

## AB IV

### IV. PERBANDINGAN FREKWENSI 400 HZ DENGAN 60 HZ PADA SISTIM KELISTRIKAN DI KAPAL

Jumlah tenaga listrik yang dapat di salurkan melalui jaringan distribusi tergantung dari jenis dan luas konduktor yang dipakai serta tingkat tegangan yang digunakan. Dalam merencanakan sistem distribusi akan dipengaruhi oleh faktor tegangan dan frekwensi itu sendiri.

#### IV.1. PEMILIHAN FREKWENSI.

Untuk mendapatkan frekwensi 400 Hz dipakai Motor generator sebagai perubah frekwensi. Karena dalam sistem distribusi 400 Hz pengaruhnya sangat besar terhadap peralatan - peralatan, maka desain dari alat perubah tersebut harus tidak banyak menimbulkan kerugian. Dasar pemilihan frekwensi 400 Hz, yaitu bahwa frekwensi tersebut banyak digunakan pada peralatan-peralatan militer, pesawat terbang dan kapal laut, dan mempunyai acurasi tinggi.

#### IV.1.1. PENGARUH FREKWENSI 400 HZ TERHADAP KECEPATAN MOTOR.

Seperti yang telah diketahui bahwa pada kapal FPB 57 mempunyai sumber tegangan 440 Volt, 60 Hz yang dihasilkan Diesel Generator set, oleh karena itu untuk merubah frekwensi 60 Hz menjadi 400 Hz dibutuhkan alat perubah frekwensi yaitu suatu motor generator biasa yang biasa disebut Converter, motor tersebut merupahkan motor induksi biasa yang dikopel langsung dengan generator yang dapat menghasilkan frekwensi 400 Hz. Alat tersebut harus didesain sebaikmungkin agar kalau digunakan tidak banyak menimbulkan kerugian, banyak sekali pengaruhnya terutama pada rekatansi dan kecepatannya.

a. Hubungan antara kecepatan dengan frekwensi pada motor dan generator.

Menurut rumus (1) :

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

dimana :  $n$  = putaran permenit (rpm)

$f$  = frekwensi 400 Hz

$p$  = pasang kutup.

Jika suplai daya dari motor diambil dari bus 60 Hz dan rotor digunakan untuk memutar generator, hubungannya terdapat pada Tabel(VIII), Di tabel tidak terjadi slip padahal untuk menghasilkan tegangan generator harus terjadi slip (S), Oleh sebab itu generator yang menghasilkan frekwensi 400 Hz jumlah kutup tergantung pada putaran motor. Untuk memperkecil jumlah kutupnya guna mempermudah desain generator 400 Hz dibutuhkan motor yang berkecepatan tinggi.

Tabel (VIII)

HUBUNGAN ANTARA FREKWENSI DENGAN KECEPATAN

PADA MOTOR DAN GENERATOR.

| MOTOR (50HZ) |       |         | MOTOR (60HZ) |      |         | GENERATOR (400HZ) |       |  |
|--------------|-------|---------|--------------|------|---------|-------------------|-------|--|
| n (rpm)      | p (2) | n (rpm) | n (rpm)      | p(2) | n (rpm) | p (2)             | p (2) |  |
| -            | -     | 3600    | -            | 2    | 3600    | 13,3 - 14!        |       |  |
| 3000         | 2     | -       | -            | -    | 3000    | 16                |       |  |
| -            | -     | 1800    | -            | 4    | 1800    | 26,6 - 28!        |       |  |
| 1500         | 4     | -       | -            | -    | 1500    | 32                |       |  |
| -            | -     | 1200    | -            | 6    | 1200    | 40                |       |  |
| 1000         | 6     | -       | -            | -    | 1000    | 48                |       |  |
| -            | -     | 900     | -            | 8    | 900     | 53,3 - 54!        |       |  |
| 750          | 8     | -       | -            | -    | 750     | 64                |       |  |
| -            | -     | 720     | -            | 10   | 720     | 66,6 - 68!        |       |  |
| 600          | 10    | 600     | -            | 12   | 600     | 80                |       |  |

b. Pengaruh EMF induksi pada generator.

Menurut rumus besarnya tegangan yang dibangkitkan generator adalah :

$$E = 4,44 \text{ N Kw} \quad 400 \quad \emptyset$$

$$E = 1776 \text{ N Kw} \quad \emptyset \dots \dots \dots \quad (56)$$

dimana: E = tegangan yang dibangkitkan (Volt)

N = jumlah lilitan

Kw = faktor kumparan

0 = fluksi erkutub (weber)

Untuk harga  $\dot{\phi} = 0,636$  lbm maka besar tegangan yang dibangkitkan :

jika  $C = Di/p$  maka besar tegangan induksi :

dimana :  $D_i$  = diameter panjang stator (m)

1 = panjang efektif mesin (m)

B<sub>m</sub> = kerapatan fluksi maksimum (weber/m<sup>2</sup>)

$\tilde{C}$  = pitch kutup

c. Pengaruh pada reaktansinya.

Pada generator terdapat reaktansi induktif pada kumparan jangkar. Jika digunakan 3 phasa 400 Hz maka besarnya menurut rumus (17) :

$$X_a = 2400 \cdot \frac{\mu_{\text{Di}} \cdot l \cdot N^2 \cdot k_w^2}{K_d \cdot K_M \cdot P^2} \quad \dots \dots \dots \quad (59)$$

Pada stator juga terdapat reaktansi induktif menurut rumus ;

dimana :  $X_a$  = reaktansi kumparan jangkar (ohm)

$X_\sigma$  = reaktansi kumparan stator(ohm)

$K_f$  = faktor jelah udara

$K_F$  = faktor kejenuhan besi

$\delta$  = lebar jelah udara (m)

$$\mu = 1,26 \times 10^{-10} \text{ H/m}$$

$\lambda_s$  = permeance ekivalen untuk slot

$\lambda_e$  = permeance ekivalen akhir hubungan

le = panjang akhir hubungan(m)

Reaktansi tersebut menyebabkan drop tegangan pada saat generator dibebani.

#### IV.1.2. RUGI - RUGI BESI PADA GENERATOR

Pada generator terdapat rugi-rugi besi antara lain :

#### a. Rugi Histerisis.

Besar rugi histerisis menurut persamaan (21) :

b. Rugi arus eddy.

Besar rugi arus eddy menurut persamaan (22) :

jadi besar rugi-rugi besi ;

$$P_C = P_H + P_E$$

### IV.1.3. PENGARUH FREKWENSI 400 Hz TERHADAP TRANSFORMATOR.

Pada belitan primer besarnya fluks yang dihasilkan adalah :

$$m_{\text{aks}} = \frac{E_1}{1776, N_1} \quad \dots \dots \dots \quad (63)$$

Jika harga maks. = A-Bmaks maka besarnya kerapatan fluksi maksimum :

$$B_{\max} = \frac{E_1}{1776 N_1 A} \quad \dots \quad (64)$$

dimana:  $A$  = luas penampang belitan besi ( $m^2$ )

N1= jumlah lilitan belitan primer

E1 = tegangan pada belitan primer (Volt).

mak = fluksi maksimum (weber)

$\mu_{\text{ak}}$  = kerapatan fluksi maksimum (weber/m<sup>2</sup>)

Pada belitan primer dan sekunder terdapat reaktansi bocor yang menyebabkan drop tegangan jika transformator dibebani, besar reaktansi bocor adalah ;

dimana ;  $X$  = besar reaktansi bocor (ohm)

It = panjang lilitan rata - rata (m)

b = tinggi lilitan (m)

$\epsilon$  = tebal lilitan (m)

$k$  = faktor konduktifitas tembaga.

Pada transformator juga terdapat rugi-rugi besi, yang terdiri dari rugi histerisis dan rugi arus eddy.

a. Rugi histerisis.

Besarnya rugi histerisis menurut rumus adalah :

dapat juga dituliskan

b. Rugi arus eddy.

Besar rugi arus eddy menurut rumus (52)

$$Pe = \frac{1579136,7 \tau^2 B^2 \text{maks}}{\rho} \quad \dots \dots \dots \quad (69)$$

atau

jadi besar rugi - rugi besi adalah :

Besar rugi besi tergantung pada frekwensi, kerugian besi karena histerisis berbanding lurus dengan  $f$ , kerugian besi karena arus eddy berbanding lurus dengan  $f^2$ . Pada frekwensi 60 Hz besar rugi histerisis dibandingkan dengan rugi arus eddy adalah :

Ph : Pe = 4 : 1

jika digunakan frekwensi 400 Hz maka besarnya :

$$\text{Ph : Pe} = (4.400/60) : (400/60)^2$$

Jika diinginkan kerugian besi pada 60 Hz sama dengan kerugian besi di frekwensi 400 Hz, Maka besar kerapatan fluksi dari frekwensi 400 Hz :

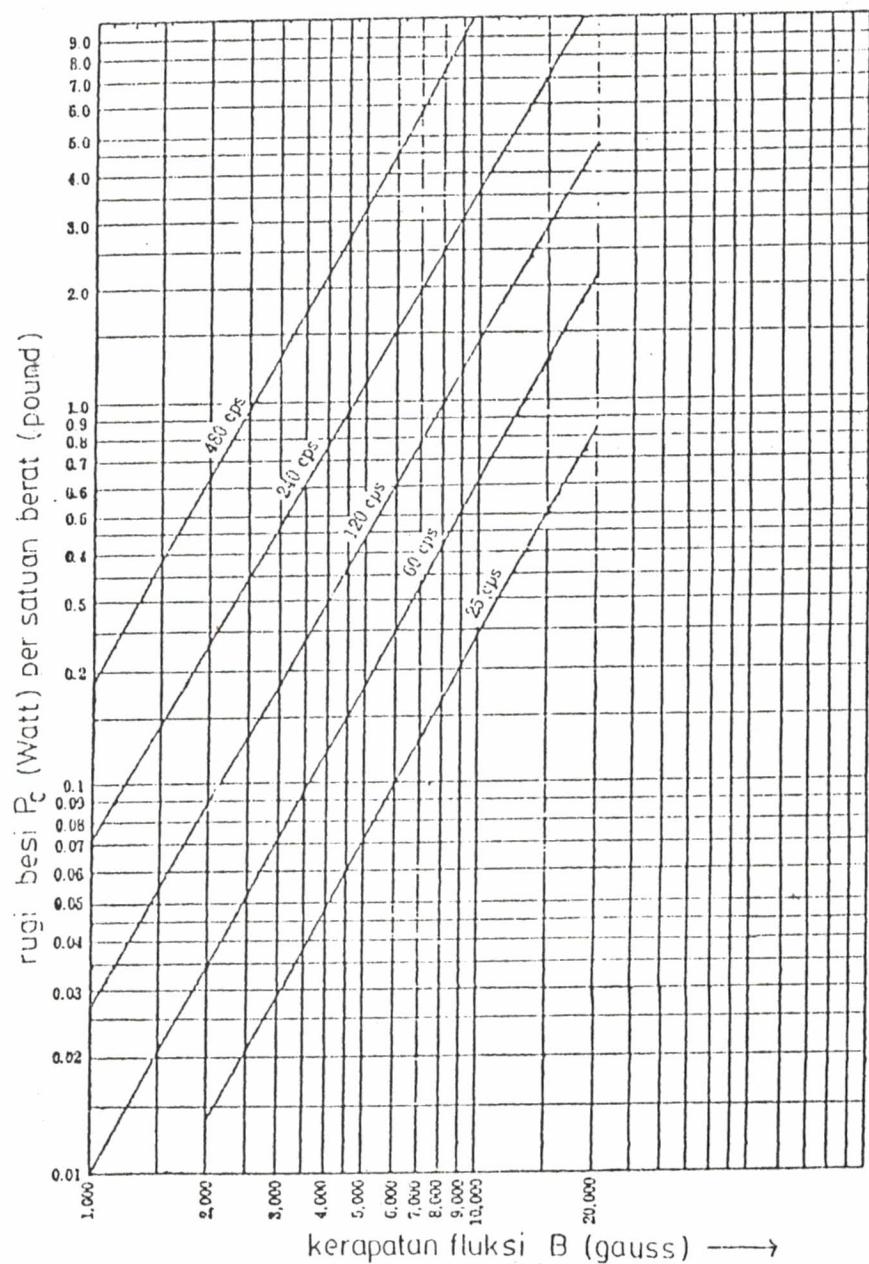
$$\frac{B_{400}}{B_{60}} = \sqrt{\frac{4 + 1}{1600/60 + (400/60)^2}}$$

jadi untuk harga  $P_C(400) = P_C(60)$ , maka besar B :

Pada gambar(22) dan gambar(23)menunjukkan besar rugi - rugi besi, Pada ganbar (22) rugi - rugi besi tiap satuan berat fungsi frekwensi, karakteristik ini dihasilkan dengan cara percobaan, campuran inti besi dengan silikon 4,2 %. Pada Karakteristik ini digunakan untuk bermacam - macam harga fluksi maksimum.Pada gambar (23) karakteristik rugi - rugi besi tiap satuan berat fungsi kerapatan fluksi, dengan harga frekwensi berfariasi.

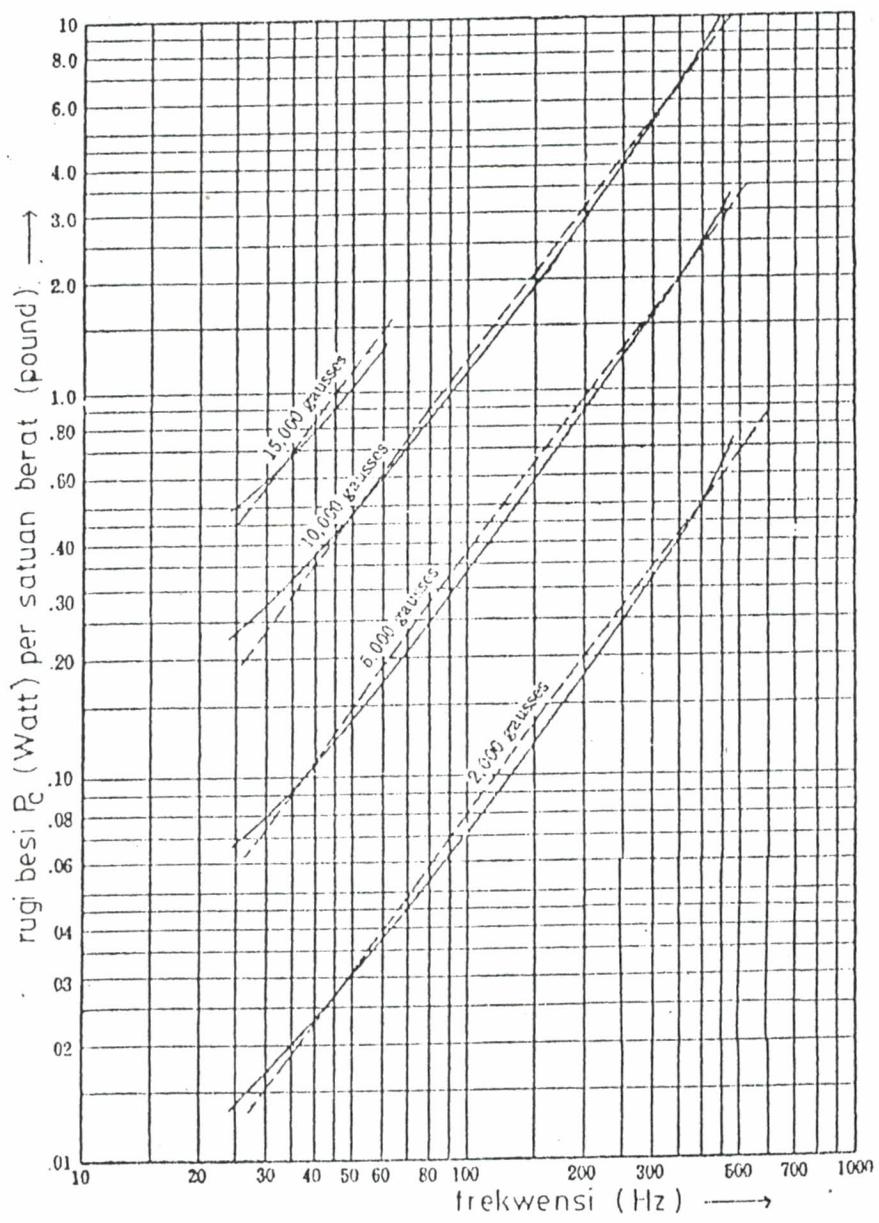
29) Abdul kadir, op cit, hal 105.

30) Department of Electrical Engineering, op cit hal 149 - 150.



GAMBAR (21)

KARAKTERISTIK RUGI BESI FUNGSI KERAPATAN FLUksi



GAMBAR (22)

KARAKTERISTIK RUGI BESI FUNGSI FREKWENSI.

#### IV.1.4 PENGARUH FREKWENSI 400 Hz PADA KONDUKTOR

Pada dasarnya frekwensi diatas 60 Hz akan berpengaruh terhadap effektifitas resistensi pada kawat penghantar (konduktor). Pada penbahasan ini untuk kabel yang dipakai pada frekwensi 400 Hz pengaruhnya sama seperti 60 Hz. Pada umumnya desain sistem tenaga listrik 60 Hz dan 400 Hz tidak ada perbedaan, hanya karena perbedaan frekwensi itu saja yang menyebabkan pengaruh efek mengulit dan efek proximity lebih terasa yang sangat perpengaruh terhadap resistansi konduktor. Oleh sebab itu harus diperhitungkan adanya resistensi pada rangkaian menyebabkan drop tegangan. Frekwensi yang lebih tinggi juga berpengaruh pada material magnetik terhadap reaktansi dan panas kabel. Akibatnya kabel tidak akan mengalirkan arus dalam saluran magnetik atau inti magnetik. Rugi - rugi yang disebabkan oleh frekwensi akibat pertambahan arus yang mengalir pada konduktor, besarnya adalah :

dimana :L = induktansi konduktor (Henry/feet)

$S =$  jarak antara dua konduktor (inci)

Ds= diameter konduktor (inci)

### L/Lo = faktor koreksi (Tabel 1)

Karena pada kabel dipengaruhi oleh rugi selubung, maka menurut Neher dan Mc. Grath untuk beberapa sistem kabel AC/DC rationya sebagai berikut :

31) D.J. MULVEY, Conductor Resistance Effects at high Frequency, General electric paper hal.1.

32) Neher, J.H. and McGrath, W. The Calculation of temperature Rise and Load Capacity of cable Systems. AIEE Transactions Paper '57-660.

$Y$  adalah efek pada konduktor. jika kabel tidak pakai selubung (kabel diudara), maka  $Y_C$  dapat dipertimbangkan. Menurut Neher dan Mc. Grath  $Y_C$  dapat dieleminir menjadi  $Y_{CS} + Y_{CP}$ .  $Y_{CS}$  merupakan komponen - komponen dari konduktor karena effek mengkulit, sedangkan  $Y_{CP}$  adanya effek proximity, maka :

Efek mengkulit dan effek proximity dihitung dari fungsi x yang mana untuk konduktor padat dan berbelit terdapat pada tabel IX.

$R_{dc}$  = tahanan arus searah pada temperatur kerja per

1000 feet (Ohm)

$F(x)$  = fungsi dari  $x$ .

Capasitas yang digunakan pada kabel dengan frekwensi 400 Hz dihitung dengan mengalikan terhadap rating 60 Hz dengan faktor derating )

$$\text{Faktor derating} = \sqrt{1 - \frac{\text{AC}}{\text{DC}}} \quad \dots \dots \dots \quad (78)$$

Untuk ukuran besar derating berada pada sisi konservatif yang digunakan sebagai base DC rating. Resistansi ratio pada persamaan( ), digunakan sebagai dasar dan tidak termasuk rugi - rugi pada metal, Rugi-rugi di pelindung kemungkinan kecil tetapi rugi - rugi pada saluran metal sangat besar yang cukup merugikan.

33) D.J. Mulvey, Op cit hal 2.

34) Ibid, hal 3