

Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi

Rahmi Berlianti , Abdul Multi , Baskoro Abhi P.

Prodi Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

E-mail: rhia2000@gmail.com

Abstrak

Motor induksi fasa tiga dapat dioperasikan sebagai generator induksi fase tiga. Kecenderungan menggunakan generator induksi (rotor sangkar) sebagai pengganti generator sinkron juga semakin meningkat khususnya untuk PLTMh kecil dengan beban penerangan (resistif). Hal ini dikarenakan alasan perawatannya rumit, susah didapat dipasaran, dan harganya mahal. Generator induksi penguatan sendiri, memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan generator sinkron seperti tidak perlu sikat-sikat atau baling-baling rotor, pengurangan ukuran, dan harga yang murah. Akan tetapi generator induksi menawarkan regulasi tegangan yang lemah dan nilainya bergantung pada kecepatan penggerak, kapasitor, dan beban. Pada penelitian ini digunakan motor induksi fasa tiga rotor sangkar 0,9 KW, 2,7 A, pf 0,84, 50 Hz sebagai generator induksi, dengan variasi hubungan kapasitor Bintang dengan nilai kapasitansi 25 μ F, Delta 8 μ F, dan C-2C 8 μ F dan 16 μ F untuk beban R-RL yang variatif. Hasil dari penelitian menunjukkan performance dari motor fasa tiga yang difungsikan sebagai generator pada tegangan konstan hubungan delta dan C-2C memiliki putaran dibawah putaran sinkronnya antara 1285 sampai 1413 rpm. Dan untuk frekuensi konstan diperoleh tegangan setiap hubungan berkisar antara 373 V sampai 164 V. Dan dari ketiga hubungan kapasitor tersebut yang lebih baik adalah hubungan bintang dengan kapasitansi 25 μ F.

Kata kunci : motor induksi, generator induksi, kapasitor, bintang, delta, C-2C, fasa tiga, penguatan sendiri

1. PENDAHULUAN

Sumber energi yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik adalah minyak bumi dan batubara. Keterbatasan ketersediaan bahan bakar ini serta kepedulian terhadap lingkungan meningkatkan perkembangan teknologi pembangkit listrik energi terbarukan. Namun penggunaan sumber energi terbarukan seperti angin dan air sering mengalami kendala berupa kecepatan alirannya yang bervariasi dan tidak konstan.

Sistem generator yang biasanya digunakan (*non-variable speed sistem*) tidak dapat mengekstrak daya secara optimum serta tegangan yang dihasilkan memiliki amplitudo yang berubah-ubah pula sehingga mengakibatkan kualitas daya yang dihasilkan jelek.

Secara eksternal penggunaan mesin induksi dapat disesuaikan dengan nilai kapasitor bank yang digunakan pada generator. Sistem ini disebut dengan generator induksi penguatan sendiri atau *Self-excited induction generator* (SEIG). SEIG ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan generator sinkron seperti tidak perlu sikat-sikat atau baling-baling rotor, pengurangan ukuran, dan harga yang murah. Akan tetapi generator induksi menawarkan regulasi tegangan yang lemah dan nilainya bergantung pada kecepatan penggerak, kapasitor dan beban.

Kecenderungan menggunakan generator induksi (rotor sangkar) sebagai pengganti generator

sinkron juga semakin meningkat khususnya untuk PLTMh kecil dengan beban penerangan (resistif). Generator Induksi adalah motor induksi yang dioperasikan sebagai generator dengan penambahan kapasitor penguat atau kapasitor eksitasi pada terminal motor. Kapasitor yang digunakan pada generator umumnya adalah kapasitor tetap. Pada PLTMh berkapasitas 1-3 KW sangat tidak efisien jika menggunakan generator sinkron sebagai pembangkitnya dengan alasan perawatannya rumit, susah didapat dipasaran, dan harganya mahal. Oleh sebab itu perlu dicari alternatif pengganti generator sinkron untuk mikrohidro skala 1-3 KW.

2. METODA

Prinsip kerja Motor induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbulah medan putar dengan kecepatan

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor, sehingga pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi atau gaya gerak listrik (ggl) perfasa sebesar :

$$E_r = 4,44f_s N_r \Phi_m \quad (2)$$

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya Lorenz (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya bahwa tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor rotor oleh medan magnet putar stator. Artinya agar adanya tegangan terinduksi maka diperlukan relatif antara kecepatan medan magnet putar stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r). Dan perbedaan antara N_s dan N_r ini disebut dengan slip (S). yang dinyatakan dengan :

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \quad (3)$$

Bila $N_r = N_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan timbul bila $N_r < N_s$. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

Slip

Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan N_r , dan medan magnet stator berputar dengan kecepatan N_s , maka bila ditinjau perbedaan kecepatan relatif antara kecepatan medan magnet putar stator terhadap kecepatan rotor, ini disebut kecepatan slip yang besarnya sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan Slip} = N_s - N_r \quad (4)$$

Persamaan 3 dapat juga ditulis :

$$N_r = N_s(1 - S)$$

$$N_r = \frac{120 \cdot f_s}{p} (1 - S)$$

$$N_r = \frac{120 \cdot f}{p} (1 - S) \quad (5)$$

Dengan demikian persamaan 3 menjadi :

$$(N_s - N_r) = S \cdot N_s \quad (6)$$

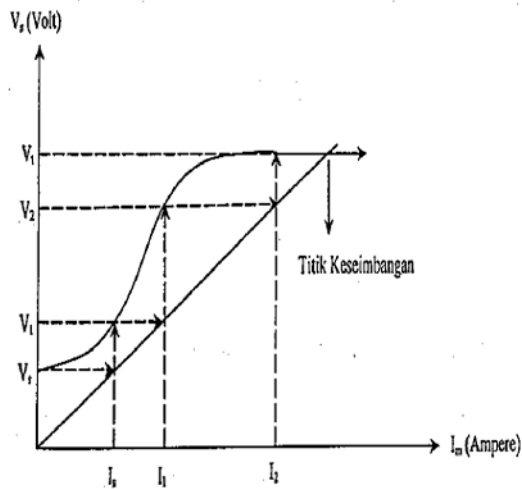
Prinsip Kerja Dan Proses Pembangkitan Generator Induksi.

Prinsip kerja generator induksi adalah kebalikan daripada kerja motor induksi. Dimana motor berfungsi sebagai motor, kumparan stator diberi tegangan tiga fasa maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron. Dan jika motor digunakan sebagai generator maka rotor diputar dengan kecepatan yang lebih besar dari kecepatan sinkronnya. Dengan kecepatan rotor yang melebihi kecepatan sinkron dapat dikatakan generator induksi bekerja pada slip negatif.

Pada saat motor induksi digunakan sebagai generator induksi maka diperlukan daya reaktif atau daya magnetisasi untuk menghasilkan tegangan pada terminal keluarannya. Dan yang berfungsi sebagai penyedia daya reaktif adalah kapasitor yang besarnya disesuaikan dengan kebutuhan daya reaktif.

Kebutuhan daya reaktif dapat dipenuhi dengan memasang satu unit kapasitor pada terminal keluaran, dimana kapasitor menarik daya reaktif kapasitif atau dengan kata lain kapasitor memberikan daya reaktif induktif pada mesin induksi, dan proses ini disebut dengan sistem penguat(eksitasi). Sehingga generator induksi disebut juga generator induksi penguatan sendiri.

Hal yang perlu diperhatikan dalam kinerja generator induksi adalah fluksi sisa atau medan magnet pada stator, karena jika fluksi sisa ini tidak ada maka proses pembangkitan tegangan tidak akan terjadi. Dengan adanya fluksi pada rotor maka tegangan induksi akan terinduksi juga pada bagian stator sehingga menimbulkan arus yang akan mengisi kapasitor hingga terjadi keseimbangan. Keseimbangan tersebut ditandai dengan titik pertemuan antara lengkung magnetisasi dengan reaktansi kapasitif seperti pada gambar 1. Lengkung magnetisasi ini terjadi akibat adanya kejenuhan dari inti besi mesin .

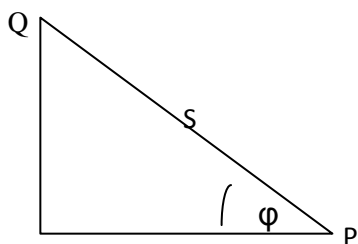


Gambar 1. Proses Penguatan

1.2.1 Kebutuhan Daya Reaktif Generator Induksi

Kebutuhan daya reaktif dari suatu motor induksi yang difungsikan sebagai generator induksi dapat dicatu oleh beberapa kapasitor yang dipasang secara parallel pada kumparan stator. Tegangan pada terminal akan timbul setelah dipasang kapasitor yang mana besar nilai kapasitor tersebut harus lebih besar dibandingkan saat dioperasikan sebagai motor induksi.

Nilai minimum dari kapasitor untuk membangkitkan daya reaktif pada generator induksi dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 2. Segitiga daya

$$S = V_k \cdot I_k$$

$$P = V_k \cdot I_k \cos \varphi = S \cos \varphi$$

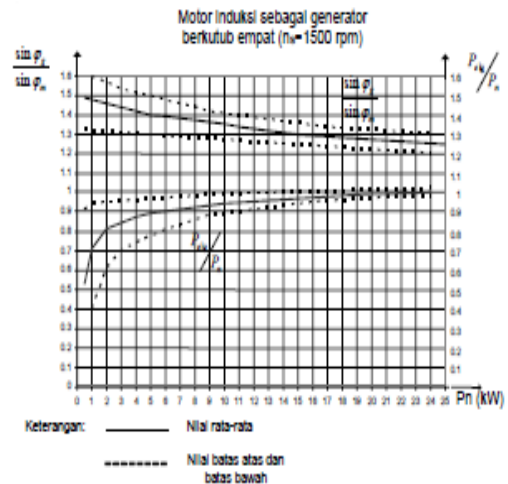
$$Q = V_k \cdot I_k \sin \varphi = S \sin \varphi$$

Dimana :

- S = daya semu (VA)
- P = daya aktif (nyata) (watt)
- Q = daya reaktif (VAR)
- V_k = tegangan kawat (V)
- I_k = arus kawat (A)
- Φ = sudut fasa (°)

1.2.1.1 Kapasitor Terhubung Bintang Dan Delta

Untuk memperkirakan nilai kapasitor penguat yang dibutuhkan generator induksi dengan model generator hubungan bintang dan kapasitor hubungan bintang atau delta diunakanlah grafik seperti pada gambar 3. dibawah ini :



Gambar 3. Rasio Sin Φ Generator Dan Sin Φ Motor Serta Daya Motor Dan Generator Sebagai Rating Fungsi Daya Nominal Motor P_n.

Suatu motor induksi tiga fasa dengan daya nominal P_n, efisiensi motor η_m, tegangan kerja U, dan factor daya pf difungsikan sebagai generator induksi, maka nilai kapasitor yang dipasang sebagai penguat pada terminal ditentukan dengan persamaan :

$$C_{\Delta \text{ per fasa}} = \frac{\Delta Q}{3U^2 2\pi f} \quad 2.17$$

Dimana :

U : tegangan fasa ke fasa (jika terhubung delta)

F : frekuensi jaringan

ΔQ : daya reaktif yang dikompensasi

Daya keluaran mesin saat digunakan sebagai generator adalah :

$$P_{sig} = k_1 P_n \quad (2.18)$$

Dimana nilai k₁ ditentukan dari grafik pada gambar 3. Daya listrik masukan pada saat mesin menjadi motor (P₁) dan daya reaktif motor saat beban nominal (Q_m) adalah :

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_m} \quad (2.14)$$

$$Q_m = P_1 \tan(\theta) \quad (2.15)$$

$$\theta = \cos^{-1}(pf) \quad (2.16)$$

$$(2.21)$$

Dengan menggunakan grafik pada gambar 3. dapat diketahui rasio antar kebutuhan daya reaktif motor dan generator yang diwakili oleh perbandingan sin Φ, yaitu :

$$\frac{\sin \theta_g}{\sin \theta_m} = k_2 \quad 2.22$$

Daya reaktif generator selanjutnya ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\Delta Q = Q_g = k_2 Q_m \quad 2.23$$

Dan nilai kapasitor penguat dengan metode ini diperoleh dari persamaan 2.17. Jika kapasitor penguat terhubung bintang maka nilai kapasitor penguatnya adalah:

$$C_Y = 3C_{\Delta} \quad (2.24)$$

Kapasitor Terhubung C-2C

Pada hubungan kapasitor C-2C maka motor induksi rotor sangkar tiga fasa hubungan delta dioperasikan seakan sebagai generator fasa tunggal. Untuk suatu motor induksi tiga fasa dengan tegangan antar fasa V_{L-L} terhubung delta, faktor daya pf dan arus beban penuh I_{FL} maka daya semu total (S) dinyatakan dengan :

$$S = \sqrt{3} V_{L-L} I_{FL} \quad (2.25)$$

Daya nyata total adalah :

$$P = S \cos \phi = S \cdot pf \quad (2.26)$$

Dengan menggunakan hubungan segitiga daya maka dapat diketahui daya reaktif total (Q), yaitu :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.27)$$

dan daya reaktif perfasa

$$Q_{fasa} = Q / 3 \quad (2.28)$$

Jika kapasitor terhubung C-2C berlaku $V_{L-L} = V_{fasa}$

dan arus fasa

$$I_{fasa} = Q_{fasa} / V_{fasa} \quad (2.29)$$

Oleh sebab itu nilai kapasitor penguat perfasa dengan menggunakan metode C-2C ditentukan dengan persamaan

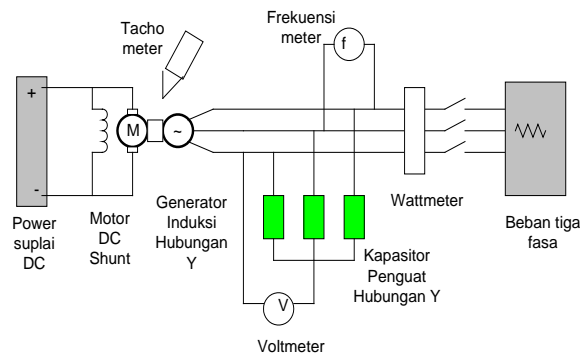
$$C_1 = \frac{I_{fasa}}{2\pi f V_{fasa}} \quad (2.30)$$

$$C_2 = 2C_1 \quad (2.31)$$

Rangkaian Pengujian Generator Induksi Hubungan Bintang (Y) Dengan Kapasitor Hubungan Bintang (Y)

Rangkaian generator induksi hubungan bintang dengan kapasitor hubungan bintang dapat dilihat pada gambar 4.

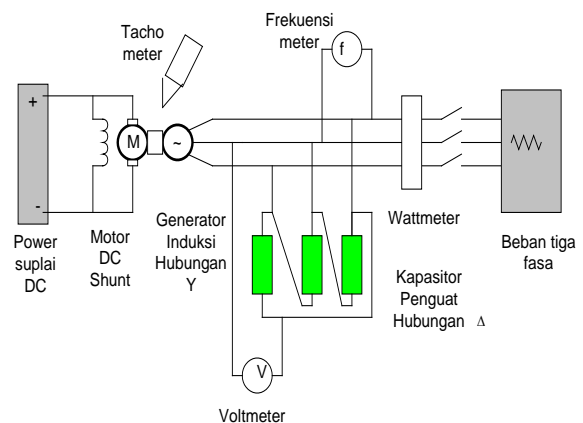
Pada gambar 4. dapat dilihat bahwa motor penggerak yang terhubung dengan power supply dikopel dengan motor induksi tiga fasa yang mana rotornya terhubung bintang dihubungkan dengan kapasitor terhubung bintang sebagai penguat pada masing-masing fasa motor tersebut. Untuk pengujian berbeban tambahkan beban tiga fasa pada rangkaian. Pada penelitian ini beban yang digunakan adalah lampu pijar.



Gambar 4. Rangkaian Generator Hubungan Bintang Dengan Kapasitor Hubungan Bintang.

Generator Induksi Hubungan Bintang (Y) Dengan Kapasitor Hubungan Delta (Δ)

Rangkaian generator induksi hubungan bintang dengan kapasitor hubungan delta dapat dilihat pada gambar 5. berikut ini :

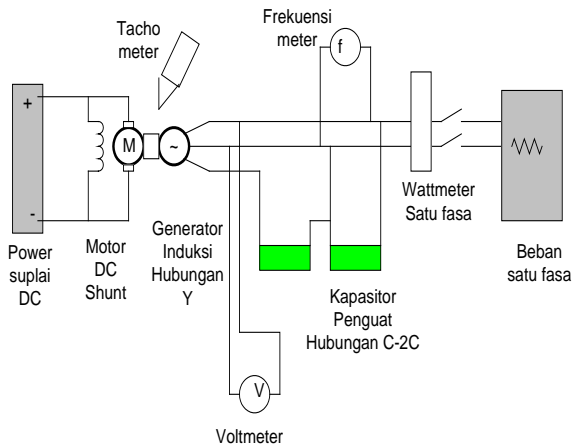


Gambar 5. Rangkaian Generator Hubungan Bintang Dengan Kapasitor Hubungan Delta

Pada gambar 5. dapat dilihat bahwa motor penggerak yang terhubung dengan power supply dikopel dengan motor induksi tiga fasa yang mana rotornya terhubung bintang dihubungkan dengan kapasitor terhubung delta yang berfungsi sebagai penguat pada masing-masing fasa motor tersebut. Untuk pengujian berbeban tambahkan beban tiga fasa pada rangkaian. Pada penelitian ini beban yang digunakan adalah lampu pijar.

Generator Induksi Hubungan Delta (Δ) Dengan Kapasitor Hubungan C-2C

Rangkaian generator induksi hubungan delta dengan kapasitor hubungan C-2C dapat dilihat pada gambar 6. dibawah ini :



Gambar 6. Rangkaian Generator Hubungan Bintang Dengan Kapasitor Hubungan C-2C.

Pada gambar 6. dapat dilihat bahwa motor penggerak yang terhubung dengan power supply dikopel dengan motor induksi tiga fasa yang mana rotornya terhubung delta dihubungkan dengan kapasitor terhubung C-2C atau paralel yang berfungsi sebagai penguat pada masing-masing fasa motor tersebut. Untuk pengujian berbeban tambahkan satu buah lampu pijar pada rangkaian.

2. HASIL DAN PEMBAHAN

Kebutuhan Kapasitansi Kapasitor Sesuai dengan Plat Nama

Kapasitor Terhubung Delta

Dengan menggunakan persamaan 2.19 dan 2.20 maka dihitung daya P_1 dan daya reaktif motor Q_m dengan efisiensi motor diasumsikan 0,9 adalah :

$$P_1 = \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{0,9}{0,9}$$

$$= 1 \text{ KW}$$

$$\phi = \cos^{-1} \varphi$$

$$= 32,86$$

$$Q_m = P_1 \tan \phi$$

$$= 1 \tan 32,86$$

$$= 645,93 \text{ VAR}$$

Dengan merujuk pada grafik gambar 3., maka nilai k_2 diperoleh sebesar 1,49 jadi berdasarkan rumus 2.23 daya reaktif generator adalah sebesar :

$$\Delta Q = k_2 \cdot Q_m$$

$$= 1,49 \cdot 645,9$$

$$= 962,4 \text{ VAR}$$

Jadi besarnya nilai kapasitansi kapasitor untuk hubungan delta diperoleh dengan menggunakan rumus 2.17 berikut :

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta Q}{3U^2 2\pi f}$$

$$= \frac{962,435}{3 \cdot 380^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50}$$

$$= 7,07 \mu F$$

Kapasitor Terhubung Bintang

Untuk menentukan besarnya nilai kapasitansi kapasitor untuk hubungan bintang maka digunakan rumus 2.24 Seperti berikut ini :

$$C_Y = 3C_{\Delta}$$

$$= 3 \times 7,07$$

$$= 21,226 \mu F$$

Kapasitor Terhubung C-2C

Dengan menggunakan rumus 2.28 dan 2.29, maka akan didapatkan nilai dari Q_{fasa} dan I_{fasa} berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

$$= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 2,7$$

$$= 1777,084 \text{ VA}$$

$$P = S \cos \phi$$

$$= 1777,084 \cdot 0,84$$

$$= 1492,75 \text{ Watt}$$

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

$$= \sqrt{(1777,084)^2 - (1492,75)^2}$$

$$= 1964,22 \text{ VAR}$$

$$Q_{fasa} = \frac{Q}{3}$$

$$= \frac{1964,22}{3} = 321,407 \text{ VAR}$$

$$I_{fasa} = \frac{Q_{fasa}}{V_{fasa}}$$

$$= \frac{321,407}{380} = 0,8458 \text{ A}$$

Dan untuk menentukan besarnya nilai kapasitansi kapasitor untuk hubungan C-2C maka digunakanlah rumus 2.30 dan 2.31 seperti dibawah ini :

$$C_1 = \frac{I_{fasa}}{2\pi f V_{fasa}}$$

$$= \frac{0,8458}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 380}$$

$$= 7,0885 \mu F$$

$$C_2 = 2C_1$$

$$= 2 \cdot 7,0885$$

$$= 14,117 \mu F$$

Pengujian Tanpa Beban

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran pada rangkaian seperti pada gambar 4, 5 dan 6., tanpa diberi beban apapun, sehingga diperoleh data pada tabel 1. dibawah ini :

Berdasarkan hasil pengukuran tanpa beban seperti yang terlihat pada Tabel 1. maka dapat kita lihat bahwa dari ketiga model rangkaian penelitian yang menunjukkan hasil yang lebih baik adalah hubungan kapasitor bintang dengan tegangan 220 V, frekuensi 51 Hz dan putaran 1546 rpm. Disini terlihat jelas bahwa

hubungan kapasitor mempengaruhi nilai frekuensi dan putaran generator pada saat tegangan konstan.

Tabel 1. Data Pengujian Tanpa Beban

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Hub. Kapasitor
220	51	1546	Y
220	44	1280	Δ
220	45	1320	C - 2C

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan Bintang Beban Resistif (R)

Untuk pengujian ini pada belitan stator generator induksi yang terhubung bintang dihubungkan dengan kapasitor yang terhubung bintang juga dan kemudian dibebani dengan beban resistif yang bervariasi sampai dengan keadaan beban maksimum. Tabel 2. berikut memperlihatkan hasil dari pengujian kapasitor terhubung bintang dengan nilai 25 μF.

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 2. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Bintang Dengan Beban Resistif Dan Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban (Watt)	Putaran (Rpm)
220	51	15	1571
220	52	25	1582
220	52	40	1623
220	53	100	1650
220	53	115	1681

Pada hubungan kapasitor bintang ini nilai kapasitor yang digunakan 25 μF adalah nilai kapasitor yang mendekati nilai 21,226 μF dari hasil perhitungan yang ada dipasaran saat penelitian dilakukan.

- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 3. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Bintang Dengan Beban Resistif Dan Frekuensi Konstan

Tegangan (VLL)	Frekuensi (Hz)	Beban (W)	Putaran (Rpm)
371	50	15	1503
370	50	25	1503
363	50	40	1503
324	50	100	1503
165	50	115	1503

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan Bintang Beban Resistif Induktif (RL)

Untuk pengujian dengan beban RL ini maka generator induksi dengan kapasitansi kapasitor sebesar 25 μF

diberi beban resistif induktif yang bervariasi. Disini beban induktif yang diberikan sebesar 4,8 H yang diparalel dengan beban resistif yang bervariasi. Berikut adalah hasil dari pengujian.

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 4. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Bintang Dengan Beban Resistif Induktif Dan Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban R (Watt)	Beban L (H)	Putaran (Rpm)
220	52	15	4,8	1615
220	53	25	4,8	1626
220	53	40	4,8	1645
220	54	100	4,8	1671
220	55	115	4,8	1690

- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Bintang Dengan Beban Resistif Induktif Dan Frekuensi Konstan

Tegangan VLL (V)	Frekuensi (Hz)	Beban R (W)	Beban L (H)	Putaran (rpm)
374	50	15	4,8	1503
367	50	25	4,8	1503
353	50	40	4,8	1503
350	50	100	4,8	1503
349	50	115	4,8	1503

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan Delta Beban Resistif (R)

Pada pengujian ini generator terhubung bintang dan kapasitor terhubung delta pada kumparan stator generator dengan nilai kapasitansi kapasitor sebesar 8 μF, nilai ini merupakan nilai yang dibulatkan dari hasil perhitungan sebesar 7,07 μF disini generator dibebani dengan beban resistif yang bervariasi sehingga diperoleh hasil pengujian pada tabel dibawah ini :

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 6. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Delta Dengan Beban Resistif Pada Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban (Watt)	Putaran (Rpm)
-------------------	-------------------	-----------------	------------------

220	45	15	1285
220	45	25	1307
220	46	40	1317
220	46	100	1358
220	47	115	1403

- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 7. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Delta Dengan Beban Resistif Pada Frekuensi Konstan

Tegangan (VLL)	Frekuensi (Hz)	Beban (W)	Putaran (Rpm)
373	50	15	1512
371	50	25	1512
363	50	40	1512
324	50	100	1512
278	50	115	1512

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan Delta Beban Resistif Induktif (RL)

Untuk pengujian beban resistif kapasitif ini generator induksi dibebani dengan beban resistif yang berbeda dan diparalelkan dengan beban induktif sebesar 4,8 H sehingga diperoleh data penelitian berikut ini :

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 8. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Delta Dengan Beban Resistif Induktif Pada Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban (Watt)	Beban L (H)	Putaran (Rpm)
220	45	15	4,8	1221
220	45	25	4,8	1287
220	46	40	4,8	1352
220	47	100	4,8	1377
220	47	115	4,8	1413

- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 9. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor Delta Dengan Beban Resistif Induktif Pada Frekuensi Konstan

Tegangan	Frekuensi	Beban R	Beban L	Putaran
----------	-----------	------------	------------	---------

VLL	Hz	W	H	Rpm
373	50	15	4,8	1512
366	50	25	4,8	1512
357	50	40	4,8	1512
352	50	100	4,8	1512
350	50	115	4,8	1512

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan C-2C Beban Resistif (R)

Pada pengujian ini kumparan stator dari generator terhubung delta yang dihubungkan dengan kapasitor hubungan C-2C. dan generator ini dibebani dengan beban resistif yang bervariasi dan kapasitansi kapasitor sebesar 7,089 μ F yang kemudian dibulatkan menjadi 8 μ F dan 14,177 μ F yang dibulatkan menjadi 16 dan dari hasil pengujianya maka diperoleh data berikut ini :

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 10. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor C-2C Dengan Beban Resistif Pada Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban (Watt)	Putaran (Rpm)
220	45	15	1325
220	45	25	1356
220	46	40	1371
220	46	100	1385
220	47	115	1390

- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 11. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor C-2C Dengan Beban Resistif Pada Frekuensi Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban (W)	Putaran (Rpm)
377	50	15	1507
364	50	25	1507
355	50	40	1507
347	50	100	1507
298	50	115	1507

Pengujian Untuk Kapasitor Hubungan C-2C Beban Resistif Induktif (RL)

Untuk pengujian ini rangkaianannya sama dengan beban R diatas akan tetapi yang membedakannya adalah beban yang diberikan pada generator induksi adalah beban RL yang bervariasi sehingga diperoleh hasil pengujian sebagai berikut :

- Untuk tegangan konstan 220 V

Tabel 12. Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor C-2C Dengan Beban Resistif Induktif Pada Tegangan Konstan

Tegangan (VLN)	Frekuensi (Hz)	Beban R (Watt)	Beban L (H)	Putaran (Rpm)
220	45	15	4,8	1295
220	45	25	4,8	1301
220	45	40	4,8	1337
220	46	100	4,8	1355
220	46	115	4,8	1378

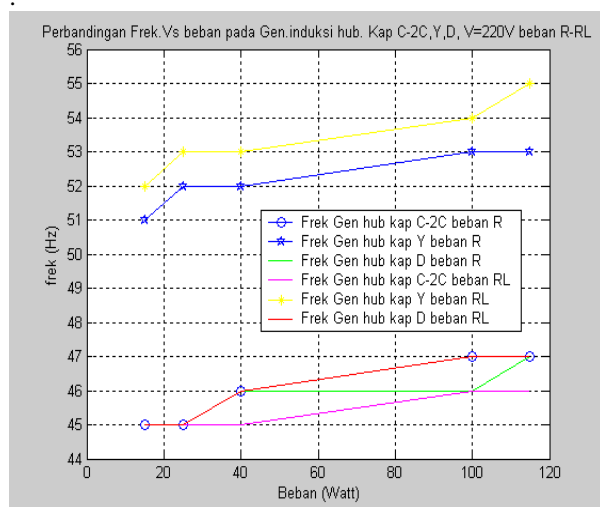
- Untuk frekuensi konstan 50 Hz

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Hubungan Kapasitor C-2C Dengan Beban Resistif Induktif Pada Frekuensi Konstan

Tegangan VLL (V)	Frekuensi (Hz)	Beban (W)	Beban H	Putaran (rpm)
375	50	14	4,8	1507
368	50	25	4,8	1507
354	50	40	4,8	1507
351	50	100	4,8	1507
350	50	115	4,8	1507

Perbandingan frekuensi dan tegangan pada hubungan kapasitor Bintang, Delta dan C-2C

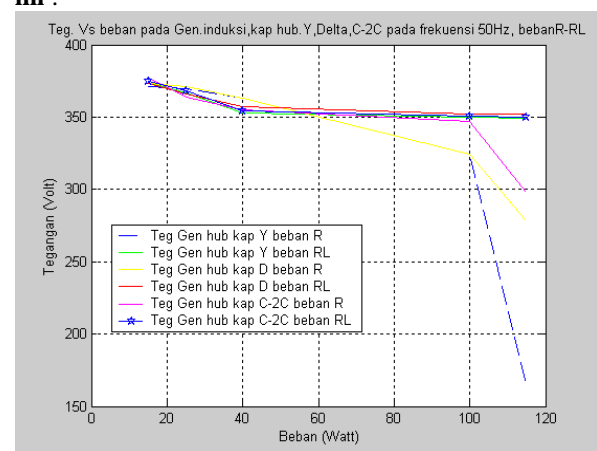
Untuk melihat perbandingan nilai frekuensi dari generator induksi untuk hubungan kapasitor bintang, delta dan C-2C dapat dilihat pada gambar 7. berikut ini :



Gambar 7. Grafik Frekuensi Terhadap Beban Untuk Hubungan Kapasitor Bintang, Delta Dan C-2C Dengan Beban R Dan RL Pada Tegangan Konstan

Dari gambar 7. diatas dapat dilihat perbedaan frekuensi pada masing-masing hubungan kapasitor untuk tegangan konstan 220 V dengan perubahan nilai beban R dan RL. Untuk hubungan bintang memiliki frekuensi yang jauh lebih besar dari hubungan delta dan C-2C yaitu dari 51 sampai 53 Hz. Sedangkan untuk frekuensi hubungan kapasitor delta dan C2C yaitu 45 sampai 47 Hz. Sehingga dilihat dari gambar diatas maka dapat disimpulkan bahwa untuk beban resistif dengan tegangan konstan maka hubungan kapasitor yang baik digunakan pada generator induksi adalah hubungan bintang.

Perbandingan antara hubungan kapasitor bintang, delta, dan C-2C maka dapat dilihat grafik dibawah ini :



Gambar 8. Grafik Tegangan Terhadap Beban R-RL Pada Hubungan Kapasitor Bintang, Delta Dan C-2C Pada Frekuensi Konstan

Dari gambar 8. dapat dilihat grafik tegangan (VLL) terhadap beban R-RL pada hubungan kapasitor bintang, delta, dan C-2C dengan frekuensi konstan 50 Hz. Disini dapat dilihat untuk beban R hubungan kapasitor C-2C dibandingkan hubungan bintang dan delta tegangan yang dihasilkan lebih baik, sedangkan untuk beban RL hubungan kapasitor delta lebih baik dari yang lainnya. Sehingga terlihat bahwa hubungan kapasitor mempengaruhi nilai tegangan terhadap beban yang diberikan

4. SIMPULAN

Penggunaan motor induksi sebagai generator hanya digunakan untuk daya-daya yang kecil saja. Karena tegangan keluaran generator sangat dipengaruhi oleh besarnya beban.pada penelitian ini beban maksimumnya adalah 115 W. Jika generator ini diberi beban melebihi kemampuannya maka tegangan generator akan hilang sehingga tegangan perlu dibangkitkan kembali.

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data bahwa untuk hubungan kapasitor delta dan C-2C pada tegangan konstan memiliki putaran dibawah putaran sinkron antara 1221 sampai 1413 rpm.

Pembangkitan tegangan pada generator induksi sangat dipengaruhi oleh nilai kapasitansi dan bentuk hubungan kapasitornya. Untuk beban resistif dan resistif induktif pada generator induksi tiga fasa 0,9 KW, 2,7 A, pf 0,84, 50 Hz tegangan konstan 220 V maka hubungan kapasitor yang lebih baik digunakan adalah hubungan bintang dengan nilai 25 μ F karena pada kondisi ini frekuensi dan putaran motornya lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ahyanuardi., (1999), *Analisis Generator Induksi Penguatan Sendiri Dengan kompensasi tegangan Menggunakan Kapasitor*, FTI ITB.
- [2]. B.Adhikary., B.Ghimire ., P. Karki., (2009), *Interconnection of Two Micro Hydro Units Forming a Mini-grid System Using Soft Connection* , IEEE. TENCON.
- [3]. Budiyanto, (2003), *Studi Pemanfaatan Motor Induksi Sebagai Generator Induksi*, FT UI.
- [4]. Chairul Gagarin Irianto.,(2004), *Suatu Studi Penggunaan Motor Induksi sebagai Generator: Penentuan Nilai Kapasitor Untuk Penyedia Daya Reaktif*, JETri, Volume 3, Nomor 2.
- [5]. Jose Antonio Barrado., Robert Grino.,(2007), *Analysis Of Voltage Control For A Self-excited Induction Generator Using A Three-Phase Four-Wire Electronic Converter*. Espana.
- [6]. Manoj Kumar Arya., (2009), *Steady State Analysis Of Self Excited Induction generator For Balanced And Unbalanced Conditions*, Electrical & Instrumentation Engineering Department, Thapar University. Patiala.
- [7]. Mustafa A., A1-Saffar., Eui-Cheol Nho., Thomas A. Lipo., (1998), *Controlled Shunt Capacitor Self-Excited Induction Generator*, IEEE.
- [8]. M. Isnaeni B.S., (2005), *Motor Induksi Sebagai Generator (MISG)*, FT UGM.
- [9]. Nigel Smith., (1994), *Motor As Generator for Micro-Hydro Power*, ITDG Publishing, UK.
- [10]. S. N. Mahato., M. P. Sharma., S. P. Singh.,(2007), *Steady-State and Dynamic Behavior of a Single-Phase Self-Excited Induction Generator Using a Three-Phase Machine*, International Journal of Emerging Electric Power Systems, Volume 8, Issue 3, Article 5.
- [11]. Shakuntla BOORA., (2009), *On-Set Theory of Self-Excitation in Induction Generator*, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 5.
- [12]. R. C. Bansal, (2005), *Three-Phase Self-Excited Induction Generators: An Overview*, IEEE, Transactions On Energy Conversion, vol. 20(2).
- [13]. Teguh Tri Lusijarto dan Anjar Susatyo., (2003), *Mengubah Motor Induksi 3 Fasa Rotor sangkar menjadi generator Induksi*, kedeputian Ilmu Pengetahuan Teknik, LIPI.
- [14]. Wasimudin Surya S. 2004. *Analisis Motor Induksi Sebagai Generator (Misg) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikohidro (Pltmh)*, Pendidikan Teknik Elektro, Upi, Bandung.
- [15]. Yon Rijono., (2002), *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Revisi, Penerbit Andi Yogyakarta
- [16]. Zuhaidi., Geri Baldi A.B., (2008), *Penggunaan Metoda Newthom-Raphson Dalam Simulasi Penentuan Efek Perubahan Kecepatan Generator Induksi Tiga Fasa*, Ketenagalistrikan dan Energy Terbarukan, Vol,7 No.2, Puslitbangtek.