

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 sistim 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 sistim 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 merupakan 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 frekuensi 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)	p (2)	n (rpm)	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 :

$$E = 4,44 N K_w 400 \bar{\Phi}$$

$$E = 1776 N K_w \bar{\Phi} \dots\dots\dots(56)$$

dimana: E = tegangan yang dibangkitkan (Volt)

N = jumlah lilitan

K_w = faktor kumparan

Φ = fluksi erkutub (weber)

Untuk harga $\bar{\Phi} = 0,636 \text{ lBm}$ maka besar tegangan yang dibangkitkan :

$$E = 1129,542 N K_w \hat{C} 1Bm \dots\dots\dots(57)$$

jika $\hat{C} = Di/p$ maka besar tegangan induksi :

$$E = 3548,542 N K_w (Di/p) \text{ lBm} \dots\dots\dots(58)$$

dimana : Di = diameter panjang stator (m)

l = panjang efektif mesin (m)

B_m = kerapatan fluksi maksimum (weber/m)

\hat{C} = pitch kutup

c. Pengaruh pada reaktansinya.

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

$$X_a = 2400 \frac{\mu_0 Di l N^2 k_w^2}{K_\delta K_{\lambda z} P^2} \dots\dots\dots(59)$$

Pada stator juga terdapat reaktansi induktip menurut rumus ;

$$X_\sigma = 5026,54 \mu_0 (ln/Pq) ((\lambda_s + q \lambda_e (le/l)) \dots\dots\dots(60)$$

dimana : X_a = reaktansi kumparan jangkar (ohm)

X_σ = reaktansi kumparan stator(ohm)

K_δ = faktor jumlah udara

K_μ = faktor kejenuhan besi

δ = lebar jumlah udara (m)

μ = $1,26 \times 10^6$ H/m

λ_s = permeance ekivalen untuk slot

λ_e = permeance ekivalen akhir hubungan

l_e = 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) ;

$$P_h = 400 K_h B_m^k \dots \dots \dots (61)$$

b. Rugi arus eddy.

Besar rugi arus eddy menurut persamaan (22) ;

$$P_e = 160000 K_e B_m^2 \dots \dots \dots (62)$$

jadi besar rugi-rugi besi ;

$$P_c = P_h + P_e$$

IV.1.3. PENGARUH FREKWENSI 400 HZ TERHADAP TRANSFORMATOR.

Pada belitan primer besarnya fluksi yang dihasilkan adalah :

$$\Phi_{maks} = \frac{E_1}{1776 N_1} \dots \dots \dots (63)$$

Jika harga $\Phi_{maks} = A \cdot B_{maks}$ maka besarnya kerapatan fluksi maksimum ;

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

dimana; A = luas penampang belitan besi (m²)

N₁ = jumlah lilitan belitan primer

E₁ = tegangan pada belitan primer (Volt).

Φ_m = fluksi maksimum (weber)

Φ_m = kerapatan fluksi maksimum (weber/m²)

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

$$X = 2 f \mu_0 N_1 \frac{l_t}{h} \epsilon k \dots\dots\dots(65)$$

$$X = 3,166 N_1 \frac{l_t}{h} \epsilon k \dots\dots\dots(66)$$

dimana ; X = besar reaktansi bocor (ohm)

l_t = panjang lilitan rata - rata (m)

h = tinggi lilitan (m)

ε = tebal lilitan (m)

k = faktor konduktifitas tembaga.

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

a. Rugi histerisis.

Besarnya rugi histerisis menurut rumus adalah :

$$P_h = 400 \eta \sqrt{B} \text{ maks} \dots\dots\dots(67)$$

dapat juga dituliskan

$$P_h = 400 K_h B^n \text{ maks} \dots\dots\dots(68)$$

b. Rugi arus eddy.

Besar rugi arus eddy menurut rumus (52)

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

atau

$$P_e = 400^2 K_e B^2 \text{ maks} \dots\dots\dots(70)$$

jadi besar rugi - rugi besi adalah :

$$\begin{aligned} P_c &= P_h + P_e \\ &= 400 K_h B^n \text{ maks} + 400 K_e B^2 \text{ maks} \dots\dots\dots(71) \end{aligned}$$

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

$$P_h : P_e = 4 : 1$$

jika digunakan frekwensi 400 Hz maka besarnya :

$$P_h : P_e = (4.400/60) : (400/60)^2$$

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

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

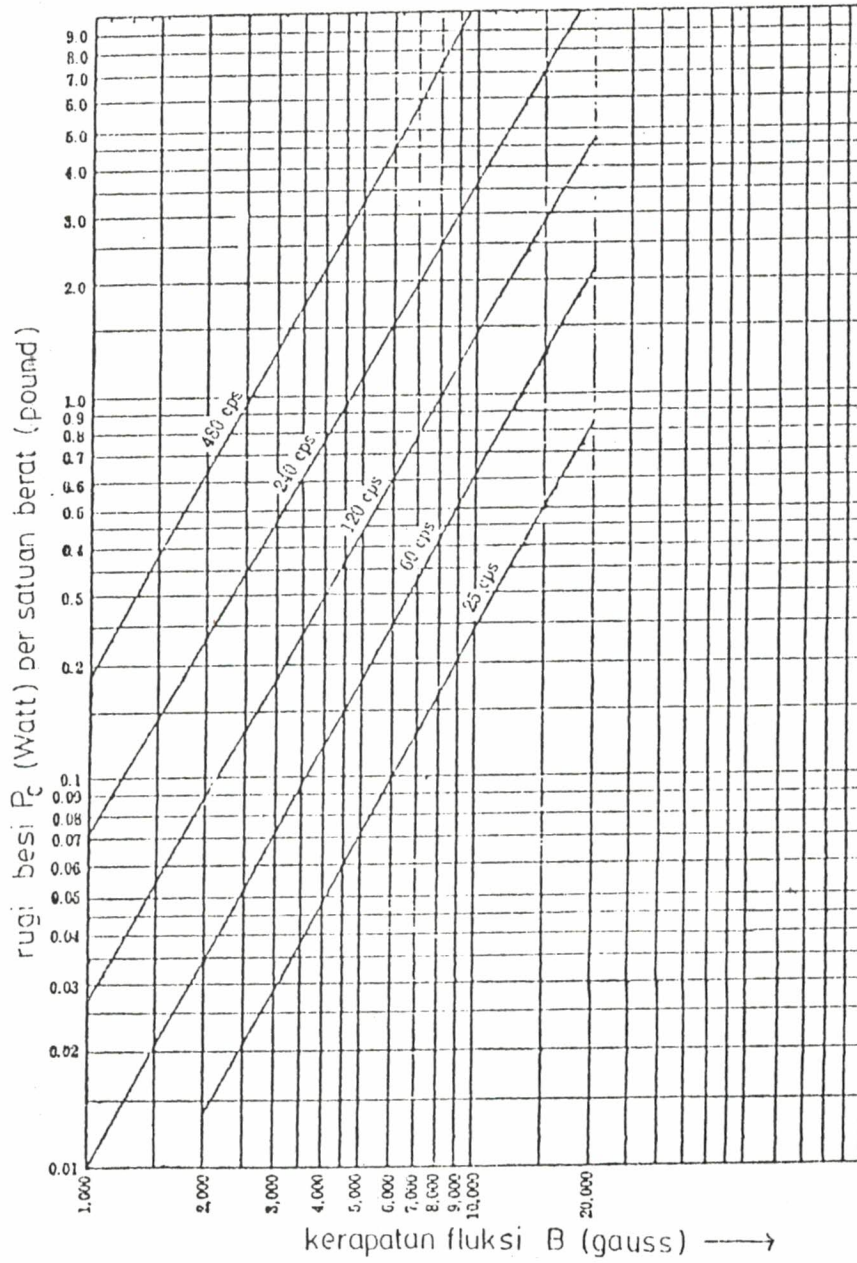
jadi untuk harga $P_c(400) = P_c(60)$, maka besar B :

$$B_{maks}(400) = 0,228 B_{maks.60} \dots\dots\dots(72)$$

Pada gambar(22) dan gambar(23)menunjukkan besar rugi - rugi besi, Pada gambar (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 bervariasi.

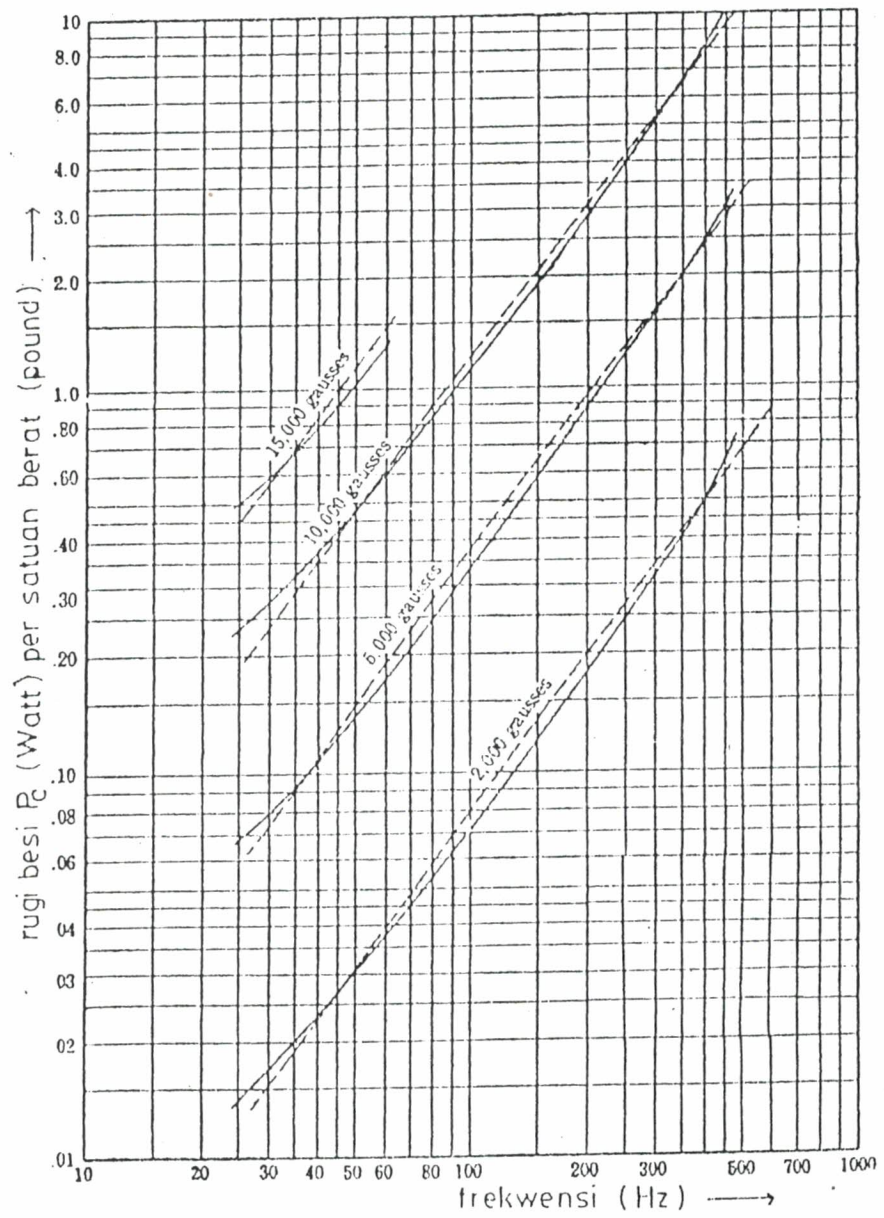
29)Abdul kadir, op cit, hal 105.

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 efektifitas resistensi pada kawat penghantar (konduktor). Pada pembahasan 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 perbehdan, hanya karena perbehdan 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 magnitik terhadap reaktansi dan panas kabel. Akibatnya kabel tidak akan mengalirkan arus dalam saluran megnetic atau inti magnetik. Rugi - rugi yang disebabkan oleh frekwensi akibat penambahan arus yang mengalir pada konduktor, besarnya adalah):

$$L = (0,1404 \log \frac{2S}{D_s} + 0,0153 \frac{L}{L_0} - 3) 10 \dots\dots\dots (73)$$

dimana :L = induktansi konduktor (Henry/feet)

S = jarak antara dua konduktor (inci)

Ds= diameter konduktor (inci)

L/Lo= faktor koreksi (Tabel)

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

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1 + Y_c + Y_s + Y_p \dots\dots\dots (74)$$

31)D.J. MULVEY, Conductor Resistance Effects at high Frequence, Gene ral electric paper hal.1.
 32)Neher, J.H. and Mc Grath The Calculation of temperature Rise and Load Capability of cable System 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 efek mengkulit, sedangkan Y_{cp} adanya efek proximity, maka :

$$\frac{R_{ac}}{R_{dc}} = 1 + Y_{cs} + Y_{cp} \dots\dots\dots(75)$$

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

$$Y_{cs} = F(x) \dots\dots\dots(76)$$

$$Y_{cp} = F(x) K^2 \left[\frac{1,18}{F(x) + \frac{0,27}{f}} + 0,312 K \right] \dots\dots\dots(77)$$

dimana : $x = 0,276 \sqrt{\frac{R_{dc}}{f}}$
 $f =$ Frekwensi (Hz).

$R_{dc} =$ 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)

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

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

TABEL (X)

EFEK MENGLIT RESISTENCE DAN EFEK INDUCTANCE PADA
KONDUKTOR BERBELIT DAN PEJAL KONVESIONAL.

X	F(X)	L/Lo	X	F(X)	L/Lo
0,0	0,00000	1,00000	2,5	0,17538	0,91347
0,1	0,00000	1,00000	2,6	0,20056	0,90126
0,2	0,00001	1,00000	2,7	0,22753	0,88825
0,3	0,00004	0,99998	2,8	0,25820	0,87451
0,4	0,00013	0,99993	2,9	0,28644	0,86012
0,5	0,00032	0,99984	3,0	0,31809	0,84517
0,6	0,00067	0,99966	3,5	0,49202	0,76550
0,7	0,00124	0,99937	4,0	0,67787	0,66632
0,8	0,00212	0,99894	4,5	0,86275	0,61563
0,9	0,00340	0,99830	5,0	1,04372	0,55597
1,0	0,00519	0,99741	6,0	1,39359	0,46521
1,1	0,00758	0,99821	7,0	1,74319	0,40021
1,2	0,01071	0,99465	8,0	2,09445	0,35107
1,3	0,01470	0,99266	9,0	2,44038	0,31257
1,4	0,01958	0,99017	10,0	2,79857	0,28162
1,5	0,02582	0,98711	11,0	3,15100	0,25622
1,6	0,03323	0,98342	12,0	3,50358	0,23501
1,7	0,04203	0,97904	13,0	3,85831	0,21703
1,8	0,05240	0,97390	14,0	4,20915	0,20160
1,9	0,06440	0,96795	15,0	4,56205	0,18822
2,0	0,07818	0,96113	20,0	6,32767	0,14128
2,1	0,09375	0,95343	25,0	8,09412	0,11307
2,2	0,11126	0,94482	30,0	9,88101	0,09424
2,3	0,13069	0,93527	40,0	13,39545	0,07069
2,4	0,15207	0,92482	50,0	16,93032	0,05656
			60,0	20,46541	0,04713
			80,0	27,53593	0,03535
			100,0	34,60666	0,02828
					0,00000

TABEL (X)

EFEK MENGGULIT RESISTENCE DAN EFEK INDUCTANCE PADA
KONDUKTOR BERBELIT DAN PEJAL KONVESIONAL.

X	F(X)	L/L ₀	X	F(X)	L/L ₀
0,0	0,00000	1,00000	2,5	0,17538	0,91347
0,1	0,00000	1,00000	2,6	0,20056	0,90126
0,2	0,00001	1,00000	2,7	0,22753	0,88825
0,3	0,00004	0,99998	2,8	0,25820	0,87451
0,4	0,00013	0,99993	2,9	0,28644	0,86012
0,5	0,00032	0,99984	3,0	0,31809	0,84517
0,6	0,00067	0,99966	3,5	0,49202	0,76550
0,7	0,00124	0,99937	4,0	0,67787	0,66632
0,8	0,00212	0,99894	4,5	0,86275	0,61563
0,9	0,00340	0,99830	5,0	1,04372	0,55597
1,0	0,00519	0,99741	6,0	1,39359	0,46521
1,1	0,00758	0,99821	7,0	1,74319	0,40021
1,2	0,01071	0,99465	8,0	2,09445	0,35107
1,3	0,01470	0,99266	9,0	2,44038	0,31257
1,4	0,01958	0,99017	10,0	2,79857	0,28162
1,5	0,02582	0,98711	11,0	3,15100	0,25622
1,6	0,03323	0,98342	12,0	3,50358	0,23501
1,7	0,04203	0,97904	13,0	3,85831	0,21703
1,8	0,05240	0,97390	14,0	4,20915	0,20160
1,9	0,06440	0,96795	15,0	4,56205	0,18822
2,0	0,07818	0,96113	20,0	6,32767	0,14128
2,1	0,09375	0,95343	25,0	8,09412	0,11307
2,2	0,11126	0,94482	30,0	9,88101	0,09424
2,3	0,13069	0,93527	40,0	13,39545	0,07069
2,4	0,15207	0,92482	50,0	16,93032	0,05656
			60,0	20,46541	0,04713
			80,0	27,53593	0,03535
			100,0	34,60666	0,02828
					0,00000

TABEL (X)

EFEK MENGGULIT RESISTENCE DAN EFEK INDUCTANCE PADA
KONDUKTOR BERBELIT DAN PEJAL KONVESIONAL.

X	F(X)	L/Lo	X	F(X)	L/Lo
0,0	0,00000	1,00000	2,5	0,17538	0,91347
0,1	0,00000	1,00000	2,6	0,20056	0,90126
0,2	0,00001	1,00000	2,7	0,22753	0,88825
0,3	0,00004	0,99998	2,8	0,25820	0,87451
0,4	0,00013	0,99993	2,9	0,28644	0,86012
0,5	0,00032	0,99984	3,0	0,31809	0,84517
0,6	0,00067	0,99966	3,5	0,49202	0,76550
0,7	0,00124	0,99937	4,0	0,67787	0,66632
0,8	0,00212	0,99894	4,5	0,86275	0,61563
0,9	0,00340	0,99830	5,0	1,04372	0,55597
1,0	0,00519	0,99741	6,0	1,39359	0,46521
1,1	0,00758	0,99821	7,0	1,74319	0,40021
1,2	0,01071	0,99465	8,0	2,09445	0,35107
1,3	0,01470	0,99266	9,0	2,44038	0,31257
1,4	0,01958	0,99017	10,0	2,79857	0,28162
1,5	0,02582	0,98711	11,0	3,15100	0,25622
1,6	0,03323	0,98342	12,0	3,50358	0,23501
1,7	0,04203	0,97904	13,0	3,85831	0,21703
1,8	0,05240	0,97390	14,0	4,20915	0,20160
1,9	0,06440	0,96795	15,0	4,56205	0,18822
2,0	0,07818	0,96113	20,0	6,32767	0,14128
2,1	0,09375	0,95343	25,0	8,09412	0,11307
2,2	0,11126	0,94482	30,0	9,88101	0,09424
2,3	0,13069	0,93527	40,0	13,39545	0,07069
2,4	0,15207	0,92482	50,0	16,93032	0,05656
			60,0	20,46541	0,04713
			80,0	27,53593	0,03535
			100,0	34,60666	0,02828
					0,00000

IV.1.5. PENGARUH FREKWENSI 400 HZ TERHADAP BEBAN.

Dalam sistim distribusi yang menggunakan frekwensi 400 Hz perlu diperhatikan beban apa saja yang akan terpasang, untuk menjaga kontinuitas suplai tenaga listrik. Beban dalam hal ini terdiri dari :

a. Beban motor listrik.

Frekwensi 400 Hz sangat berpengaruh terhadap motor-motor listrik terutama pada kecepatan dan daya yang dihasilkan dan dimensi lebih kecil dibanding dengan menggunakan 60 Hz.

b. Beban penerangan.

Pada beban penerangan hampir tidak ada masalah, karena pada dasarnya sama yang menggunakan 60 Hz.

IV.1.6. HUBUNGAN KECEPATAN MOTOR DENGAN FREKWENSI.

Jika stator dialiri arus maka akan timbul medan magnet yang memutar rotor dengan kecepatan sinkron. Besar kecepatan sinkron :

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(79)$$

dimana :

- n_s = kecepatan sinkron (rpm)
- f = frekwensi (Hz)
- p = jumlah pasang kutub

Pada tabel X, adalah hubungan antara kecepatan sinkron, dan jumlah kutub. n_s adalah kecepatan sinkron saja padahal pada motor terjadi slip(S) yang dapat mengakibatkan menurunnya kecepatan rotor, hubungannya antarlain :

$$n_p(\text{rotor}) = (1 - S)n_s \dots\dots\dots(80)$$

Kecepatan rotor juga berpengaruh terhadap daya dari motor.

TABEL (XI)
 HUBUNGAN KECEPATAN, FREKWENSI DAN JUMLAH KUTUP.

N _s (rpm)	f (Hz)	P(2)
24000	400	2
12000	400	4
8000	400	6
6000	400	8
4800	400	10
4000	400	12
3000	400	16
2400	400	20
2000	400	24
1600	400	30
1500	400	32
1200	400	40
1000	400	48

a. Pengaruh terhadap daya yang dihasilkan.

$$P = \frac{2\eta f Tr}{p} \dots\dots\dots (81)$$

dimana : P = daya yang dihasilkan (Watt).

Tr = torsi rata - rata (Newt.m)

besar torsi rata - rata ;

$$Tr = \frac{2 W 1D Bm I2}{4} \cos \varphi_2 \dots\dots\dots (82)$$

Untuk harga W = 2 N² m², maka harga torsi rata - rata :

$$Tr = \frac{\sqrt{2}}{2} m^2 N^2 1D Bm I2 \cos \varphi_2 \dots\dots\dots (83)$$

Maka harga daya yang dihasilkan :

$$P = \frac{2\pi m^2 N^2 l D B_m I^2 f}{p} \cos \varphi_2 \dots \dots \dots (84)$$

Untuk harga : $m = B_m l D / p$

maka besar daya :

$$P = \frac{\pi}{\sqrt{2}} m^2 I_2 N_2 f \Phi_m k_w \cos \varphi_2 \dots \dots \dots (85)$$

dimana:

- P = daya electromagnetic (watt)
- m² = jumlah phasa rotor
- I₂ = arus pada rotor (Amp)
- N₂ = jumlah lilitan pada rotor
- Φ_m = fluksi (weber)
- B_m = kerapatan fluksi (weber/m)
- l = panjang efektif motor
- D = diameter efektif motor
- cos φ = power faktor
- φ₂ = sudut phasa
- k_w = faktor lilitan pada stator

frekwensi pada rotor adalah :

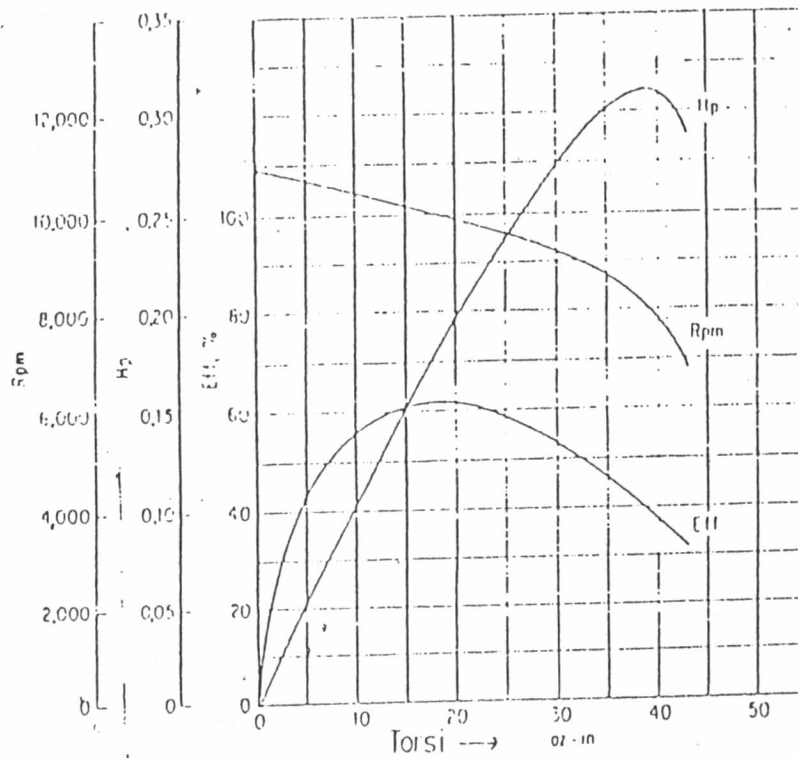
$$f_r = (1 - S) f_s \dots \dots \dots (86)$$

Beasar daya pada motor dipengaruhi oleh slip (S), yang besarnya tiap - tiap motor tidak sama, Daya yang dihasilkan motor dipengaruhi oleh rugi - rugi yang menyebabkan turun efesiensi motor. Besar efesiensi adalah :

$$\eta = \frac{\text{Daya yang keluar pada rotor}}{\text{Daya yang masuk pada stator}} \times 100 \%$$

Pada gambar (24) terdapat hubungan antara putaran terhadap torsi, efisiensi terhadap torsi, dan daya dengan torsi untuk diatas frekwensi 60 Hz dengan daya yang kecil .

) Richard R. Anis, Small Specialty Motors, Motor application ang Maintenance, Robert W. Smeaton, Editor. Mc. Graw-hill Book Company, London ,1969 - 9-38.



GAMBAR (24)

KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI FREKWENSI DIATAS 60 HZ.

Pada karakteristik Hp, torsi yang dibutuhkan sekitar 37 sampai 38 oz-in menghasilkan daya maksimum sekitar 0,31 HP. Daya tersebut akan turun lagi jika besar torsi bertambah, turunnya daya tersebut karena terjadi rugi - rugi dan turunnya kecepatan. Pada karakteristik putaran tiap penambahan torsi akan menurunkan kecepatan motor, oleh sebab itu untuk mendapatkan torsi tinggi torsi harus kecil, jika torsi kecil daya yang keluar juga terpengaruh. Pada gambar (25), rasio yang digunakan pada frekwensi tinggi.



Gambar (25)

ROTOR SILINDRIS FREKWENSI TINGGI PADA MOTOR INDUKSI

IV.2. ANALISA PERHITUNGAN FREKWENSI 400 HZ DAN 60 HZ.

Pada prinsipnya peralatan yang menggunakan supply 60 Hz dan 400 Hz adalah sama, hanya terjadi perbedaan pada dimensi, rugi-rugi dan besar reaktansinya. Berikut ini hasil perbandingan antara frekwensi 60 Hz dan 400 Hz pada masing-masing beban (peralatan), dimana analisa perhitungan pada Appendix I.

a. Pada Motor

Sebuah motor induksi 440 Volt, 3 Φ , 60 Hz dengan data sebagai berikut :

Daya	: 15 KW
Tegangan terminal	: 440 Volt, 60 Hz
Jumlah kutub	: 2
Putaran sinkron	: 3520 rpm
Diameter lubang stator	: $207 \cdot 10^{-3}$ M
Panjang efektif	: $234.5 \cdot 10^{-3}$ M

Arus tanpa beban	: 4.6 amp
Tahanan tanpa beban	: 6.65 Ω
Rugi tembaga	: 0.56 Watt
Rugi histerisis	: 94.24 Watt
Rugi besi	: 1476.66 Watt
Rugi arus eddy	: 1382.4 Watt

Jika dibanding motor yang mempunyai frekwensi 400 Hz dengan mengasumsikan faktor tegangan terminal dan putaran sinkron sama seperti 60 Hz, maka :

Jumlah kutub	: 14
Dimensi	: $0.22 \cdot 10^{-4} \text{ M}^3$
Rugi besi	: 62068.3 watt
Rugi tembaga	: 24.89 watt
Rugi histerisis	: 628.26 watt
Rugi arus eddy	: 61440 watt

Nilai perbandingan motor 60 dan 400 Hz dapat dilihat pada tabel XII.

b. Pada Transformator.

Sebuah transformator 220 Volt, 60 Hz, 2 phase mempunyai data sebagai berikut :

Merk	: SIEMENS AG.
T Y P E	: VG 88 519 220
Tegangan Primer	: 440 Volt, 60 Hz, 2 Φ
Tegangan Sekunder	: 220 Volt, 60 Hz, 2 Φ
Kapasitas Daya	: 10 Kw.
Arus Nominal	: 23 Ampere

Volume Besi / Inti	: 6144 x 10 ⁻⁶ m ³
Tebal Inti	: 0.35 mm
Luas Penampang	: 64 10 ⁻⁴ M ²
Jumlah lilitan primer	: 323
Jumlah lilitan sekunder	: 162
Rugi histerisis	: 115.2 Watt
Rugi arus eddy	: 123.9 Watt
Rugi Besi	: 239.1 Watt
Rugi Tembaga	: 315.5 Watt
Rugi total	: 554.6 Watt
Besar reaktansi	: 426 mΩ

Jika dibanding transformator 400 Hz dengan mengasumsikan faktor tegangan dan flux (Φ) sama seperti 60 Hz, maka :

Jumlah lilitan primer	: 48
Jumlah lilitan sekunder	: 24
Besar Reaktansi	: 416.8 Ω
Rugi rugi tembaga	: 11.06 Watt
Rugi rugi arus eddy	: 5506.7 Watt
Rugi histerisis	: 768 Watt
Rugi Besi	: 6274.7 Watt
Rugi Total	: 6285.8 Watt

Dengan perubahan frekwensi maka dapat dibuatkan suatu perbandingan antara frekwensi 400 Hz dan 60 Hz pada tabel XIII.

c. Pada Konduktor

Sebuah konduktor tembaga mempunyai panjang 1000 ft, dioperasikan pada frekwensi 60 Hz, pada temperatur kerja 20°C . Dengan data sebagai berikut :

Tahanan DC	: 0.7 Ω
Jarak konduktor	: 5.2 mm
Diameter konduktor	: 3.2 mm
Faktor koreksi induktansi:	1.007
Besar induktansinya	: 5.475 mH
Besar Reaktansinya	: 2.063 Ω
Faktor efek mengulit	: 0.023
Faktor efek proximity	: 0.45
Tahanan AC	: 1.23 Ω

Apabila konduktor dioperasikan pada 400 Hz dengan nilai induktansi sama dengan 60 Hz, maka besarnya :

Reaktansi	: 13.76 Ω
Faktor efek mengulit	: 0.58
Faktor proximity	: 0.29
Tahanan AC	: 1.30 Ω

Nilai perbandingannya dapat dilihat pada tabel XIV.