referred to as "*Hot spot*" temperature.

In field coil, for instance, *the hot spot* is somewhere *near the center of winding* and there is temperature gradient from there to the surface, so that temperature *is not uniform throughout the coil*.

The only means available in practice therefore is to determine the temperature either by *the change in resistance of the winding*, or by *measuring the surface temperature by thermometer*.

---

## TEMPERATURE RISE

A continuously rated machine will eventually reach a steady temperature at which *the heat in windings and magnetized cores and the heat arising from frictional losses* will be dissipated at the same rate as they are generated.

The difference between this *steady temperature* and that of the *incoming cooling air* is the *temperature rise*. For all practical purposes, other thing being equal, *this rise is always the same regardless of the temperature of the cooling air*.

Examples:

Accordingly if a machine is tested in an ambient temperature or cooling air temperature of 20 °C, and a machine temperature of 55 °C is recorded, the rise is 35 °C. When the same machine is in tropics and the air-cooling at 45 °C, the rise will still be 35 °C, giving total machine temperature of 80 °C.

Having determined *the appropriated hot-spot temperature* for a given class of insulations, and from that *the surface temperature, the permissible temperature rise* is arrived at by *deducting the maximum ambient temperature* under which machine will be called upon to operate.

Permissible...

---

## PERMISSIBLE TEMPERATURE RISE

During the normal operation of electrical machinery, its temperature rises above that of the surrounding air. Because the internal temperature is greater than the external value, the thermometer measurement is always less than that obtained by embedded detector or resistance measurement.

Furthermore, owing to variations in the thickness of insulation, no uniformity of cooling, inaccessibility of the hottest spot, etc, the observable temperature rise may be less than actual value.

The accumulation of dirt on the surface of insulation and in the ventilating duct reduces the dissipation of heat, raises the temperature and causes thermal degrading of the insulation.

Because the useful life expectancy of electrical machinery is approximately halved with each 10 °C increase in operating temperature, good preventive maintenance require that periodic check be made on the operating temperature machine, particularly those operating on a continuous basis.

Although the temperature life curve helps to estimate the life expectancy of machine, the mode of operation is an important determining factor. Vibration, over voltage, and other adverse operating condition also decrease the useful life by weakening the insulation.

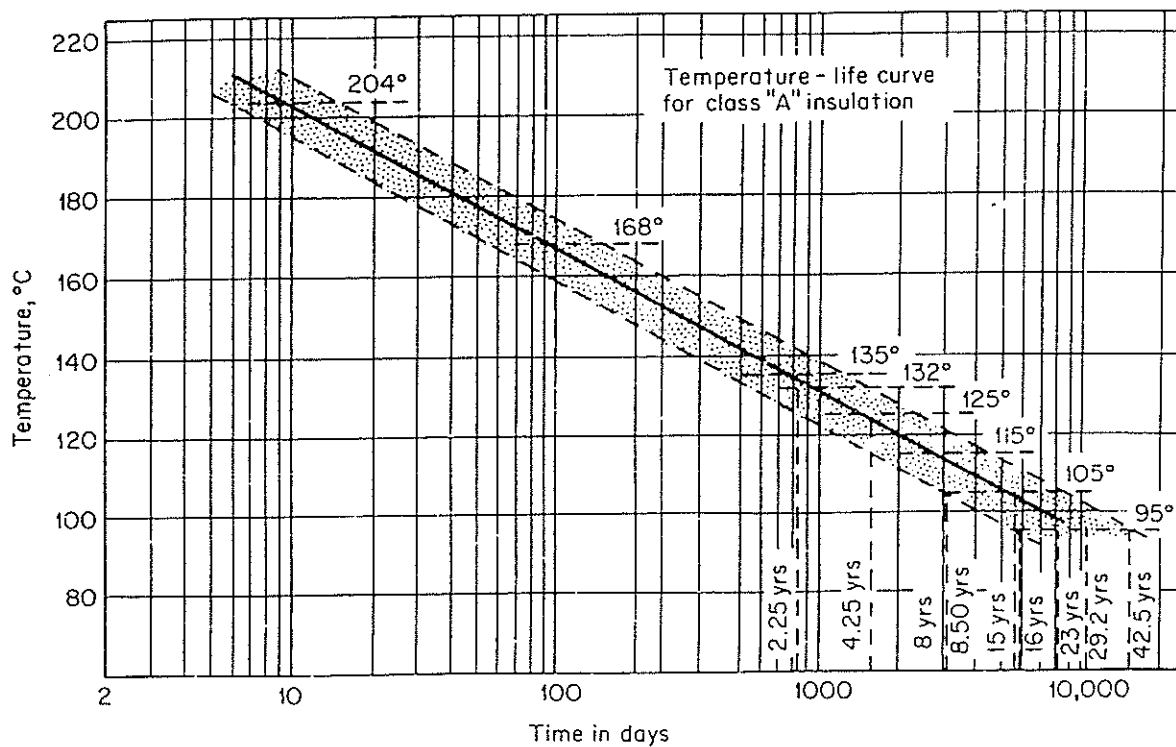


FIG. 2-1 Life expectancy versus operating temperature for class 105 (class A) insulation. (Allis-Chalmers Mfg. Co.)

## AMBIENT AIR TEMPERATURE

Certain types of ship such as coaster, harbor craft, train ferries, etc built primarily for service in temperate climates will normally never required to operates in *the tropics*. However, for *ocean going ships* it is required that *temperature rises* should be based on *tropical conditions*.

Basis...

---

## **BASIS OF MACHINE RATINGS**

Hitherto, there have been two method of assessing the rating of motor and generator, viz.

- a. Continuous rating permitting overload
- b. Continuous maximum rating

Momentary overload (for which, for test purpose, 15 second is recognized) of 50 % in current for generator and of varying amount in torque for motor according to type, size and duty are recognized. In fact, electric motor and generator have an inherent capacity sufficient for average requirement.

For exceptional application where overload are anticipated in normal service the purchaser should seek the advice of the manufacture or select a standard motor or higher rating. Such cases might arise with motor coupled to oil pump where the load may be increased for short period while pumping cold oil.

## **INSULATION RESISTANCE**

The insulation resistance is affected by moisture and dirt and therefore a good indicator of deterioration from such cause.

The insulation resistance may be measured by non-destructive test applied between the conductor and the framework of the apparatus. The resistance value may be read directly from mega ohmmeter or indirectly by calculation, using voltmeter-ammeter method, or from voltmeter reading alone.

---

The insulation resistance values of DC machine are generally more sensitive to change in humidity than are those of AC winding, this due to the greater number of leakage paths in the armature and fields of DC machines.

## **METHOD OF MEASUREMENT OF TEMPERATURE RISE BY RESISTANCE**

The hot temperature is determined from the following formula:

$$T_2 = R_2 / R_1 (T_1 + 234.5) - 234.5$$

R1 = resistance of winding cold

R2 = resistance of winding hot

T1 = temperature of winding cold °C

T2 = temperature of winding hot °C

When it is intended to use embedded temperature detectors they must be built in the machine during construction. They may take form of either thermo-couples or resistance thermometer.

## **MEASUREMENT OF AMBIENT AIR TEMPERATURE**

The thermometer should indicate the temperature of the air flowing toward the machine and should be protected from heat radiation and stray draughts.

The value... 

The value to be adopted to determine temperature rise is the average of these temperatures from reading taken at the beginning and end of the last half-hour of the test.

If the air is admitted into the machine through a define inlet opening or openings, the temperature of the cooling air should be measured in the current of air near its entrance into the machine.

Selesai...

[Kembali ke Menu Utama](#)



# PARALEL GENERATOR

Paralel generator dapat diartikan menggabungkan dua buah generator atau lebih dan kemudian dioperasikan secara bersama – sama dengan tujuan :

1. Mendapatkan daya yang lebih besar.
2. Untuk efisiensi (Menghemat biaya pemakaian operasional dan Menghemat biaya pembelian)
3. Untuk memudahkan penentuan kapasitas generator.
4. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

## Sinkronisasi

Jika kita hendak memparalelkan dua generator atau lebih tentunya kita harus memperhatikan beberapa persyaratan paralel generator tersebut. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi adalah,

1. Tegangan kedua generator harus mempunyai amplitudo yang sama.
2. Tegangan kedua generator harus mempunyai frekwensi yang sama, dan
3. Tegangan antar generator harus sefasa.

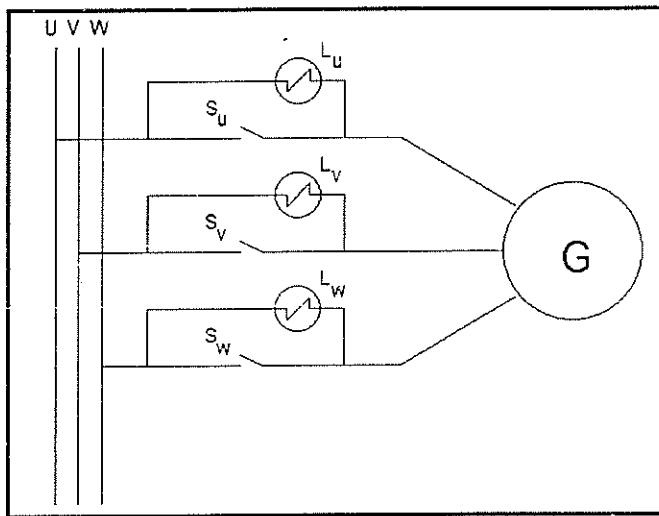
Dengan persyaratan diatas berlaku apabila,

1. Lebih dari dua generator yang akan kerja paralel.
2. Dua atau lebih sistem yang akan dihubungkan sejajar.
3. Generator atau pusat tenaga listrik yang akan dihubungkan pada sebuah jaringan.

Metoda sederhana yang dipergunakan untuk mensikronkan dua generator atau lebih adalah dengan mempergunakan sinkroskop lampu. Yang harus diperhatikan dalam metoda sederhana ini adalah lampu – lampu indikator harus sanggup menahan dua kali tegangan antar fasa.

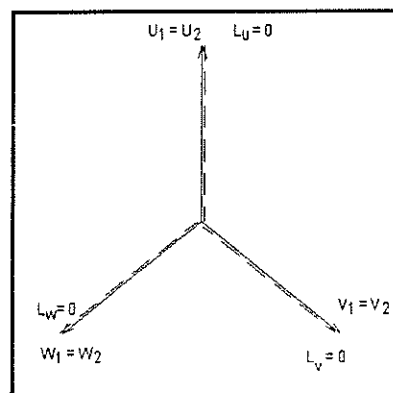
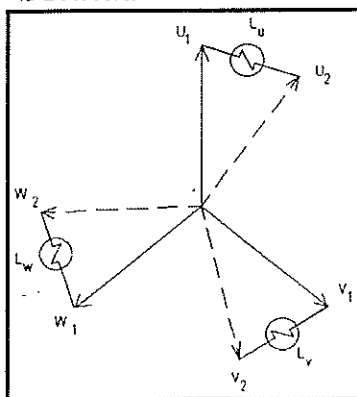
## Sinkronoskop Lampu Gelap

Jenis sinkronoskop lampu gelap pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan U, V dengan V dan W dengan W. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



*Gambar Skema Sinkronoskop Lampu Gelap*

Pada hubungan ini jika tegangan antar fasa adalah sama maka ketiga lampu akan gelap yang disebabkan oleh beda tegangan yang ada adalah nol. Demikian juga sebaliknya, jika lampu menyala maka diantara fasa terdapat beda tegangan. Ini dapat dijelaskan pada gambar berikut.

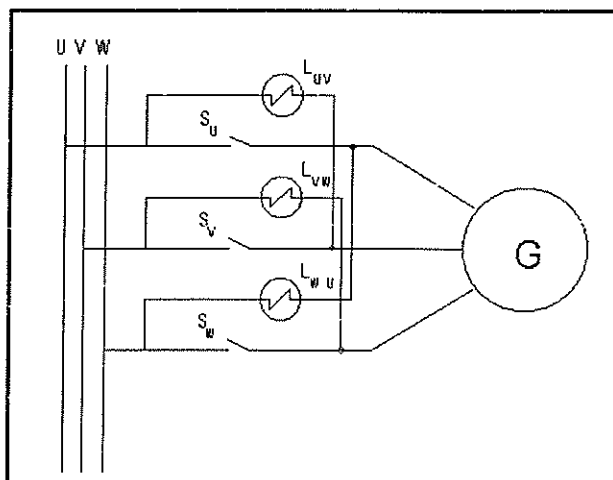


*Gambar Beda tegangan antara fasa pada sinkronoskop lampu gelap*

Sinkronoskop...

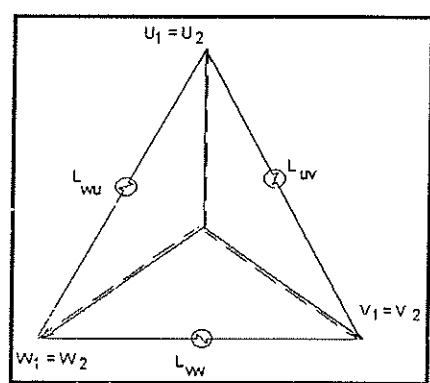
### Sinkronoskop Lampu Terang

Jenis sinkronoskop lampu terang pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan V, V dengan W dan W dengan U. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



*Gambar Skema Sinkronoskop Lampu Terang*

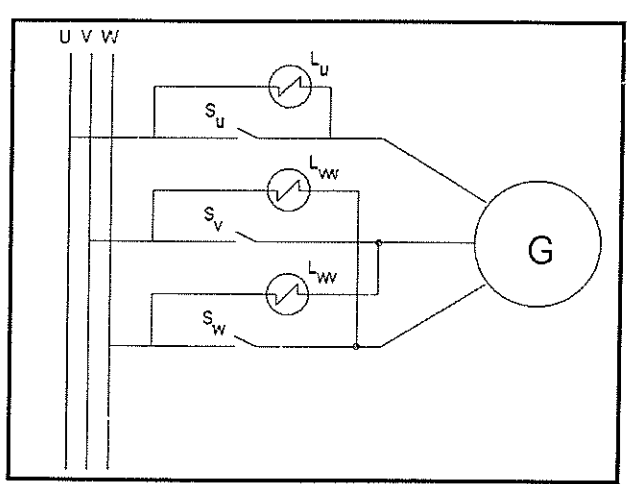
Sinkronoskop jenis ini merupakan kebalikan dari sinkronoskop lampu gelap. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel. Kelemahan dari sinkronoskop ini adalah kita tidak mengetahui seberapa terang lampu tersebut sampai generator siap diparalel. Ini dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini.



Gambar Beda tegangan antara fasa sinkronoskop lampu terang

### Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

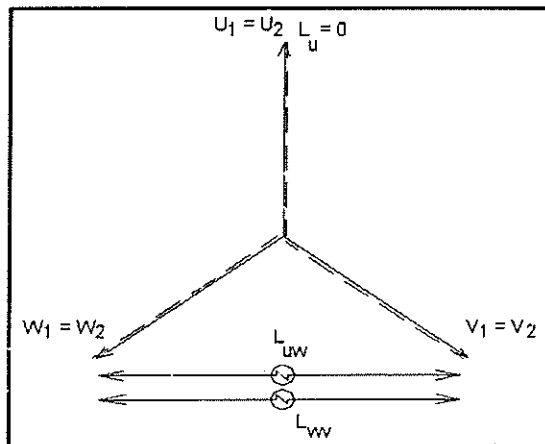
Sinkronoskop jenis ini dapat dikatakan merupakan perpaduan antara sinkronoskop lampu gelap dan terang. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa U dengan fasa U, fasa V dengan fasa W dan fasa W dengan fasa V. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada skema dibawah ini.



Gambar Skema sinkronoskop lampu terang gelap

Pada sinkronoskop ini generator siap diparalel, jika satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Pada kejadian ini dapat diterangkan pada gambar berikut ini.

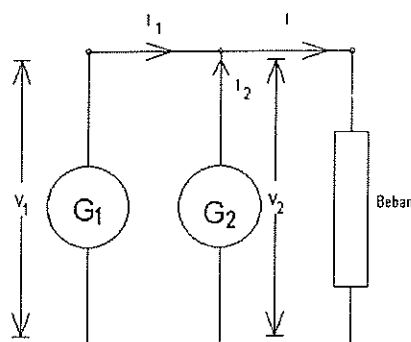
Gambar ...



*Gambar Beda tegangan antara fasa sinkronoskop lampu terang gelap*

Namun apabila persyaratan paralel antar generator tidak terpenuhi maka :

1. Jika Frekwensi tidak sama  
 Berdasarkan rumus  $f = ((p \cdot n) / 120)$  maka terdapat hubungan kesebandingan antara  $f$  dan  $n$ , jika frekwensi tidak sama atau  $f_1 > f_2$ , makaseolah – olah generator pertama ( $G_1$ ) akan menarik Generator kedua ( $G_2$ ). Dan  $G_2$  diperlakukan sebagai beban (motor) oleh  $G_1$ .
2. Jika Tegangan tidak sama



*Diagram paralel 2 generator*

Dari diagram diatas, diketahui bahwa  $G_1$  dengan tegangan output  $E_1$  / phase dan tegangan  $G_2$  adalah  $E_2$  / phase, dan  $R_{\text{beban atau busbar}} \approx 0$ .

Dengan hukum kirchoff, bahwa  $\Sigma E = 0$

Pada loop 1, 
$$E_1 - E_2 - i_1 * R_{\text{busbar}} = 0$$

$$E_1 - E_2 - i_1 * 0 = 0$$

Karena  $G_1$  paralel  $G_2$  maka,  $E_1 = E_2$ , sehingga

$$E_1 - E_1 - i_1 * R_{\text{busbar}} = 0$$

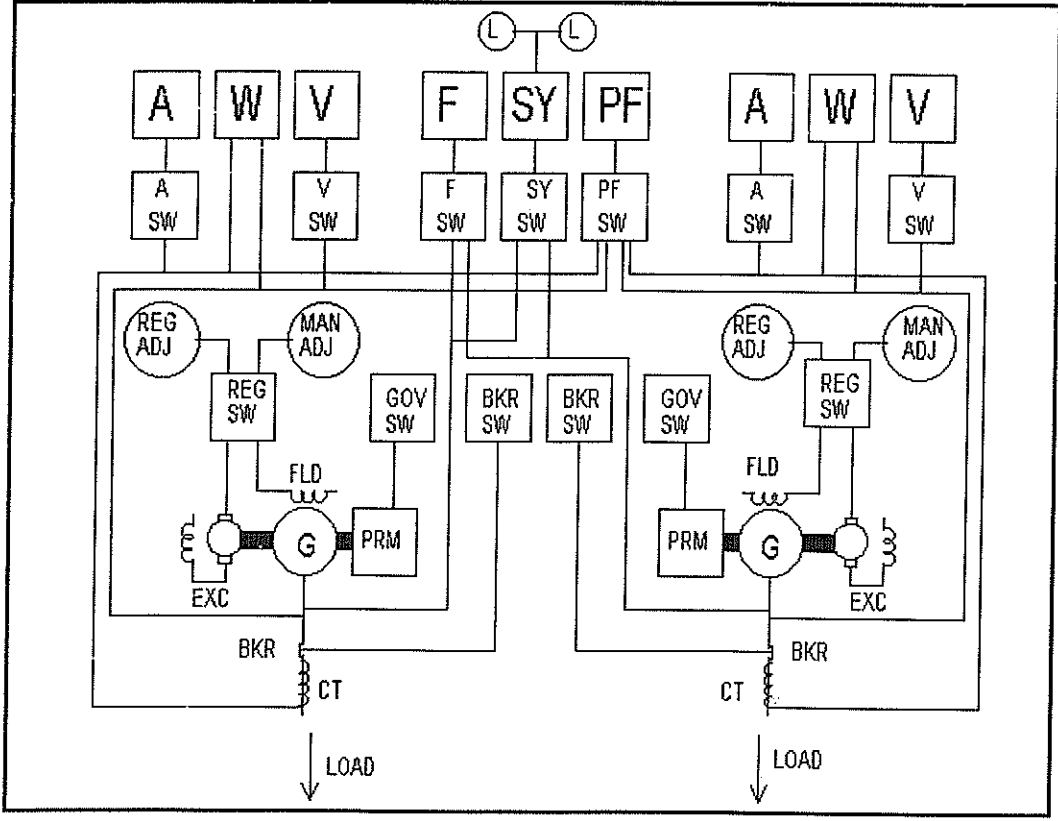
$$i_1 = (0 / R_{\text{busbar}}) = 0 / 0 = 0$$

Apabila  $E_1 \neq E_2$  maka,  $E_1 - E_2 = \Delta E$

$$i_1 = (\Delta E / R_{\text{busbar}}) = \Delta E / 0 = \sim$$

Dan arus  $i_1$  akan memukul ke  $G_2$ .

**Instalasi / Pengkabelan Generator**



Gambar Fungsional Untuk Sistem 2 Generator

Keterangan...

Keterangan gambar,

A adalah ampere meter

A SW adalah switch amperemeter pada masing – masing fasa

V adalah voltmeter

V SW adalah switch voltmeter pada masing – masing fasa

W adalah wattmeter

F adalah frekwensi meter

F SW adalah switch untuk mengetahui frekwensi dari masing – masing generator

SY adalah Sinkronoskop

SY SW adalah switch untuk sinkronisasi antar generator

L adalah lampu indikator sinkronoskop

REG ADJ adalah regulator adjustment tegangan secara otomatis

MAN ADJ adalah adjustment tegangan secara manual

REG SW adalah switch untuk menindahkan pengaturan tegangan dari manual ke otomatis atau sebaliknya

GOV SW adalah switch untuk governor.

BKR SW adalah breaker switch untuk pelepas beban pada masing – masing generator

BKR adalah breaker untuk koneksi generator ke beban

PRM adalah primemover dalam hal ini adalah diesel engine

G adalah generator

EXC adalah exciter dari generator

FLD adalah field windings (magnets)

CT adalah current transformator

### **Load Sharing**

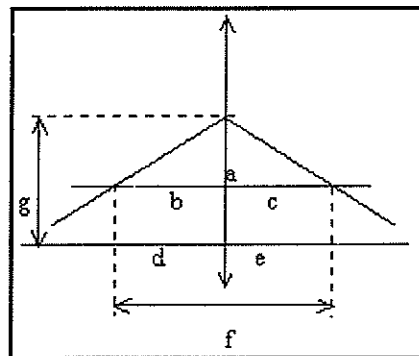
#### **Konsep Load Sharing**

Permasalahan yang pasti timbul untuk memparalelkan generator dengan kapasitas yang berbeda adalah terjadinya overload pada generator yang kapasitasnya lebih rendah.

Untuk...

Untuk mengatasi permasalahan ini terlebih dahulu kita mengetahui karakteristik dari setiap generator. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik daya terhadap putaran atau frekwensi. Selain itu karakteristik dari masing – masing generator harus mempunyai droop yang sama. Dengan karakteristik yang demikian kita dapat melakukan pengaturan daya generator sehingga dapat mencapai prosentase yang sama pada masing – masing unit generator yang diparalel. Implementasi dari karakteristik tersebut adalah dengan diagram karakteristik frekwensi - daya. Supaya terjadi distribusi beban seperti pada diagram karakteristik, maka antar generator dioperasikan pada kecepatan bersama yang besarnya adalah sebagai berikut,

Kecepatan bersama =  $b/d * g$  atau =  $c/e * g$  (%)



*Diagram Karakteristik Frekwensi Terhadap Daya Dua Genset.*

dimana,

- a. Frekwensi atau putaran bersama.
- b. Beban pada genset 1.
- c. Beban pada genset 2
- d. Kapasitas genset 1.
- e. Kapasitas genset 2
- f. Total beban kedua genset.
- g. Putaran atau frekwensi tanpa beban dari kedua genset.

Dengan...



Dengan demikian bila dua generator yang berkerja secara paralel, dan jika salah satu generator karakteristik droopnya dinaikkan maka akan mengakibatkan,

1. Frekwensi akan naik.
2. Daya yang disediakan oleh generator yang dinaikkan karakteristik droopnya akan bertambah.

Untuk mendapatkan putaran generator dengan pembagian beban yang demikian dapat digunakan formula

$$S_{ai} = S_{ni} \left[ \left( \frac{\text{Availabel KW Load}}{\text{Rated KW}} \right) \times (S_{ni} - S_{fi}) \right]$$

dimana,

$S_{ai}$  adalah Putaran pada saat beban yang dibangkitkan

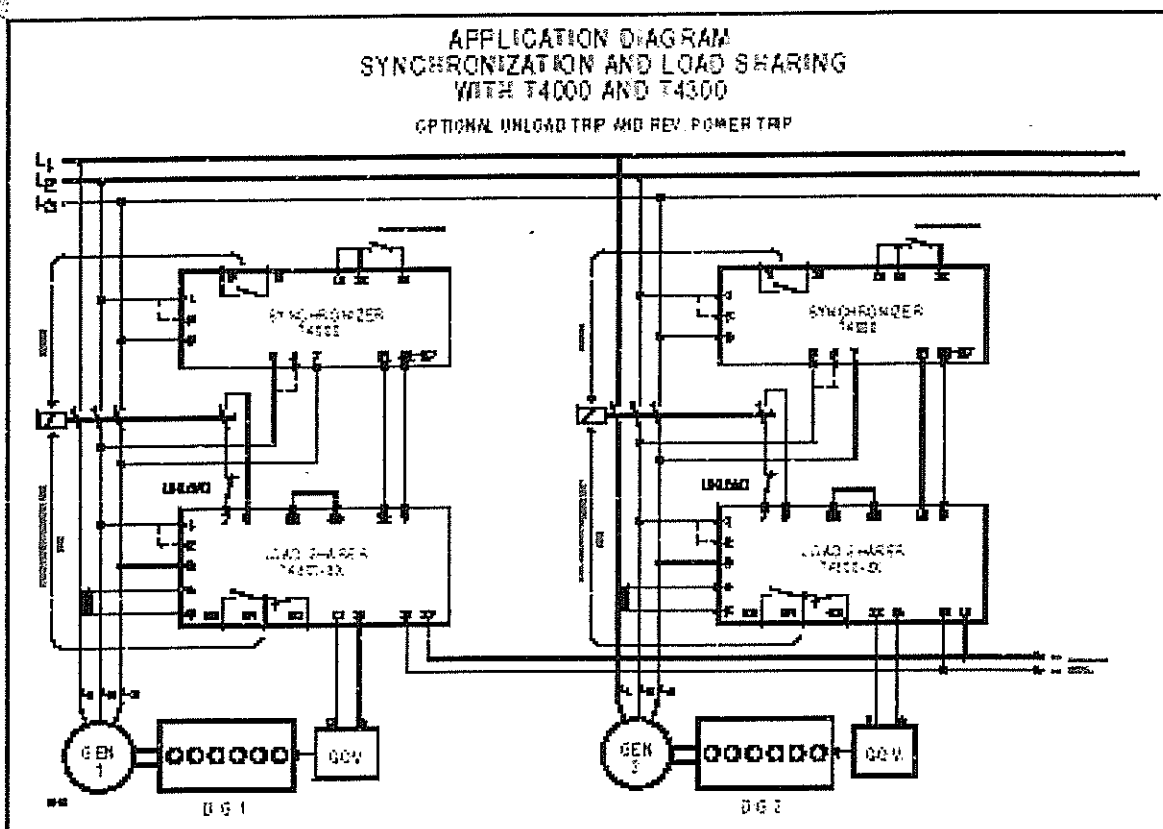
$S_{fi}$  adalah Putaran pada saat beban penuh

$S_{ni}$  adalah Putaran pada saat beban kosong

Dengan demikian genset dengan kapasitas yang berbeda dapat secara aman diparalel dan menanggung beban secara proporsional sesuai dengan kapasitasnya. Namun demikian penggunaannya di dunia perkapalan masih menjadi kekhawatiran di pihak perancang mengenai arus pembebanan pada masing – masing generator [Sardono, 1989].

### Aplikasi Load Sharing

Aplikasinya supaya terjadi distribusi beban antar genset yang demikian maka dipergunakan alat load sharer untuk membagi beban genset secara proporsional berdasarkan kapasitas generator. Beberapa merek dipasaran menggunakan parameter tambahan selain parameter diatas yaitu persentase diviasi total kuat arus genset atau total kuat arus genset dan tranformator arus yang diperlukan. Sistem rangkaian salah satu peralatan load sharer dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



*Sistem Rangkaian Load Sharer Selco Model T4300 Dan Auto Synchronization T4000*

### Prosedur Praktis Paralel Generator

Karena penambahan beban sistem kelistrikan yang harus ditanggung oleh generator maka diperlukan penambahan daya dari generator lain untuk mengcover beban sistem kelistrikan. Untuk keperluan tersebut diperlukan paralel generator yang mengacu pada persyaratan paralel dengan prosedur sebagai berikut.

1. Pastikan bahwa breaker dari generator yang akan diparalel (incoming generator) dalam keadaan terbuka, atau dengan kata lain incoming generator terisolasi dengan sistem.

Pastikan...

2. Pastikan **AVR** (Automatic Voltage Regulator) dalam keadaan "**Automatic**", bukan manual.
3. **Start Prime mover** sampai pada spesifikasi putaran tanpa beban.
4. Gunakan **governor control** untuk mengeset **frekwensi Incoming Generator lebih tinggi 1/10** dari frekwensi sistem.
5. Gunakan **AVR** untuk mengeset **Tegangan Incoming Generator** sama atau lebih tinggi dari sistem.
6. Gunakan **Synchroscope** pada incoming generator dan **set frekwensi incoming generator** berputar perlahan – lahan di daerah "**Fast**" mendekati 0.
7. **Tutup breaker incoming generator** saat **1 sampai 2 derajat** pada **synchroscope sebelum posisi 0**. Dengan asumsi breaker mempunyai massa lembam dengan demikian penutupan breaker tepat pada angka 0 pada **synchroscope**.
8. Matikan **synchroscope**
9. Dengan **governor control**, buat **perpindahan beban** ke incoming generator secara perlahan – lahan.
10. Jika **power faktor** yang terbaca antara 2 generator atau lebih yang diparalel **tidak sama** maka, **set AVR** masing – masing generator **sampai power faktor** setiap generator **mendekati sama**.

Jika menggunakan peralatan automatic synchronizer yang digabung dengan peralatan Load sharer dan kVA sharer kita hanya mengikuti langkah 1 dan 3, selain itu kita dapat mempersingkat semua langkah diatas. Lama waktu yang diperlukan untuk langkah – langkah diatas dengan menggunakan peralatan automatic (AS, LS dan kVA S) adalah berkisar antara 10 sampai 15 detik.

### Rules

Untuk menjamin kondisi layak laut maka kapal harus memenuhi standart aturan Biro Klasifikasi.

Untuk...

Untuk ketentuan jumlah generator dikapal, Sekurang-kurangnya dua agregat yang terpisah dari mesin penggerak utama harus disediakan untuk pemberian daya instalasi listrik [BKI, 1996]. Ini untuk menjamin jika generator terjadi kerusakan dilaut maka kapal masih dapat beroperasi. Ketentuan untuk kapasitasnya, daya keluar dari generator yang sekurang-kurangnya diperlukan untuk pelayanan dilaut harus 15% lebih tinggi daripada kebutuhan daya yang ditetapkan dalam balans daya [BKI, 1996]. Ini dimungkinkan untuk keperluan arus asut dari motor – motor listrik peralatan diatas kapal. Sedangkan untuk ketentuan paralel generator dengan kapasitas berbeda maka beda keluaran daya reaktif dari setiap generator tidak boleh lebih kecil 15% dari keluaran daya reaktif generator kapasitas lebih besar dan tidak boleh lebih kecil 25% dari daya reaktif generator berkapasitas lebih kecil [BKI, 1996]. Aturan ini dimaksudkan untuk keamanan dalam operasional generator pada kapasitas berbeda supaya tidak terjadinya beban berlebih. Ketentuan untuk variasi frekwensi adalah  $\pm 5\%$  [BKI, 1996], dengan demikian karakteristik droop generator tidak boleh lebih dari 5%, ini dimaksudkan untuk kestabilan kontrol operasional generator dikapal.

Selesai...

**Kembali ke Menu Utama**

# PARALEL GENERATOR

Paralel generator dapat diartikan menggabungkan dua buah generator atau lebih dan kemudian dioperasikan secara bersama – sama dengan tujuan :

1. Mendapatkan daya yang lebih besar.
2. Untuk efisiensi (Menghemat biaya pemakaian operasional dan Menghemat biaya pembelian)
3. Untuk memudahkan penentuan kapasitas generator.
4. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

## Sinkronisasi

Jika kita hendak memparalelkan dua generator atau lebih tentunya kita harus memperhatikan beberapa persyaratan paralel generator tersebut. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi adalah,

1. Tegangan kedua generator harus mempunyai amplitudo yang sama.
2. Tegangan kedua generator harus mempunyai frekwensi yang sama, dan
3. Tegangan antar generator harus sefasa.

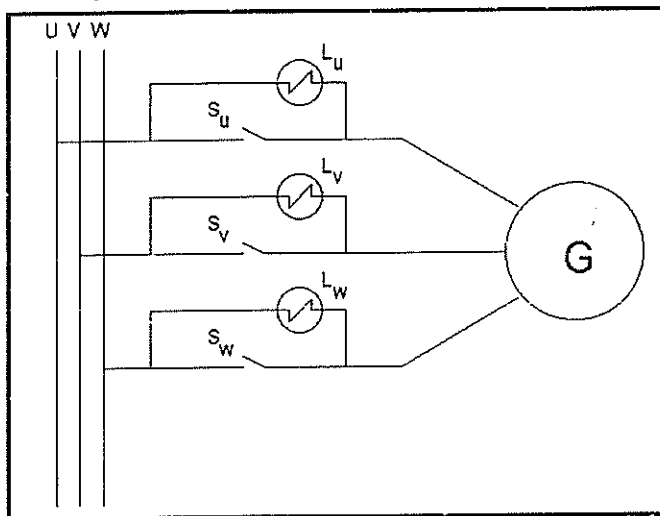
Dengan persyaratan diatas berlaku apabila,

1. Lebih dari dua generator yang akan kerja paralel.
2. Dua atau lebih sistem yang akan dihubungkan sejajar.
3. Generator atau pusat tenaga listrik yang akan dihubungkan pada sebuah jaringan.

Metoda sederhana yang dipergunakan untuk mensikronkan dua generator atau lebih adalah dengan mempergunakan sinkroskop lampu. Yang harus diperhatikan dalam metoda sederhana ini adalah lampu – lampu indikator harus sanggup menahan dua kali tegangan antar fasa.

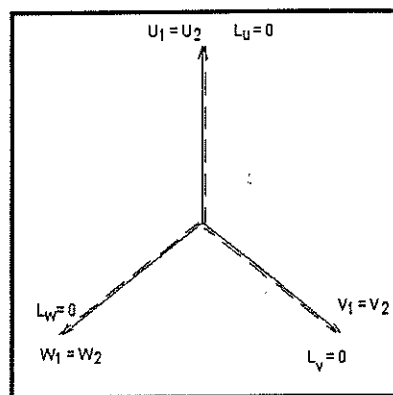
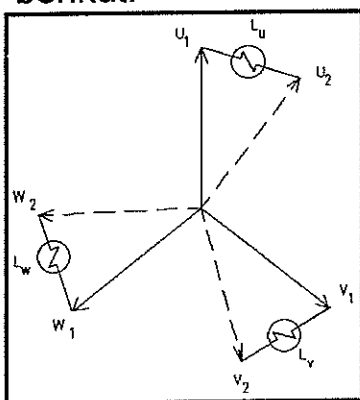
## Sinkronoskop Lampu Gelap

Jenis sinkronoskop lampu gelap pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan U, V dengan V dan W dengan W. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



*Gambar Skema Sinkronoskop Lampu Gelap*

Pada hubungan ini jika tegangan antar fasa adalah sama maka ketiga lampu akan gelap yang disebabkan oleh beda tegangan yang ada adalah nol. Demikian juga sebaliknya, jika lampu menyala maka diantara fasa terdapat beda tegangan. Ini dapat dijelaskan pada gambar berikut.

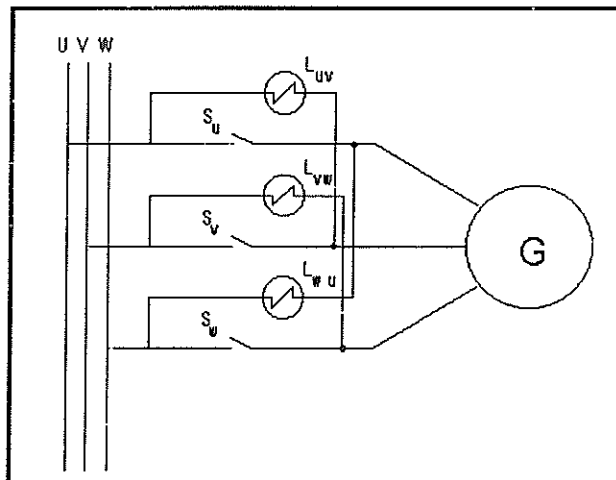


*Gambar Beda tegangan antara fasa pada sinkronoskop lampu gelap*

Sinkronoskop...

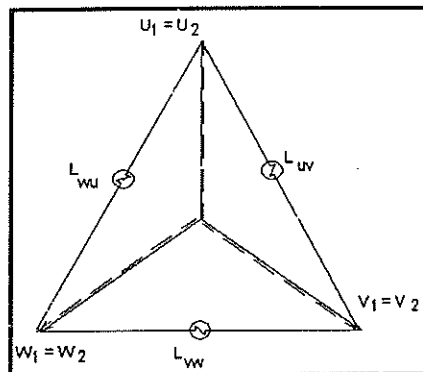
### Sinkronoskop Lampu Terang

Jenis sinkronoskop lampu terang pada prinsipnya menghubungkan antara ketiga fasa, yaitu U dengan V, V dengan W dan W dengan U. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



*Gambar Skema Sinkronoskop Lampu Terang*

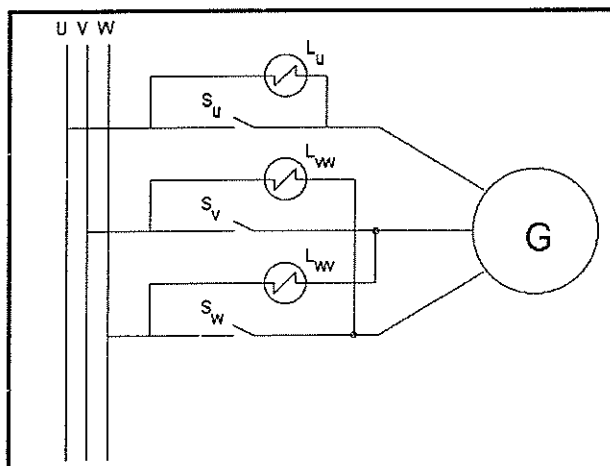
Sinkronoskop jenis ini merupakan kebalikan dari sinkronoskop lampu gelap. Jika antara fasa terdapat beda tegangan maka ketiga lampu akan menyala sama terang dan generator siap untuk diparalel. Kelemahan dari sinkronoskop ini adalah kita tidak mengetahui seberapa terang lampu tersebut sampai generator siap diparalel. Ini dapat dijelaskan dengan gambar dibawah ini.



*Gambar Beda tegangan antara fasa sinkronoskop lampu terang*

### Sinkronoskop Lampu Terang Gelap

Sinkronoskop jenis ini dapat dikatakan merupakan perpaduan antara sinkronoskop lampu gelap dan terang. Prinsip dari sinkronoskop ini adalah dengan menghubungkan satu fasa sama dan dua fasa yang berlainan, yaitu fasa U dengan fasa U, fasa V dengan fasa W dan fasa W dengan fasa V. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada skema dibawah ini.

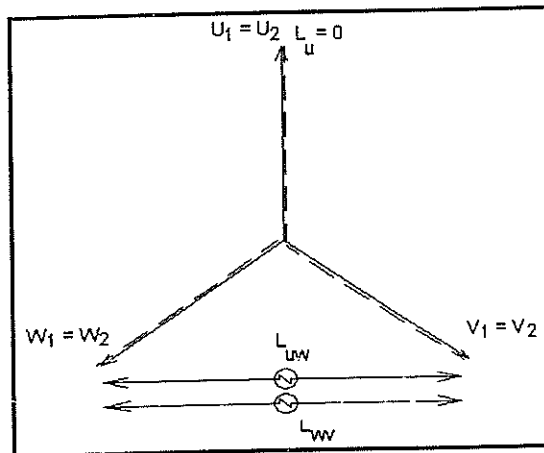


*Gambar Skema sinkronoskop lampu terang gelap*

Pada sinkronoskop ini generator siap diparalel, jika satu lampu gelap dan dua lampu lainnya terang. Pada kejadian ini dapat diterangkan pada gambar berikut ini.

Gambar ...





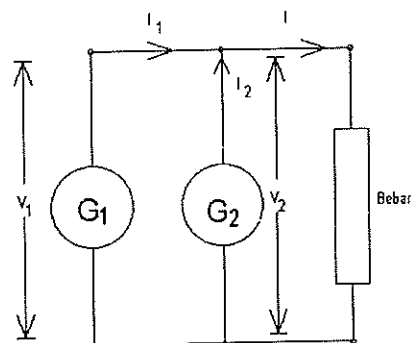
*Gambar Beda tegangan antara fasa sinkronoskop lampu terang gelap*

Namun apabila persyaratan paralel antar generator tidak terpenuhi maka :

1. Jika Frekwensi tidak sama

Berdasarkan rumus  $f = ((p \cdot n) / 120)$  maka terdapat hubungan kesebandingan antara  $f$  dan  $n$ , jika frekwensi tidak sama atau  $f_1 > f_2$ , makaseolah – olah generator pertama ( $G_1$ ) akan menarik Generator kedua ( $G_2$ ). Dan  $G_2$  diperlakukan sebagai beban (motor) oleh  $G_1$ .

2. Jika Tegangan tidak sama



*Diagram paralel 2 generator*

Dari ...

Dari diagram diatas, diketahui bahwa  $G_1$  dengan tegangan output  $E_1$  / phasa dan tegangan  $G_2$  adalah  $E_2$  / phase, dan  $R_{\text{beban atau busbar}} \approx 0$ .  
 Dengan hukum kirchoff, bahwa  $\Sigma E = 0$

Pada loop 1,  

$$E_1 - E_2 - i_1 * R_{\text{busbar}} = 0$$

$$E_1 - E_2 - i_1 * 0 = 0$$

Karena  $G_1$  paralel  $G_2$  maka,  $E_1 = E_2$ , sehingga  

$$E_1 - E_1 - i_1 * R_{\text{busbar}} = 0$$

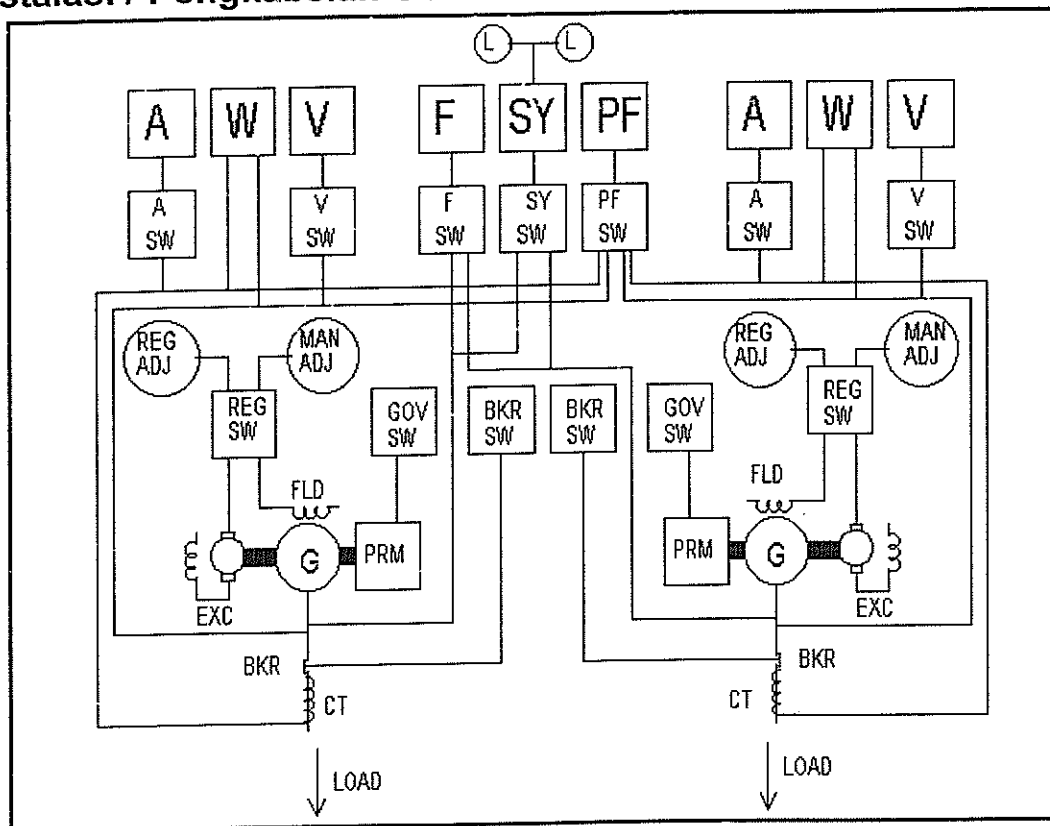
$$i_1 = (0 / R_{\text{busbar}}) = 0 / 0 = 0$$

Apabila  $E_1 \neq E_2$  maka,  $E_1 - E_2 = \Delta E$   

$$i_1 = (\Delta E / R_{\text{busbar}}) = \Delta E / 0 = \sim$$

Dan arus  $i_1$  akan memukul ke  $G_2$ .

### Instalasi / Pengkabelan Generator



Gambar Fungsional Untuk Sistem 2 Generator

Keterangan...

Keterangan gambar,

A adalah ampere meter

A SW adalah switch amperemeter pada masing – masing fasa

V adalah voltmeter

V SW adalah switch voltmeter pada masing – masing fasa

W adalah wattmeter

F adalah frekwensi meter

F SW adalah switch untuk mengetahui frekwensi dari masing – masing generator

SY adalah Sinkronoskop

SY SW adalah switch untuk sinkronisasi antar generator

L adalah lampu indikator sinkronoskop

REG ADJ adalah regulator adjusment tegangan secara otomatis

MAN ADJ adalah adjusment tegangan secara manual

REG SW adalah switch untuk menindahkan pengaturan tegangan dari manual ke otomatis atau sebaliknya

GOV SW adalah switch untuk govenor.

BKR SW adalah breaker switch untuk pelepas beban pada masing – masing generator

BKR adalah breaker untuk koneksi generator ke beban

PRM adalah primemover dalam hal ini adalah diesel engine

G adalah generator

EXC adalah exciter dari generator

FLD adalah field windings (magnets)

CT adalah current transformator

### **Load Sharing**

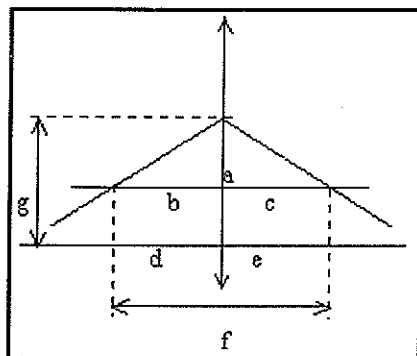
#### **Konsep Load Sharing**

Permasalahan yang pasti timbul untuk memparalelkan generator dengan kapasitas yang berbeda adalah terjadinya overload pada generator yang kapasitasnya lebih rendah.

Untuk...

Untuk mengatasi permasalahan ini terlebih dahulu kita mengetahui karakteristik dari setiap generator. Karakteristik yang dimaksud adalah karakteristik daya terhadap putaran atau frekwensi. Selain itu karakteristik dari masing – masing generator harus mempunyai droop yang sama. Dengan karakteristik yang demikian kita dapat melakukan pengaturan daya generator sehingga dapat mencapai prosentase yang sama pada masing – masing unit generator yang diparalel. Implementasi dari karakteristik tersebut adalah dengan diagram karakteristik frekwensi - daya. Supaya terjadi distribusi beban seperti pada diagram karakteristik, maka antar generator dioperasikan pada kecepatan bersama yang besarnya adalah sebagai berikut,

Kecepatan bersama =  $b/d * g$  atau =  $c/e * g$  (%)



*Diagram Karakteristik Frekwensi Terhadap Daya Dua Genset.*

dimana,

- a. Frekwensi atau putaran bersama.
- b. Beban pada genset 1.
- c. Beban pada genset 2
- d. Kapasitas genset 1.
- e. Kapasitas genset 2
- f. Total beban kedua genset.
- g. Putaran atau frekwensi tanpa beban dari kedua genset.

Dengan...

Dengan demikian bila dua generator yang berkerja secara paralel, dan jika salah satu generator karakteristik droopnya dinaikkan maka akan mengakibatkan,

1. Frekwensi akan naik.
2. Daya yang disediakan oleh generator yang dinaikkan karakteristik droopnya akan bertambah.

Untuk mendapatkan putaran generator dengan pembagian beban yang demikian dapat digunakan formula

$$S_{al} = S_{nl} \left[ \left( \frac{\text{Availabel KW Load}}{\text{Rated KW}} \right) \times (S_{nl} - S_{fl}) \right]$$

dimana,

$S_{al}$  adalah Putaran pada saat beban yang dibangkitkan

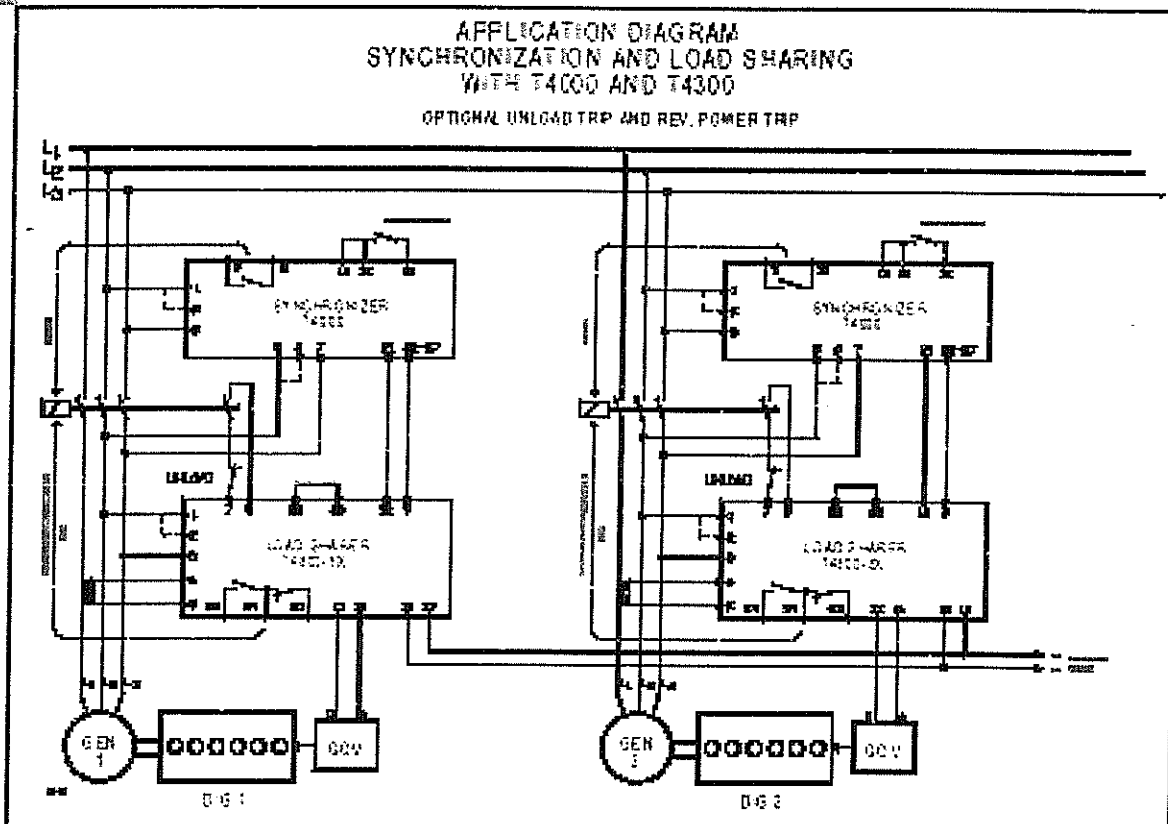
$S_{fl}$  adalah Putaran pada saat beban penuh

$S_{nl}$  adalah Putaran pada saat beban kosong

Dengan demikian genset dengan kapasitas yang berbeda dapat secara aman diparalel dan menanggung beban secara proporsional sesuai dengan kapasitasnya. Namun demikian penggunaannya di dunia perkapalan masih menjadi kekhawatiran di pihak perancang mengenai arus pembebanan pada masing – masing generator [Sardono, 1989].

### Aplikasi Load Sharing

Aplikasinya supaya terjadi distribusi beban antar genset yang demikian maka dipergunakan alat load sharer untuk membagi beban genset secara proporsional berdasarkan kapasitas generator. Beberapa merek dipasaran menggunakan parameter tambahan selain parameter diatas yaitu persentase diviasi total kuat arus genset atau total kuat arus genset dan tranformator arus yang diperlukan. Sistem rangkaian salah satu peralatan load sharer dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



*Sistem Rangkaian Load Sharer Selco Model T4300 Dan Auto Synchronization T4000*

### Prosedur Praktis Paralel Generator

Karena penambahan beban sistem kelistrikan yang harus ditanggung oleh generator maka diperlukan penambahan daya dari generator lain untuk mengcover beban sistem kelistrikan. Untuk keperluan tersebut diperlukan paralel generator yang mengacu pada persyaratan paralel dengan prosedur sebagai berikut.

1. Pastikan bahwa breaker dari generator yang akan diparalel (incoming generator) dalam keadaan terbuka, atau dengan kata lain incoming generator terisolasi dengan sistem.

Pastikan...

2. Pastikan **AVR** (Automatic Voltage Regulator) dalam keadaan "**Automatic**", bukan manual.
3. **Start Prime mover** sampai pada spesifikasi putaran tanpa beban.
4. Gunakan **governor control** untuk mengeset **frekwensi Incoming Generator lebih tinggi 1/10** dari frekwensi sistem.
5. Gunakan **AVR** untuk mengeset **Tegangan Incoming Generator** sama atau lebih tinggi dari sistem.
6. Gunakan **Synchroscope** pada incoming generator dan **set frekwensi incoming generator** berputar perlahan – lahan di daerah "**Fast**" mendekati 0.
7. **Tutup breaker incoming generator** saat **1 sampai 2 derajat** pada synchroscope **sebelum posisi 0**. Dengan asumsi breaker mempunyai massa lembam dengan demikian penutupan breaker tepat pada angka 0 pada synchroscope.
8. Matikan synchroscope
9. Dengan **governor control**, buat **perpindahan beban** ke incoming generator secara perlahan – lahan.
10. Jika **power faktor** yang terbaca antara 2 generator atau lebih yang diparalel **tidak sama** maka, **set AVR** masing – masing generator **sampai power faktor** setiap generator **mendekati sama**.

Jika menggunakan peralatan automatic synchronizer yang digabung dengan peralatan Load sharer dan kVA sharer kita hanya mengikuti langkah 1 dan 3, selain itu kita dapat mempersingkat semua langkah diatas. Lama waktu yang diperlukan untuk langkah – langkah diatas dengan menggunakan peralatan automatic (AS, LS dan kVA S) adalah berkisar antara 10 sampai 15 detik.

### Rules

Untuk menjamin kondisi layak laut maka kapal harus memenuhi standart aturan Biro Klasifikasi.

Untuk...

Untuk ketentuan jumlah generator dikapal, Sekurang-kurangnya dua agregat yang terpisah dari mesin penggerak utama harus disediakan untuk pemberian daya instalasi listrik [BKI, 1996]. Ini untuk menjamin jika generator terjadi kerusakan dilaut maka kapal masih dapat beroperasi. Ketentuan untuk kapasitasnya, daya keluar dari generator yang sekurang-kurangnya diperlukan untuk pelayanan dilaut harus 15% lebih tinggi daripada kebutuhan daya yang ditetapkan dalam balans daya [BKI, 1996]. Ini dimungkinkan untuk keperluan arus asut dari motor – motor listrik peralatan diatas kapal. Sedangkan untuk ketentuan paralel generator dengan kapasitas berbeda maka beda keluaran daya reaktif dari setiap generator tidak boleh lebih kecil 15% dari keluaran daya reaktif generator kapasitas lebih besar dan tidak boleh lebih kecil 25% dari daya reaktif generator berkapasitas lebih kecil [BKI, 1996]. Aturan ini dimaksudkan untuk keamanan dalam operasional generator pada kapasitas berbeda supaya tidak terjadinya beban berlebih. Ketentuan untuk variasi frekwensi adalah  $\pm 5\%$  [BKI, 1996], dengan demikian karakteristik droop generator tidak boleh lebih dari 5%, ini dimaksudkan untuk kestabilan kontrol operasional generator dikapal.

Selesai...

**Kembali ke Menu Utama**



# PERENCANAAN KAPASITAS GENERATOR

Dalam merencanakan sistem kelistrikan perlu diperhatikan kapasitas dari generator dan peralatan listrik lainnya, besarnya kebutuhan maksimum dan minimum dari peralatannya. Kebutuhan maksimum merupakan kebutuhan daya rerata terbesar yang terjadi pada interval waktu yang singkat selama periode kerja dari peralatan tersebut, dan sebaliknya. Kebutuhan rerata merupakan daya rerata pada periode kerja yang dapat ditentukan dengan membagi energi yang dipakai dengan jumlah jam periode tersebut.

Untuk kebutuhan maksimum digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas generator. Dan untuk kebutuhan minimum digunakan sebagai acuan untuk menentukan konfigurasi dari electric plan yang sesuai serta untuk menentukan kapan generator dioperasikan.

Daya cadangan harus dimasukkan perhitungan untuk menutup kebutuhan daya pada puncak beban yang terjadi pada periode yang singkat, misalnya bila digunakan untuk mengasut motor – motor besar. Jika dilihat secara regulasi BKI mensyaratkan untuk daya keluar dari generator sekurang-kurangnya diperlukan untuk pelayanan dilaut harus 15% lebih tinggi daripada kebutuhan daya yang ditetapkan dalam balans daya. Selain itu juga harus diperhatikan faktor pertumbuhan beban untuk masa akan datang.

Untuk menentukan kapasitas generator di kapal dipergunakan suatu tabel balans daya yang mana seluruh peralatan listrik yang ada kapasitasnya atau dayanya tertera dalam tabel tersebut.

Sehingga...

Sehingga dengan tabel balans daya tersebut dapat diketahui daya listrik yang diperlukan untuk masing – masing kondisi operasional kapal. Dalam penentuan electric balans BKI Vol. IV (Bab I, D.I) mengisyaratkan bahwa :

- a. Seluruh perlengkapan pemakaian daya yang secara tetap diperlukan untuk memelihara pelayanan normal harus diperhitungkan dengan daya kerja penuh.
- b. Beban terhubung dari seluruh perlengkapan cadangan harus dinyatakan. Dalam hal perlengkapan pemakaian daya nyata yang hanya bekerja bila suatu perlengkapan serupa rusak, kebutuhan dayanya tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan.
- c. Daya masuk total harus ditentukan, dari seluruh pemakaian daya yang hanya untuk sementara dimasukkan, dikalikan dengan suatu faktor kesamaan waktu bersama (common simultancity factor) dan ditambahkan kepada daya masuk total dari seluruh perlengkapan pemakaian daya yang terhubung tetap.
- d. Daya masuk total sebagaimana telah ditentukan sesuai a. dan c. Maupun daya yang diperlukan untuk instalasi pendingin yang mungkin ada, harus dipakai sebagai dasar dalam pemberian ukuran instalasi generator.

### **Beban Kerja (*Load Factor*)**

Load faktor peralatan didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu pemakaian peralatan pada suatu kondisi dengan total waktu untuk suatu kondisi dan nilai load faktor dinyatakan dalam persentase.

Untuk peralatan yang jarang dipergunakan diatas kapal dianggap mempunyai beban nol. Begitu juga untuk peralatan yang bisa dikatakan hampir tidak pernah dipergunakan nilai load faktornya juga dianggap nol seperti, fire pump, anchor windlass, capstan dan boat winches.

### **Faktor Kesamarataan (*Diversity Factor*)**

Peralatan listrik diatas kapal memiliki karakter pembebanan yang spesifik dimana peralatan bekerja tidak pada waktu pemakaian yang teratur dan secara bersamaan. Adapun jenis pembebanan dalam operasional peralatan listrik diatas kapal dibagi menjadi,

a. Beban kontinyu (continous Load )

Ini merupakan peralatan yang dalam operasionalnya bekerja secara terus menerus pada kondisi pelayaran normal seperti, lampu-lampu navigasi, pompa uantu CPP, dll.

b. Beban Terputus – putus (Intermitten Load)

Peralatan yang dalam operasionalnya tidak bekerja secara kontinyu dalam pelayaran normal, melainkan berkerja secara periodik. Misalnya, pompa transfer bahan bakar, pompa air tawar, dll.

Faktor kesamarataan ini didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah dari kebutuhan daya intermitten yang beroperasi selama periode waktu tertentu dengan jumlah dari total kebutuhan daya listrik. Dalam BKI Vol IV, Bab I,D.1.c, ditetapkan faktor kesamarataan dengan mempertimbangkan beban tertinggi yang diharapkan terjadi pada waktu yang sama. Jika penentuan tepat tidaklah mungkin, faktor kesamaan waktunya digunakan tidak boleh lebih kecil dari 0.5.

## Perhitungan Kapasitas

Dalam perhitungan kapasitas selain load faktor dan faktor diversity ada beberapa hal yang harus diperhatikan,

### a. Kondisi kapal.

Kondisi kapal umumnya terdiri dari sandar atau berlabuh, manuver, berlayar, bongkar muat dan Emergency. Berbagai kondisi ini sangat tergantung dari type kapal.

### b. Data peralatan.

Data ini dipergunakan untuk mengetahui jumlah daya atau beban yang diperlukan dan jumlah unit yang tersedia diatas kapal. Data peralatan ini berdasarkan perhitungan dan telah diverifikasi dengan data yang ada dipasaran.

### c. Penggolongan Peralatan

Peralatan digolongkan berdasarkan

- Kondisi kapal (Poin a).
- Letak atau fungsi (Hull part, Machinery Part dan Electrical part).
- Tipe beban (Beban kontinyu atau beban Intermitten).

Kemudian semua data peralatan dengan memperhatikan beberapa hal diatas dimasukkan kedalam tabel balans daya.

**Hull Part**

No	Peralatan	Capacity		Load Factor (%) & Beban (kW)												
		kW	Unit	Berlayar			Manuver			Sandar / Labuh			Emergensi			
				%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	
1																
2																
3																
.																
.																
.																
Sub Total																
Total																

CL : continous load  
 IL : intermitten load

**Machinery Part**

No	Peralatan	Capacity		Load Factor (%) & Beban (kW)												
		kW	Unit	Berlayar			Manuver			Sandar / Labuh			Emergensi			
				%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	
1																
2																
3																
.																
.																
.																
Sub Total																
Total																

CL : continous load  
 IL : intermitten load

## Electrical Part

No	Peralatan	Capacity		Load Factor (%) & Beban (kW)												
		kW	Unit	Berlayar			Manuver			Sandar / Labuh			Emergensi			
				%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	%	CL	IL	
1																
2																
3																
.																
.																
.																
Sub Total																
Total																

CL : continous load

IL : intermitten load

No	Keterangan	Berlayar	Manuver	Sandar / Labuh	Emergensi
1	Intermitten Load				
	a. Total Load (kW)				
	b. Diversity Factor				
	c. Necessary Power (kW) [a*b]				
2	Continous Load (kW)				
3	Total Load (kW) [1.c + 2]				
4	Daya Generator (kW)				
5	Load Faktor Generator (%) [3/4]				

Selesai...

Kembali ke Menu Utama

# Circuit Breakers

---

When selecting a circuit breaker for a particular application the principal factors to consider are; system voltage, rated load current, and fault level at the point of installation

## Voltage rating

At medium voltages the phase to neutral voltage may be 250v but the potential difference between two phases with the neutral insulated would be 440v. At these voltages no difficulties should arise in selecting the circuit breaker equipment. However, on a 3.3kV insulated neutral system the phase to neutral voltage is  $3.3\text{kV}/\sqrt{3} = 1.9\text{kV}$ . If an earth fault develops on one phase the potential of the other two phases to earth is 3.3kV. To ensure the insulation is not subject to excessive stress a circuit breaker designed for a normal system voltage of 6.6kV. may be fitted. Also on insulated neutral systems high over voltages may be caused by arcing faults. Medium voltage systems switch gear insulation should be able to withstand such voltages, but 3.3kV and above, the margin of safety is reduced. When a high voltage system is installed both the voltage rating of the circuit breaker and the method of earthing must be considered.

Current...

---

## Current rating

Consider three factors;

- a. Maximum permissible temperature of circuit breaker copperwork and contacts
- b. temperature due to LOAD CURRENT
- c. Ambient temperature

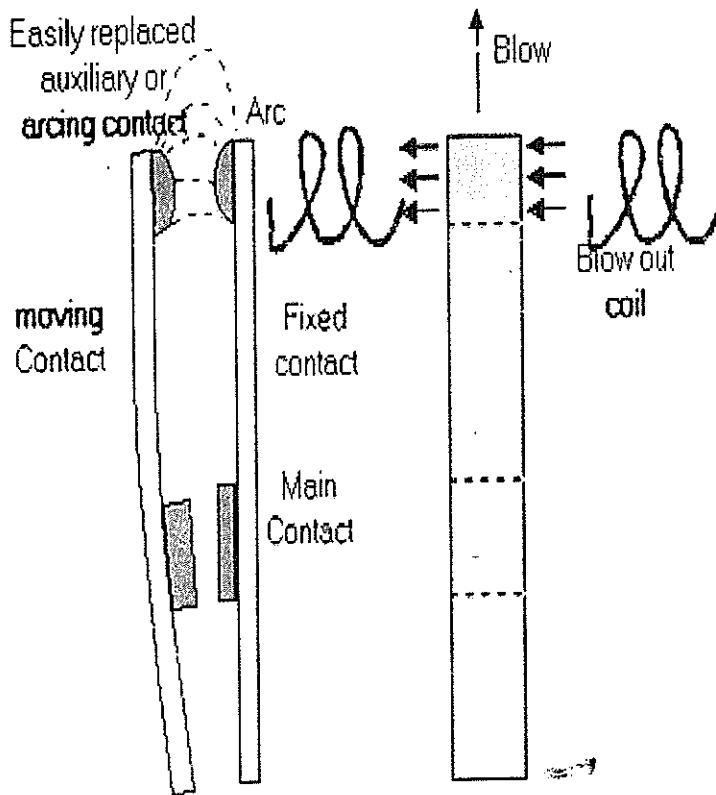
In industrial use the ambient temperature considered is usually 35°C. If used in a marine environment temperature of 40°C (Restricted areas) and 45°C (unrestricted areas) are used, therefore the circuit breaker rating may be 'free air' value and this does not consider the degree of ventilation, the number and position of the circuit breakers or the layout of the bus bars. The final switchboard arrangement could be only 80 to 90% of the free air rating

## Fault rating

Breakers should be rated to accept a breaking current of about 10 times the full load current. The breaker should also be able to make against a fault condition where the making current may be 25 times the full load current when the contact first make. Circuit breakers must remain closed for a short time when a fault occurs in order to allow other devices which are nearer to the fault to trip first. The breaker should be capable of carrying its breaking current for a specified time of usually about one second.

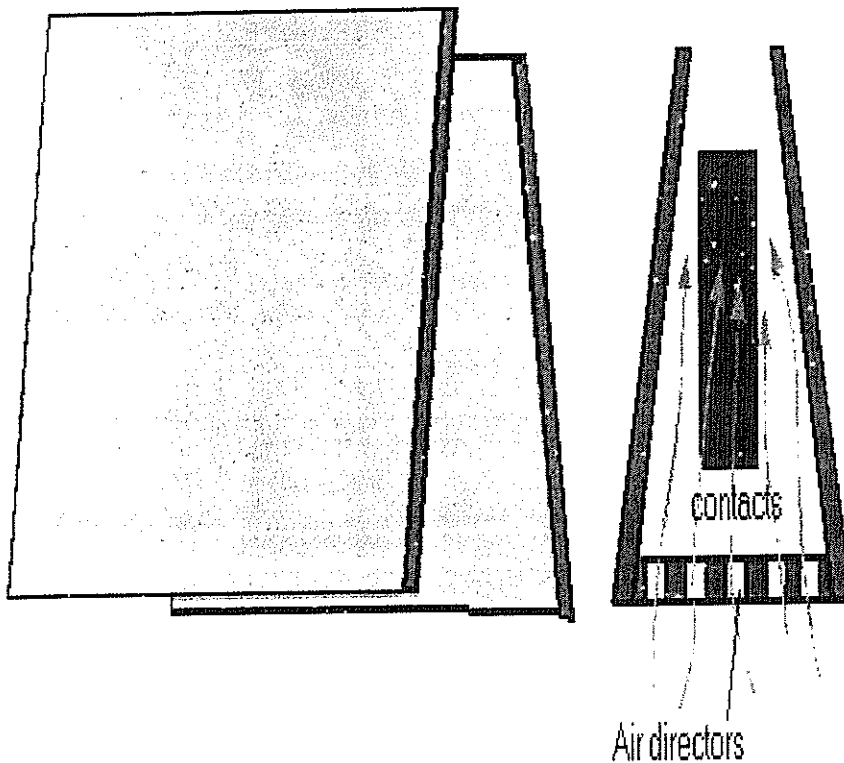


## Arc suppression



Blow force at right angles to arc and field.

The blow out coils, which are connected in series with the circuit breaker contacts, form an electro-magnetic field which reacts with the arc to give a deflecting force which tends to blow the arc outwards. The increase in effective length of the arc causes it to extinguish more quickly. The blow out coils are protected from the arc by arc resistant material which may be in the form of an air shute.



Hot...

Hot ionised gases around the arc and contacts are displaced by cold air forming eddy current air flow. This helps to increase resistance between contacts.

### Contacts

Attention should be paid to all contacts likely to deteriorate due to wear, burning, inadequate pressure, the formation of a high resistance film or becoming welded together. Faulty contacts are often indicated by overheating when loaded. Different contact materials may need different treatment.

Copper is widely used but is liable to develop a high resistance film, and copper contacts may become welded together if the contact pressure is low and the contacts have to carry a high current. Copper is commonly used for contacts which have a wiping action when closing and opening, this action removing the film. Copper contacts are used on knife switches, laminated (brush) contacts of regulators and other controllers, drum contacts, etc.

Carbon and metallized carbon contacts are unsuitable for carrying high currents for long periods but, as they do not weld together, they are used for arcing contacts on some control gear. Pure silver and silver alloy contacts tends to blacken in service but the oxide film has a low resistance. Copper-tungsten (sintered compound), grey in colour, is used in contact facing. This material has a high surface resistance which resists heavy arcing and does not weld. Silver tungsten (sintered) has similar properties to copper tungsten but has a lower contact resistance and is less liable to overheat on continuous load

## **Servicing contacts**

Copper contacts should be filed up if necessary to restore the profile required to ensure correct wiping action. Copper contacts which have become burnt or pitted or otherwise damaged, may be carefully dressed with a file. Emery cloth should not be used. Some contacts are provided with pressure adjustment, so if the contact pressure is reduced by dressing it should be readjusted. Using a spring balance pulled in a direction normal to the contact surface a reading should be taken when a piece of paper placed between the contacts is released. Inadequate spring pressure may also be due to the pressure springs becoming weak due to fatigue or overheating.

Carbon contacts should receive the same attention as copper contacts except that they should not need lubrication. Silver, Silver alloy and copper tungsten contacts do not require cleaning. As there is no need to remove surface film from pure silver contacts they may be used for light butt contacts.

Where some contacts have the appearance of pitting on both faces this is sometimes referred to as being 'burnt in'. Some manufacturers recommend that the contacts, unless there is loss of material, are not dressed as this may destroy the contact area.

Selesai...

**Kembali ke Menu Utama**