

APLIKASI MOTOR INDUKSI SEBAGAI GENERATOR PADA SISTEM PEMBANGKIT TENAGA MIKROHIDRO MODEL DRUM

Saharul Alim¹, Zaenal Arifin², Nanggara Ricky Ardian³, Arif Rahindra⁴
Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara
kotho_x@yahoo.com

ABSTRACT

Salah satu alternatif solusi pada pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan yang peneliti acu adalah penelitian tentang rancang bangun turbin cross flow sebagai penggerak mula sistem PTMMD yang dilakukan Bachtiar (2009).

PTMMD adalah Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum yang terdiri dari saluran masuk, drum penampung, saluran limbah, saluran keluar, panel beban, dan penggerak mula turbin cross flow yang ditransmisikan pada motor induksi dengan puli-belt. PTMMD ini dirancang dengan head 2,5 m, debit air 20 lt/s, penggerak mula turbin cross flow dengan diameter runner 80 mm dan panjang runner 130 mm serta daya rencana 400 Watt. Dua buah motor induksi berkapasitas 0,25 HP dan 0,5 HP digunakan untuk membangkitkan keluaran daya listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa motor induksi 0,25 HP dapat menghasilkan keluaran listrik satu fase dengan konfigurasi C-2C sebesar 79,2 Watt dan tiga fase dengan konfigurasi bintang sebesar 80,16 Watt. Motor induksi 0,5 HP dapat menghasilkan keluaran listrik satu fase dengan konfigurasi C-2C sebesar 74,05 Watt dan tiga fase dengan konfigurasi delta sebesar 68,71 Watt. Efisiensi maksimum dapat ditunjukkan saat menggunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F dikonstruksi C-2C dan bintang.

Keywords: PTMMD, motor induksi, kapasitor.

ABSTRAK

One of alternative solutions on the utilization of renewable energy sources is about the design of cross flow turbine as prime mover in PTMMD system which was performed by Bachtiar (2009).

PTMMD is a microhydro power plant drum model consisting of an inlet channel, the drum, an overflow channel, an outlet channel, a load panel, and a cross flow turbine as the prime mover to an induction motor through a pulley-belt. This PTMMD is designed with 2.5 m water head, 20 liters/s discharge, 80 mm diameter cross flow runner turbine, 130 mm long runner, and 400 Watt expected power output. Two induction motor of capacity 0.25 HP and 0.5 HP were used to generate the electric power output.

The experiments showed that the 0.25 HP induction motor can produce 79.2 Watts in one phase C-2C configuration and 80.16 Watts in three phase star configuration of maximum electric output and the 0.5 HP induction motor can produce 74.05 Watts in one phase C-2C configuration and 68.71 Watts in three phase delta configuration of maximum electric output. The maximum efficiency can be showed at the time using 0.25 HP induction motor and which is close in one phase C-2C configuration and three phase star configuration with 8 μ F compensating capacitor.

Kata kunci: PTMMD, induction motor, capasitor.

PENDAHULUAN

Potensi energi baru dan terbarukan yang dimiliki Indonesia cukup besar diantaranya, mini/micro hydro sebesar 450 MW, biomassa 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW. Data potensi tersebut disampaikan oleh Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi dalam acara Focus Group Discussion tentang supply-demand. Pengembangan energi baru dan terbarukan mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. (ESDM, 2004).

Ada enam fokus kebijakan IPTEK 2005 – 2009 yang sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yaitu, (1) pembangunan ketahanan pangan, (2) penciptaan dan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan, (3) pengembangan teknologi dan manajemen transportasi, (4) pengembangan teknologi informasi dan komunikasi, (5) pengembangan teknologi pertahanan dan keamanan dan (6) pengembangan teknologi kesehatan dan obat-obatan. (Kementrian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, 2006). Salah satu alternatif solusi pada pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan yang peneliti acu adalah penelitian tentang rancang bangun turbin cross flow sebagai penggerak mula sistem PTMMD yang dilakukan Bachtiar (2009). PTMMD adalah Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum yang terdiri dari saluran masuk yang dilengkapi dengan saringan (trash rack), drum penampung, saluran limbah, saluran keluar, panel listrik, dan penggerak mula turbin cross flow yang disambungkan pada connector bagian bawah drum dengan sambungan baut-mur serta turbin cross flow ditransmisikan pada motor induksi dengan puli-belt. PTMMD ini dirancang dengan head 2,5 m, debit air 20 lt/s, penggerak mula turbin cross flow dengan diameter runner 80 mm dan panjang runner 130 mm serta daya rencana 400 Watt. Motor induksi dalam aplikasinya pada sistem PTMMD seperti terlihat pada Gambar 1.1 digunakan sebagai pembangkit listrik dan biasa disebut dengan istilah motor induksi. Motor induksi ini dipilih karena mudah diperoleh, konstruksi kokoh, biaya pemeliharaan yang rendah, pengoperasian mudah, konstruksi rotor tanpa sikat serta harga yang lebih murah bila dibandingkan dengan mesin sinkron dan mesin arus searah.



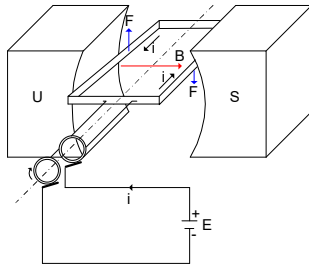
Gambar 1. Instalasi pengujian PTMMD

Keuntungan lain dari motor induksi, tidak memerlukan sumber arus searah untuk eksitasi, dapat bekerja pada interval kecepatan putaran yang lebar dan tidak menambah arus gangguan hubung singkat apabila sistem tenaga listrik mengalami gangguan hubung singkat. Motor induksi yang digunakan sebagai generator pada sistem PTMMD ini jenisnya berdiri sendiri (stand-alone) sehingga eksitasi motor induksi diperoleh dari kapasitor yang dihubungkan dengan terminal stator generator. Kapasitor ini berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif untuk menghasilkan fluksi magnetisasi di celah udara.

Memperhatikan uraian diatas maka dapat dirumuskan masalah yang melatarbelakangi konsep penelitian dan pemilihan judul penelitian ini yaitu,

1. Motor induksi yang berfungsi sebagai generator jenisnya berdiri sendiri (stand-alone) atau tidak terkoneksi dengan sistem tenaga listrik (PLN). Motor induksi ini bekerja dengan adanya kapasitor yang dihubungkan paralel dengan statornya.
2. Besarnya tegangan stator motor induksi tergantung pada nilai kapasitor dan kecepatan putar rotor. Motor induksi tidak dapat menghasilkan daya reaktif, jadi semua kebutuhan daya reaktif baik untuk eksitasi motor induksi ini, maupun untuk suplai beban, harus disediakan oleh sumber daya reaktif.
3. Kapasitor bentuk konfigurasi bisa berupa C-2C, delta dan bintang serta besarnya nilai kapasitor bisa ditentukan berdasarkan bentuk konfigurasi dan data teknis (name plate) yang tertera pada masing-masing motor induksi.
4. Sistem PTMMD direncanakan dapat membangkitkan listrik sebesar 400 Watt, dalam penelitian ini akan digunakan motor induksi tiga fasa 0,25 Hp dan 0,5 Hp sebagai bahan pembandingan tingkat efisiensinya.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. Konsep dasar motor elektrik (Soebagio, 2008)

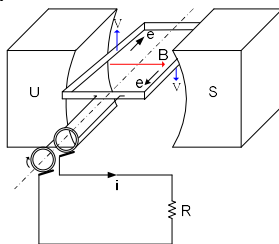
Fenomena pembentukan gaya memberi dasar konsep dari motor elektrik. Bila konduktor-konduktor membentuk suatu kumparan, yang dialiri oleh arus I dan ditempatkan dalam medan magnet antara kutub utara dan selatan, maka sisi-sisi kumparan tersebut mengalami gaya yang berlawanan, sehingga terbentuklah torsi yang akan memutar kumparan tersebut (Soebagio, 2008).

Pada dasarnya mesin elektrik terdiri dari dua bagian utama, yakni :

- Bagian yang menghasilkan fluksi Φ , disebut kumparan medan (field winding) atau kumparan eksitasi (excitation winding) atau medan magnet permanen.
- Bagian yang menghasilkan tegangan e , disebut kumparan jangkar (armature winding).

Konsep Dasar Generator Elektrik

Fenomena tegangan induksi mendasari konsep dari suatu generator elektrik. Bila konduktor-konduktor yang membentuk suatu kumparan, digerakkan dalam medan magnet dengan kecepatan v , maka pada kumparan tersebut diinduksikan tegangan (Soebagio, 2008).



Gambar 3. Konsep generator elektrik (Soebagio, 2008)

Besar tegangan dalam kumparan sesuai dengan hukum Faraday dinyatakan oleh

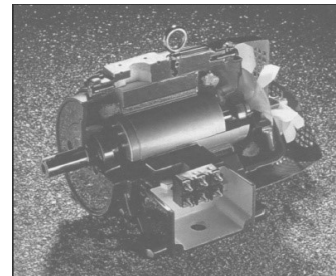
$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

dengan;= perubahan jumlah garis-garis gaya dalam Weber

dt = perubahan waktu

Jadi, dengan memberikan energi mekanik pada kumparan dengan jalan memutar kumparan tersebut dan menempatkan kumparan tersebut pada medan magnet antara kutub utara (U) dan kutub selatan (S), akan dihasilkan energi elektrik yang diberikan kepada beban.

Motor Induksi



Gambar 4. Motor induksi tiga fasa sangkar tupai (squirrel cage)
(Sumber : Smith, 1994)

Kumparan medan dari motor induksi terdiri dari kumparan yang didistribusikan pada stator, apakah fasa tunggal atau fasa banyak yang mendapatkan suplai dari sumber tegangan a.c. Kumparan jangkar ditempatkan dalam rotor. Motor induksi tiga fasa terbagi menjadi dua kelas besar berdasarkan konstruksi rotornya, yaitu rotor sangkar dan rotor belit. Rotor sangkar terbuat dari batang-batang konduktor yang dihubungkan singkat pada ujung-ujungnya dengan menggunakan cincin, sedangkan rotor belit terdiri atas lilitan tiga fasa yang ditanamkan pada slot-slot rotor dengan ujung-ujung yang dihubungkan dengan slip ring (Soebagio, 2008).

Generator Induksi

Motor induksi dapat dioperasikan sebagai motor maupun sebagai generator. Bila dioperasikan sebagai motor, motor induksi harus dihubungkan dengan sumber tegangan (jala-jala), daya mengalir dari jala-jala ke motor dan mesin bekerja dengan slip lebih besar dari nol sampai satu ($0 \leq s \leq 1$). Jika motor induksi dioperasikan sebagai generator, daya akan mengalir dari motor induksi dan akan bekerja dengan slip yang lebih kecil dari nol ($s < 0$).

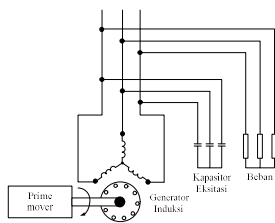
Untuk mengoperasikan motor induksi sebagai generator diperlukan daya mekanis untuk memutar rotor dan sumber daya reaktif untuk memenuhi kebutuhan arus eksitasi. Kebutuhan daya reaktif dapat diperoleh dari jala-jala atau dari suatu kapasitor. Tanpa adanya daya reaktif, motor induksi

yang dioperasikan sebagai generator tidak menghasilkan tegangan. Jika motor induksi terhubung dengan jala-jala, maka kebutuhan daya reaktif diambil dari jala-jala.

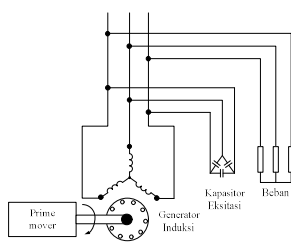
Namun bila motor induksi tidak terhubung dengan jala-jala, maka kebutuhan daya reaktif dapat disediakan dari suatu unit kapasitor. Kapasitor tersebut dihubungkan paralel dengan teminal keluaran generator. Kapasitor yang dipasang harus mampu memberikan daya reaktif yang dibutuhkan untuk menghasilkan fluksi di celah udara (*air gap*).

Prinsip Kerja dan Proses Pembangkitan Tegangan

Rangkaian motor induksi dengan eksitasi kapasitor diperlihatkan pada gambar 5, 6 dan 7. Gambar 5 dan 6 memperlihatkan skema prinsip kerja motor induksi untuk keluaran daya tiga fasa dengan kapasitor eksitasi dihubungkan bintang dan delta.

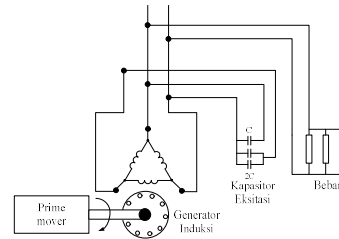


Gambar 5. Skema prinsip kerja motor induksi dengan kapasitor eksitasi dihubungkan bintang



Gambar 6. Skema prinsip kerja motor induksi dengan kapasitor eksitasi dihubungkan delta

Sedangkan gambar 7 memperlihatkan skema prinsip kerja motor induksi untuk keluaran daya satu fasa dengan kapasitor eksitasi dihubungkan C-2C.



Gambar 7. Skema prinsip kerja motor induksi dengan kapasitor eksitasi dihubungkan C-2C

Untuk mengoperasikan motor induksi sebagai generator dibutuhkan daya mekanis sebagai penggerak mula (prime mover) yang akan memutar rotor. Putaran rotor yang digerakkan oleh daya mekanis tersebut harus lebih besar dari kecepatan medan putar atau kecepatan sinkron. Dengan putaran rotor yang melebihi kecepatan sinkron dapat dikatakan bahwa motor induksi bekerja dengan slip negatif, seperti diperlihatkan dalam persamaan berikut :

$$s = \frac{ns - nr}{ns}$$

dengan;

s = slip

ns = kecepatan sinkron

nr = kecepatan putaran rotor

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

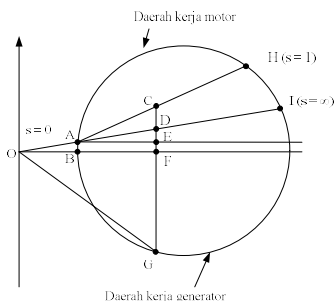
dengan;

f = frekuensi

p = jumlah kutub

Diagram Lingkar Motor induksi

Perubahan beban motor induksi stand-alone akan mempengaruhi harga slip, seperti diperlihatkan pada gambar 2.15. Daerah kerja motor induksi ditunjukkan oleh busur ABGI. Titik A sampai titik I menunjukkan slip berharga negatif sampai slip berharga takhingga. Garis AH menyatakan daerah kerja motor. Garis AH juga menyatakan daya keluaran mekanis, mempresentasikan daya masukan mekanis penggerak mula yang memutar motor induksi. Titik B menyatakan daya keluaran generator berharga nol. Untuk itu motor induksi harus dioperasikan di suatu harga negatif yang kecil, sehingga diperoleh rugi-rugi putaran beban nol.

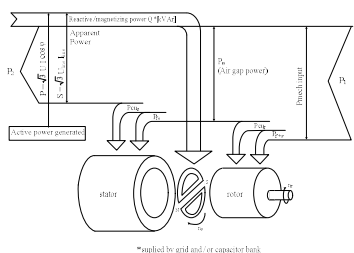


Gambar 8. Diagram lingkaran motor induksi

Untuk suatu beban tertentu misal titik G, garis OG menyatakan arus stator saat kondisi beban tersebut. Garis CG menyatakan daya masukan mekanis per fasa dan garis FG menyatakan daya keluaran listrik per fasa. Sedangkan garis CD, DE, EF menyatakan rugi-rugi tembaga rotor, rugi-rugi tembaga stator dan rugi-rugi beban nol.

Diagram Aliran Daya Nyata

Diagram aliran daya nyata dan rugi-rugi daya motor induksi stand-alone ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 9. Diagram aliran daya nyata motor induksi (Sumber : Chapallaz, 1992)

Rugi-rugi gesekan dan angin $P_f + w$, rugi-rugi inti stator P_{fe} biasanya dianggap konstan dan disebut dengan rugi-rugi beban nol. Sedangkan rugi-rugi tembaga stator dan rotor tidak tetap dan besarnya sangat tergantung pada arus beban.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian eksperimen dengan materi penelitian menguji motor induksi yang dioperasikan sebagai generator pada sistem PTMMD dengan ukuran dan bentuk konfigurasi kapasitor eksitasi yang bervariasi. Jenis data yang akan menjadi acuan adalah data primer hasil pengujian motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP yang diaplikasikan pada sistem PTMMD di dusun Blaburan, desa Bligo, Kec. Ngluwar, Kab. Magelang. Data-data

tersebut selanjutnya diolah guna mengetahui karakteristik,

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Uji Nilai Kapasitansi Kapasitor

Uji nilai kapasitansi kapasitor dilakukan untuk mengetahui besarnya keluaran listrik dari motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP. Nilai kapasitansi disesuaikan dengan bentuk konfigurasi pada motor

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai kapasitansi pada kapasitor untuk motor induksi 0,25 HP.

Motor Induksi 0,25 HP				
Load	Power faktor ($\cos \phi$)	C-2C (μF)	C_{Δ} (μF)	C_Y (μF)
$\frac{1}{2}$ Load	0,45	7,14	2,76	8,25
$\frac{3}{4}$ load	0,58	6,64	2,5	7,67
full load	0,68	5,89	2,26	6,8

Pada hasil perhitungan ini dilakukan pendekatan nilai kapasitansi yang tersedia di lapangan. Kapasitor dengan bentuk konfigurasi C-2C digunakan kapasitor dengan variasi nilai kapasitansi 5 μF , 8 μF dan 12 μF . Kapasitor dengan bentuk konfigurasi delta (C_{Δ}) digunakan keluaran daya listrik dan efisiensi masing-masing motor induksi.

Uji Nilai Kapasitansi Kapasitor

Uji nilai kapasitansi kapasitor dilakukan untuk mengetahui besarnya keluaran listrik dari motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP. Nilai kapasitansi disesuaikan dengan bentuk konfigurasi pada motor induksi. Bentuk konfigurasi kapasitor bisa berupa C-2C untuk keluaran listrik 1 fasa, delta (C_{Δ}) dan bintang (CY) untuk keluaran listrik 3 fasa. Berdasarkan hasil perhitungan seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya didapatkan nilai-nilai kapasitansi kapasitor. Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil perhitungan kapasitansi pada kapasitor untuk motor induksi 0,25 HP.

induksi. Bentuk konfigurasi kapasitor bisa berupa C-2C untuk keluaran listrik 1 fasa, delta (C_{Δ}) dan bintang (CY) untuk keluaran listrik 3 fasa. Berdasarkan hasil perhitungan seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya didapatkan nilai-nilai kapasitansi kapasitor. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan kapasitansi pada kapasitor untuk motor induksi 0,25 HP.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai kapasitansi pada kapasitor untuk motor induksi 0,5 HP.

Motor Induksi 0,5 HP				
Load	Power faktor ($\cos \phi$)	C-2C (μF)	C_{Δ} (μF)	C_Y (μF)
$\frac{1}{2}$ Load	0,45	11,9	4,6	13,7
$\frac{3}{4}$ load	0,58	10,6	4,2	12,3
full load	0,68	9,77	3,77	11,29

Pada hasil perhitungan ini dilakukan pendekatan nilai kapasitansi yang tersedia di lapangan juga. Kapasitor dengan bentuk konfigurasi C-2C digunakan kapasitor dengan variasi nilai kapasitansi 8 μF , 10 μF dan 12 μF . Kapasitor dengan bentuk konfigurasi delta

(C_{Δ}) digunakan variasi nilai kapasitansi 4 μF , 5 μF dan 8 μF . Kapasitor dengan bentuk konfigurasi bintang (C_Y) digunakan variasi nilai kapasitansi 8 μF , 12 μF dan 14 μF .

Uji Nilai Kapasitansi 5 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 5 μF dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran listrik 1 fase dapat ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 5 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
		I_L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
0	284	0	0	0,549	1,00	60	1138	1857	0	0
10	263	0,08	21,04	0,483	1,00	59	1128	1841	9,393	8,25
20	244	0,14	34,16	0,443	1,00	59	1126	1838	15,25	13,4
30	226	0,2	45,2	0,426	1,00	59	1132	1847	20,18	17,7
40	219	0,24	52,56	0	1,00	59	1150	1879	23,46	20,6
50	177	0,27	47,79	0	1,00	59	1162	1896	21,33	18,7
60	149	0,3	44,7	0	1,00	60	1191	1942	19,96	17,5
70	110	0,4	44	0	1,00	62	1252	2043	19,64	17,3
80	0	0	0	0	0	0	1393	2276	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μF dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,25 HP menghasilkan keluaran listrik 1 fase dapat ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
		I_L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
0	277	0	0	0,682	1,00	52	999	1627	0	0
10	266	0,07	18,62	0,645	1,00	51	993	1617	8,313	7,3
20	256	0,14	35,84	0,612	1,00	51	992	1613	16	14,1
30	239	0,2	47,8	0,59	1,00	50	988	1609	21,34	18,7
40	230	0,25	57,5	0,556	1,00	50	987	1608	25,67	22,5
50	215	0,3	64,5	0,505	1,00	50	994	1612	28,79	25,3
60	203	0,35	71,05	0,46	1,00	50	997	1625	31,72	27,9
70	198	0,4	79,2	0,464	1,00	50	1008	1639	35,36	31,1
80	179	0,44	78,76	0,446	1,00	50	1006	1665	35,16	30,9
90	166	0,47	78,02	0,432	1,00	51	1000	1688	34,83	30,6
100	151	0,49	73,99	0,438	1,00	51	1060	1725	33,03	29
110	136	0,52	70,72	0	1,00	52	1095	1777	31,57	27,7
120	117	0,51	59,67	0	1,00	52	1145	1868	26,64	23,4
130	0	0	0	0	0	0	1422	2317	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 12 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 12 μF dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,25 HP menghasilkan keluaran listrik 1 fase dapat ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 12 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
		I _L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
0	247	0	0	0,772	1,00	43	870	1410	0	0
10	239	0,06	14,34	0,736	1,00	43	872	1409	6,402	5,62
20	230	0,13	29,9	0,709	1,00	43	873	1485	13,35	11,7
30	220	0,2	44	0,706	1,00	43	871	1413	19,64	17,3
40	211	0,25	52,75	0,662	1,00	42	873	1412	23,55	20,7
50	198	0,3	59,4	0,642	1,00	42	876	1416	26,52	23,3
60	195	0,35	68,25	0,606	1,00	42	876	1421	30,47	26,8
70	189	0,4	75,6	0,572	1,00	42	882	1432	33,75	29,6
80	177	0,44	77,88	0,569	1,00	42	892	1445	34,77	30,5
90	173	0,47	81,31	0,533	1,00	43	898	1457	36,3	31,9
100	166	0,49	81,34	0,515	1,00	43	908	1471	36,31	31,9
110	158	0,52	82,16	0,483	1,00	43	921	1493	36,68	32,2
120	148	0,6	88,8	0,472	1,00	44	936	1517	39,64	34,8
130	137	0,61	83,57	0,454	1,00	44	954	1549	37,31	32,8
140	126	0,63	79,38	0,432	1,00	45	980	1593	35,44	31,1
155	120	0,64	76,8	0,432	1,00	46	997	1621	34,29	30,1
165	111	0,66	73,26	0,331	1,00	47	1038	1685	32,71	28,7
180	100	0,67	67	0	1,00	48	1073	1761	29,91	26,3
190	0	0	0	0	0	0	1425	2322	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 4 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 4 μF dengan bentuk konfigurasi C_{Δ} untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran listrik 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 4 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	475	274	0	0	0,504	1,00	49	940	1530	0	0
3 x 10	411	237	0,062	44,14	0,441	1,00	47	914	1484	19,7	17,31
3 x 20	359	207	0,124	77,1	0,407	1,00	45	895	1460	34,42	30,24
3 x 30	312	180	0,17	91,87	0	1,00	44	904	1472	41,01	36,03
3 x 40	260	150	0,21	94,57	0	1,00	45	944	1534	42,22	37,09
3 x 50	199	115	0,22	75,83	0	1,00	48	1048	1702	33,85	29,74
3 x 55	0	0	0	0	0	0	0	1458	2381	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 5 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 5 μF dengan bentuk konfigurasi C_{Δ} untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran listrik tiga fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 5 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	431	249	0	0	0,55	1,00	43	847	1370	0	0
3 x 10	378	218	0,055	36,01	0,463	1,00	42	831	1346	16,08	14,12
3 x 20	343	198	0,11	65,35	0,407	1,00	40	804	1308	29,17	25,63
3 x 30	291	168	0,16	80,64	0	1,00	39	808	1313	36	31,63

3 x 40	257	148	0,2	89,0 3	0	1,0 0	40	833	135 7	39,7 4	34,9 1
3 x 50	213	123	0,23	84,8 5	0	1,0 0	41	886	144 3	37,8 8	33,2 8
3 x 60	0	0	0	0	0	0	0	1379	225 9	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,25 HP

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Δ untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran listrik tiga fasa dapat ditunjukkan ditunjukkan dalam Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V _{LL} (Volt)	V _{LN} (Volt)	I _L (A)	W (Watt)	I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	347	200	0	0	0,57	1,0 0	35	709	115 8	0	0
3 x 10	316	182	0,05 3	29,0 1	0,5	1,0 0	34	708	115 5	12,9 5	11,3 8
3 x 20	290	167	0,10 5	52,7 4	0,45	1,0 0	33	706	115 3	23,5 5	20,6 8
3 x 30	260	150	0,15	67,5 5	0,42 4	1,0 0	33	705	115 1	30,1 6	26,4 9
3 x 40	246	142	0,19	80,9 6	0,41 5	1,0 0	33	708	115 5	36,1 4	31,7 5
3 x 50	221	128	0,23	88,04	0	1,0 0	34	739	1195	39,3	34,5 3
3 x 60	200	115	0,25	86,6	0	1,0 0	34	774	1255	38,6 6	33,9 6
3 x 70	0	0	0	0	0	0	0	1406	2283	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Y untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran tiga fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	514	297	0	0	0,78	1,00	55	1052	1708	0	0
3 x 10	432	249	0,064	47,89	0,6	1,00	52	1005	1635	21,38	18,78
3 x 20	356	206	0,13	80,16	0,48	1,00	50	997	1619	35,79	31,44
3 x 30	295	170	0,164	83,8	0,41	1,00	51	1026	1668	37,41	32,86
3 x 40	191	110	0,2	66,16	0	1,00	55	1152	1878	29,54	25,95
3 x 50	0	0	0	0	0	0	0	1407	2440	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 10 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 10 μF dengan bentuk konfigurasi C_Y untuk motor induksi 0,25 HP

menghasilkan keluaran listrik tiga fasa ditunjukkan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 10 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	486	281	0	0	0,86	1,00	50	960	1614	0	0
3 x 10	427	247	0,058	42,9	0,67	1,00	48	933	1515	19,15	16,82
3 x 20	365	211	0,117	73,97	0,56	1,00	46	920	1495	33,02	29,01
3 x 30	315	182	0,159	86,75	0,51	1,00	45	924	1505	38,73	34,02
3 x 40	258	149	0,2	89,37	0,42	1,00	46	967	1570	39,9	35,05
3 x 50	0	0	0	0	0	0	0	1428	2321	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 12 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 12 μF dengan bentuk konfigurasi C_Y untuk motor induksi 0,25 HP menghasilkan keluaran tiga fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 12 μF dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,25 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	456	263	0	0	0,87	1,00	47	912	1470	0	0
3 x 10	394	227	0,06	40,95	0,7	1,00	45	886	1437	18,28	16,06
3 x 20	358	207	0,12	74,41	0,63	1,00	44	874	1422	33,22	29,18
3 x 30	316	182	0,17	93,05	0,55	1,00	43	875	1425	41,54	36,49
3 x 40	271	156	0,2	93,88	0,46	1,00	43	905	1473	41,91	36,81
3 x 50	216	125	0,23	86,05	0,41	1,00	45	984	1597	38,41	33,74
3 x 60	0	0	0	0	0	0	0	1425	2331	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μF dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik 1 fasa dapat ditunjukkan pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
		I_L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrt r		
0	262	0	0	0,693	1,00	58	1065	1765	0	0

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η _g (%)	η _{sp} (%)
		I _L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
10	247	0,07	17,29	0,648	1,00	57	1054	1745	7,72	6,78
20	229	0,14	32,06	0,6	1,00	56	1048	1737	14,31	12,6
30	214	0,2	42,8	0,559	1,00	56	1049	1736	19,11	16,8
40	201	0,26	52,26	0,52	1,00	56	1046	1737	23,33	20,5
50	189	0,31	58,59	0,496	1,00	56	1052	1738	26,16	23
60	179	0,35	62,65	0,462	1,00	56	1054	1744	27,97	24,6
70	169	0,398	67,26	0,438	1,00	57	1063	1760	30,03	26,4
80	159	0,44	69,96	0,418	1,00	57	1070	1773	31,23	27,4
90	151	0,47	70,97	0,404	1,00	57	1079	1790	31,68	27,8
100	139	0,49	68,11	0	1,00	58	1093	1811	30,41	26,7
110	124	0,52	64,48	0	1,00	58	1110	1840	28,79	25,3
120	111	0,53	58,83	0	1,00	59	1131	1874	26,26	23,1
130	101	0,54	54,54	0	1,00	60	1154	1913	24,35	21,4
140	92,4	0,542	50,08	0	1,00	62	1188	1964	22,36	19,6
150	0	0	0	0	0	0	1488	2339	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 10 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 10 μF dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik satu fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 10 μF dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP

.Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η _g (%)	η _{sp} (%)
		I _L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
0	257	0	0	0,817	1,00	52	975	1612	0	0

10	247	0,068	16,796	0,78	1,00	52	965	1595	7,498	6,59
20	231	0,136	31,416	0,724	1,00	51	954	1578	14,03	12,3
30	221	0,2	44,2	0,689	1,00	51	949	1569	19,73	17,3
40	211	0,264	55,704	0,653	1,00	50	947	1565	24,87	21,8
50	202	0,324	65,448	0,624	1,00	50	946	1563	29,22	25,7
60	198	0,374	74,052	0,597	1,00	50	947	1563	33,1	29
70	184	0,418	76,912	0,565	1,00	50	950	1571	34,34	30,2
80	174	0,464	80,736	0,537	1,00	50	952	1576	36,04	31,7
90	165	0,514	84,81	0,509	1,00	51	958	1587	37,86	33,3
100	156	0,548	85,488	0,483	1,00	51	964	1598	38,16	33,5
110	148	0,58	85,84	0,458	1,00	51	972	1608	38,32	33,7
120	140	0,608	85,12	0,437	1,00	51	982	1624	38	33,4
130	133	0,638	84,854	0,416	1,00	52	992	1641	37,88	33,3
140	127	0,668	84,836	0	1,00	52	1004	1662	37,87	33,3
150	120	0,686	82,32	0	1,00	53	1018	1687	36,75	32,3
165	114	0,702	80,028	0	1,00	53	1032	1709	35,73	31,4
180	111	0,716	79,476	0	1,00	54	1045	1725	35,48	31,2
195	105	0,724	76,02	0	1,00	55	1062	1755	33,94	29,8
210	90,5	0,726	65,703	0	1,00	56	1081	1794	29,33	25,8
225	87,9	0,726	63,815	0	1,00	57	1119	1851	28,49	25
240	0	0	0	0	0	0	1520	2411	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 12 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 12 μ F dengan bentuk konfigurasi C-2C untuk motor induksi 0,5 HP menghasilkan keluaran listrik satu fasa, dapat ditunjukkan dalam Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 12 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C-2C Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V (Volt)	Lampu		I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η _g (%)	η _{sp} (%)
		I _L (A)	W (Watt)				Turbin	Gnrtr		
0	248	0	0	0,877	1,00	50	983	1538	0	0
10	240	0,06	14,4	0,832	1,00	49	919	1522	6,429	5,65
20	231	0,132	30,49	0,783	1,00	49	913	1508	13,61	12
30	221	0,204	45,08	0,728	1,00	48	909	1503	20,13	17,7
40	216	0,264	57,02	0,72	1,00	48	915	1504	25,46	22,4
50	208	0,326	67,8	0,698	1,00	48	916	1578	30,27	26,6
60	198	0,38	75,24	0,652	1,00	48	922	1501	33,59	29,5
70	192	0,43	82,56	0,65	1,00	48	922	1504	36,86	32,4
80	187	0,48	89,76	0,614	1,00	48	924	1507	40,07	35,2
90	178	0,52	92,56	0,585	1,00	48	928	1512	41,32	36,3
100	169	0,56	94,64	0,565	1,00	48	931	1518	42,25	37,1
110	163	0,61	99,43	0,552	1,00	48	934	1525	44,39	39

120	154	0,64	98,56	0,52	1,00	48	937	1539	44	38,7
130	149	0,67	99,83	0,505	1,00	49	946	1550	44,57	39,1
140	142	0,7	99,4	0,488	1,00	49	959	1565	44,38	39
150	136	0,73	99,28	0,465	1,00	49	965	1585	44,32	38,9
165	130	0,75	97,5	0,451	1,00	50	979	1597	43,53	38,2
180	125	0,76	95	0,442	1,00	50	984	1611	42,41	37,3
195	120	0,78	93,6	0,433	1,00	51	993	1787	41,79	36,7
210	114	0,8	91,2	0,425	1,00	51	998	1799	40,71	35,8
225	113	0,83	93,79	0,411	1,00	52	1138	1872	41,87	36,8
240	109	0,84	91,56	0	1,00	52	1180	1891	40,88	35,9
255	0	0	0	0	0	0	1810	2438	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 4 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 4 μ F dengan bentuk konfigurasi C_{Δ} untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik 3 fasa, dapat ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 4 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_{Δ} Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	457	264	0	0	0,53	1,00	53	986	1630	0	0
3 x 10	396	229	0,057	39,1	0,436	1,00	51	920	1567	17,45	15,33
3 x 20	349	201	0,115	69,52	0	1,00	50	923	1532	31,03	27,26
3 x 30	290	167	0,187	93,93	0	1,00	50	927	1542	41,93	36,83
3 x 40	250	144	0,225	97,43	0	1,00	50	985	1570	43,49	38,21
3 x 50	210	121	0,25	90,93	0	1,00	51	983	1629	40,59	35,66
3 x 60	182	105	0,26	81,96	0	1,00	52	1023	1695	36,59	32,14
3 x 70	0	0	0	0	0	0	0	1555	2335	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 5 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 5 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Δ untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 5 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,5 HP

Beban (Watt)	V _{LL} (Volt)	V _{LN} (Volt)	I _L (A)	W (Watt)	I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η _g (%)	η _{sp} (%)
								Turbin	Gnrtr		
0	425	245	0	0	0,59	1,00	48	899	1551	0	0
3 x 10	373	215	0,059	38,12	0,5	1,00	46	862	1422	17,02	14.95
3 x 20	339	196	0,118	69,29	0,44	1,00	45	840	1386	30,93	27.17
3 x 30	306	177	0,165	87,45	0	1,00	44	826	1365	39,04	34.29
3 x 40	276	159	0,21	100,4	0	1,00	44	830	1372	44,82	39.37
3 x 50	244	141	0,24	101,4	0	1,00	44	844	1393	45,28	39.78
3 x 60	222	128	0,26	99,97	0	1,00	45	860	1421	44,63	39.21
3 x 80	201	116	0,28	97,48	0	1,00	46	886	1464	43,52	38.23
3 x 90	182	105	0,3	94,57	0	1,00	47	919	1519	42,22	37.09
3 x 110	170	98,1	0,32	94,22	0	1,00	48	946	1569	42,06	36.95
3 x 120	0	0	0	0	0	0	0	1397	2300	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Δ untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Δ Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V _{LL} (Volt)	V _{LN} (Volt)	I _L (A)	W (Watt)	I _c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η _g (%)	η _{sp} (%)
								Turbin	Gnrtr		
0	353	204	0	0	0.64	1,00	40	751	1244	0	0

3 x 10	330	191	0,053	30,29	0,59	1,00	39	734	1210	13,52	11,88
3 x 20	295	170	0,106	54,16	0,54	1,00	38	718	1183	24,18	21,24
3 x 30	278	161	0,151	72,71	0,46	1,00	37	688	1170	32,46	28,51
3 x 40	253	146	0,2	87,64	0,42	1,00	37	673	1166	39,13	34,37
3 x 50	232	134	0,23	92,42	0	1,00	37	684	1175	41,26	36,24
3 x 60	219	126	0,26	98,62	0	1,00	37	716	1184	44,03	38,68
3 x 80	206	119	0,28	99,9	0	1,00	37	703	1205	44,6	39,18
3 x 90	198	114	0,31	106,3	0	1,00	38	747	1234	47,46	41,69
3 x 130	156	90,1	0,36	97,27	0	1,00	41	1031	1377	43,42	38,15
3 x 140	0	0	0	0	0	0	0	1398	2330	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 8 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Y untuk motor induksi 0,5 HP

menghasilkan keluaran listrik tiga fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 18.

Tabel 18. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 8 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_C (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrtr		
0	464	268	0	0	0,75	1,00	60	1096	1818	0	0
3 x 10	376	217	0,056	36,47	0,58	1,00	58	1055	1743	16,28	14,3
3 x 20	305	176	0,112	59,17	0,47	1,00	57	1053	1742	26,41	23,2
3 x 30	250	144	0,15	64,95	0,4	1,00	58	1073	1775	29	25,47
3 x 40	198	114	0,17	58,3	0	1,00	59	1114	1846	26,03	22,86
3 x 50	0	0	0	0	0	0	0	1389	2302	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 12 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 12 μ F dengan bentuk konfigurasi C_Y untuk motor induksi 0,5 HP menghasilkan keluaran 3 fasa dapat ditunjukkan dalam tabel 19

Tabel 19. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 12 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	444	256	0	0	0,95	1,00	53	966	1596	0	0
3 x 10	389	225	0,057	38,4	0,78	1,00	50	930	1537	17,14	15,06
3 x 20	348	201	0,114	68,71	0,67	1,00	50	822	1504	30,68	26,95
3 x 30	302	174	0,16	83,69	0,57	1,00	48	908	1500	37,36	32,82
3 x 40	260	150	0,19	85,56	0,5	1,00	49	915	1515	38,2	33,55
3 x 50	227	131	0,22	86,5	0,44	1,00	50	944	1560	38,62	33,92
3 x 60	199	115	0,24	82,72	0,4	1,00	51	973	1608	36,93	32,44
3 x 70	196	113	0,25	84,87	0	1,00	51	979	1621	37,89	33,28
3 x 80	173	99,9	0,26	77,91	0	1,00	53	1019	1609	34,78	30,55
3 x 85	167	96,4	0,27	78,1	0	1,00	53	1039	1720	34,87	30,63
3 x 90	0	0	0	0	0	0	0	1380	2294	0	0

Uji Nilai Kapasitansi 14 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Hasil pengujian nilai kapasitansi 14 μ F untuk motor induksi 0,5 HP menghasilkan keluaran listrik tiga fasa dapat ditunjukkan dalam Tabel 20.

Tabel 20. Hasil Pengujian Nilai Kapasitansi 14 μ F dengan Bentuk Konfigurasi C_Y Untuk Motor Induksi 0,5 HP.

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
0	426	246	0	0	0,99	1,00	50	915	1515	0	0
3 x 10	399	230	0,057	39,39	0,86	1,00	48	882	1459	17,59	15,45
3 x 20	343	198	0,114	67,73	0,77	1,00	47	863	1425	30,24	26,56

Beban (Watt)	V_{LL} (Volt)	V_{LN} (Volt)	I_L (A)	W (Watt)	I_c (A)	PF	frek (Hz)	Putaran (Rpm)		η_g (%)	η_{sp} (%)
								Turbin	Gnrt r		
3 x 30	305	176	0,164	86,64	0,64	1,00	45	852	1412	38,68	33,98
3 x 40	273	158	0,2	94,57	0,57	1,00	45	860	1418	42,22	37,09
3 x 50	243	140	0,24	101	0,52	1,00	46	875	1405	45,1	39,61
3 x 65	224	129	0,25	96,99	0,48	1,00	46	893	1473	43,3	38,04
3 x 80	204	118	0,28	98,93	0,45	1,00	47	918	1519	44,17	38,8
3 x 95	186	107	0,29	93,43	0,42	1,00	49	954	1577	41,71	36,64
3 x 100	0	0	0	0	0	0	0	1408	2321	0	0

Uji Efisiensi Sistem Pembangkit

Dalam pengujian efisiensi ini, penggerak mula Turbin Cross Flow digunakan untuk menggerakkan motor induksi sebagai generator dengan debit maksimum air masuk turbin 10,4 lt/det. Karakteristik listrik standar PLN dihasilkan motor induksi 0,25 HP dengan bentuk konfigurasi kapasitor C-2C dapat ditunjukkan pada nilai kapasitansi 8 μ F dan bentuk konfigurasi kapasitor C_Y dapat ditunjukkan pada nilai kapasitansi 8 μ F, sedangkan kapasitor dengan bentuk konfigurasi C_Δ dari ketiga nilai kapasitansi yang telah diujikan tidak dapat menunjukkan keluaran listrik yang sesuai dengan standar PLN. Dan karakteristik listrik standar PLN yang dapat dihasilkan motor induksi 0,5 HP dengan bentuk konfigurasi kapasitor C-2C dapat ditunjukkan pada nilai kapasitansi 10 μ F, bentuk konfigurasi kapasitor C_Δ dapat ditunjukkan pada nilai kapasitansi 4 μ F dan

bentuk konfigurasi kapasitor C_Y dapat ditunjukkan pada nilai kapasitansi 12 μF . Efisiensi sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin Cross Flow (η_{sp}) dapat diketahui dengan rumus,

$$\eta_{sp} = (N_g / N_p) \cdot 100\%$$

diketahui;

N_{g1} = daya maksimum motor induksi 0,25 HP dengan nilai kapasitansi 8 μF kapasitor dikonfigurasi C-2C = 79,2 Watt

N_{g2} = daya maksimum motor induksi 0,25 HP dengan nilai kapasitansi 8 μF kapasitor dikonfigurasi bintang = 80,16 Watt

N_{g3} = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 10 μF kapasitor dikonfigurasi C-2C = 74,05 Watt

N_{g4} = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 4 μF kapasitor dikonfigurasi delta = 69,52 Watt

N_{g5} = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 8 μF kapasitor dikonfigurasi bintang = 68,71 Watt

N_p = daya potensi air yang dapat dibangkitkan dengan kondisi debit riil maksimum = 10,4 lt/det.

$$N_p = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t$$

diketahui;

$$\rho = \text{rapat massa air} = (1.000 \text{ kg/m}^3)$$

$$g = \text{percepatan gravitasi bumi} = 9,81 \text{ m/det}^2$$

$$Q_t = \text{debit riil turbin} = 10,4 \text{ lt/det}$$

$$H_t = \text{head turbin} = 2,5 \text{ m}$$

Maka,

$$N_p = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t$$

$$N_p = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,0104 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$$

$$N_p = 255 \text{ kg.m}^2/\text{det}^3$$

$$N_p = 255 \text{ kg.m/det}^2 \cdot \text{m/det}; (1 \text{ kg} \cdot \text{m/det}^2 = 1 \text{ N})$$

$$N_p = 255 \text{ N.m/det}$$

$$N_p = 255 \text{ Joule/det}$$

$$N_p = 255 \text{ Watt}$$

Maka efisiensi riil sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin Cross Flow yang ditransmisikan pada motor induksi 0,25 HP adalah,

1. untuk nilai kapasitansi 8 μF dengan kapasitor dikonfigurasi C-2C

$$\eta_{sp} = (79,2 \text{ Watt} / 255 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_{sp} = 31,1 \%$$

2. untuk nilai kapasitansi 8 μF dengan kapasitor dikonfigurasi bintang

$$\eta_{sp} = (80,16 \text{ Watt} / 255 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_{sp} = 31,44 \%$$

sedangkan efisiensi riil sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin Cross Flow yang ditransmisikan pada motor induksi 0,5 HP adalah,

1. untuk nilai kapasitansi 10 μF dengan kapasitor dikonfigurasi C-2C

$$\eta_{sp} = (74,05 \text{ Watt} / 255 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_{sp} = 28,5 \%$$

2. untuk nilai kapasitansi 4 μF dengan kapasitor dikonfigurasi delta

$$\eta_{sp} = (69,52 \text{ Watt} / 260 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_{sp} = 26,7 \%$$

3. untuk nilai kapasitansi 12 μF dengan kapasitor dikonfigurasi bintang

$$\eta_{sp} = (68,71 \text{ Watt} / 260 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_{sp} = 26,4 \%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi sistem pembangkit diatas menunjukkan bahwa dalam aplikasinya motor induksi 0,25 dan 0,5 HP pada sistem PTMMD, untuk keluaran listrik satu fasa dengan kondisi kelistrikan sesuai standar PLN lebih efisien bila digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μF -16 μF dan untuk keluaran listrik 3 fasa dengan kondisi kelistrikan yang sama juga lebih efisien bila digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μF dihubung bintang. Daya potensi yang terukur

Uji Efisiensi Generator

Dalam pengujian efisiensi generator terlebih dahulu perlu diketahui besarnya daya input / daya mekanik yang diberikan penggerak mula turbin cross flow. Untuk mendapatkan besarnya daya input bisa dilakukan dengan mekanisme pengereman guna mengetahui torsi yang dibangkitkan runner turbin. Komponen penting dalam proses pengereman adalah belt atau tali rem yang dipasang melingkari setengah lingkaran puli atau sudut kontak $\theta = 180^\circ$. Kedua ujung belt dihubungkan dengan timbangan pegas, salah satu pengait timbangan pegas tersebut dipasang tetap sementara pengait timbangan satu lagi akan mendapat perlakuan tarik (lihat Gambar 4.26). Pada proses pengereman, akan timbul gaya tarik F_{ta} dan gaya tekan F_{te} , selisih antara F_{ta} dan F_{te} itulah gaya pengereman atau gaya gesek (F_g). Nilai F_{ta} dan F_{te} yang dijadikan acuan dalam pengukuran ialah pada posisi sesaat runner turbin berhenti berputar.

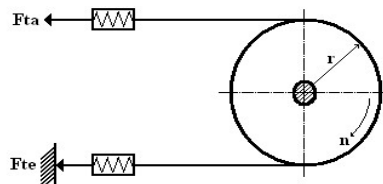
Selanjutnya torsi yang terjadi dapat dicari dengan rumus,

$$T = F_g \cdot r$$

Diketahui;

r = jari-jari puli turbin

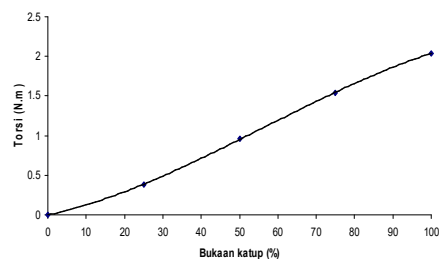
$$r = 127 \text{ mm}/2 = 0,0635 \text{ m}$$



Gambar 4.43 Pengukuran Torsi dengan Mekanisme Pengereman (Bachtar, 2010)

Dari hasil pengujian dengan variasi empat posisi katup didapat karakteristik pengereman puli penggerak mula Turbin Cross Flow sebagai berikut,

Tabel 4.26. Karakteristik Uji Pengereman (Bachtar, 2009)



Gambar 4.44 Torsi yang Dibangkitkan Turbin untuk Empat Posisi Buakan Katup

Berikut uraian dalam menentukan besar daya riil yang dibangkitkan penggerak mula Turbin Cross Flow untuk empat posisi katup (lihat Tabel 4.12) yaitu,

a. Posisi katup terbuka 25%

$$T_1 = F_{g1} \cdot r$$

$$T_1 = 6 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_1 = 0,38 \text{ N.m}$$

$$Nt_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot T_1$$

$$Nt_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 925 \text{ rpm} \cdot 0,38 \text{ N.m}$$

$$Nt_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 925 \text{ put} \cdot 0,38 \text{ N.m}/60 \text{ det}$$

$$Nt_1 = 38 \text{ N.m/det}$$

$$Nt_1 = 38 \text{ Joule/det}$$

$$Nt_1 = 38 \text{ Watt}$$

b. Posisi katup terbuka 50%

$$T_2 = F_{g2} \cdot r$$

$$T_2 = 15 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_2 = 0,96 \text{ N.m}$$

$$Nt_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2 \cdot T_2$$

$$Nt_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 970 \text{ rpm} \cdot 0,96 \text{ N.m}$$

$$Nt_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 970 \text{ put} \cdot 0,96 \text{ N.m}/60 \text{ det}$$

$$Nt_2 = 101 \text{ N.m/det}$$

$$Nt_2 = 101 \text{ Joule/det}$$

$$Nt_2 = 101 \text{ Watt}$$

c. Posisi katup terbuka 75%

$$T_3 = F_{g3} \cdot r$$

$$T_3 = 24 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_3 = 1,54 \text{ N.m}$$

$$Nt_3 = 2 \cdot \pi \cdot n_3 \cdot T_3$$

$$Nt_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1005 \text{ rpm} \cdot 1,54 \text{ N.m}$$

$$Nt_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1005 \text{ put} \cdot 1,54 \text{ N.m}/60 \text{ det}$$

$$Nt_3 = 162 \text{ N.m/det}$$

$$Nt_3 = 162 \text{ Joule/det}$$

$$Nt_3 = 162 \text{ Watt}$$

d. Posisi katup terbuka 100%

$$T_4 = F_{g4} \cdot r$$

No	Posisi Katup Terbuka (%)	Putaran puli, n (rpm)	Debit Riil Turbin (lt/det)	Gaya Tarik, F_{ta} (N)	Gaya Tekan, F_{te} (N)	Gaya Gesek, F_g (N)	Torsi, T (N.m)
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	25	925	2,2	34	28	6	0,38
3.	50	970	4,9	67	52	15	0,96
4.	75	1005	7,7	108	84	24	1,54
5.	100	1049	10,4	135	103	32	2,04

$$T_4 = 32 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_4 = 2,04 \text{ kgf.m}$$

$$Nt_4 = 2 \cdot \pi \cdot n_4 \cdot T_4$$

$$Nt_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1049 \text{ rpm} \cdot 2,04 \text{ N.m}$$

$$Nt_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1049 \text{ put} \cdot 2,04 \text{ N.m}/60 \text{ det}$$

$$Nt_4 = 224 \text{ N.m/det}$$

$$Nt_4 = 224 \text{ Joule/det}$$

$$Nt_4 = 224 \text{ Watt}$$

Selanjutnya efisiensi motor induksi dengan penggerak mula Turbin Cross Flow (η_g) dapat diketahui dengan rumus,

$$\eta_g = (N_g / N_t) \cdot 100\%$$

Dalam aplikasinya motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP pada sistem PTMMD digunakan daya turbin Nt_4 (pada posisi katup terbuka 100 %). diketahui;

Ng_1 = daya maksimum motor induksi 0,25 HP dengan nilai kapasitansi 8 μ F kapasitor dikonfigurasi C-2C = 79,2 Watt

Ng_2 = daya maksimum motor induksi 0,25 HP dengan nilai kapasitansi 8 μ F kapasitor dikonfigurasi bintang = 80,16 Watt

Ng_3 = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 10 μ F kapasitor dikonfigurasi C-2C = 74,05 Watt

Ng_4 = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 4 μ F kapasitor dikonfigurasi delta = 69,52 Watt

Ng_5 = daya maksimum motor induksi 0,5 HP dengan nilai kapasitansi 12 μ F kapasitor dikonfigurasi bintang = 68,71 Watt

Nt_4 = 224 Watt

Maka efisiensi motor induksi 0,25 HP dengan penggerak mula Turbin Cross Flow adalah,

1. untuk nilai kapasitansi 8 μ F kapasitor dikonfigurasi C-2C

$$\eta_g = (79,2 \text{ Watt} / 224 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_g = 35,36 \%$$

2. untuk nilai kapasitansi 8 μ F kapasitor dikonfigurasi bintang

$$\eta_g = (80,16 \text{ Watt} / 224 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_g = 35,78 \%$$

dan efisiensi motor induksi 0,5 HP dengan penggerak mula Turbin Cross Flow adalah,

1. untuk nilai kapasitansi 10 μ F kapasitor dikonfigurasi C-2C

$$\eta_g = (74,05 \text{ Watt} / 224 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_g = 33,1 \%$$

2. untuk nilai kapasitansi 4 μ F kapasitor dikonfigurasi delta (4 μ F)

$$\eta_g = (69,52 \text{ Watt} / 224 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_g = 33,04 \%$$

3. untuk nilai kapasitansi 12 μ F kapasitor dikonfigurasi bintang

$$\eta_g = (68,71 \text{ Watt} / 224 \text{ Watt}) \cdot 100\%$$

$$\eta_g = 30,67 \%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi generator diatas menunjukkan bahwa dalam aplikasinya motor induksi 0,25 dan 0,5 HP pada sistem PTMMD, untuk keluaran listrik satu fasa dengan kondisi kelistrikan sesuai standar PLN lebih efisien bila digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F-16 μ F dan untuk keluaran listrik 3 fasa dengan kondisi kelistrikan yang sama juga lebih efisien bila digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F dihubung bintang. Daya maksimum yang bisa dibangkitkan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F-16 μ F, keluaran listrik satu fasa sebesar 79,2 Watt, sehingga efisiensi maksimum motor induksi tersebut pada sistem PTMMD sebesar 35,36 %. Dan Daya maksimum yang bisa dibangkitkan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F dihubung bintang, keluaran listrik tiga fasa sebesar 80,16 Watt, sehingga efisiensi maksimum motor induksi tersebut pada sistem PTMMD sebesar 35,78 %.

dikonfigurasi C-2C untuk keluaran listrik 1 fasa sebesar 31,1 % dan kapasitor 8 μ F dikonfigurasi bintang untuk keluaran listrik 3 fasa sebesar 31,44 %,

3. Efisiensi generator (η_g) maksimum ketika digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F untuk keluaran listrik 1 fasa sebesar 35,36 % dan kapasitor 8 μ F dihubung bintang untuk keluaran listrik 3 fasa sebesar 35,78 %.

4. Sistem PTMMD lebih aplikatif jika digunakan motor induksi berkapasitas 0,25 HP.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP saat diaplikasikan pada sistem Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD) dengan kondisi kelistrikan sesuai standar PLN, dapat disimpulkan bahwa :

1. Daya listrik maksimum yang dapat dibangkitkan motor induksi 0,25 HP, untuk keluaran listrik 1 fase sebesar 79,2 Watt dan untuk keluaran listrik 3 fase sebesar 80,16 Watt. Sedangkan pada motor induksi 0,5 HP untuk keluaran listrik 1 fase sebesar 74,05 Watt dan untuk keluaran listrik 3 fase sebesar 68,71 Watt,
2. Efisiensi sistem pembangkit (η_{sp}) maksimum ketika digunakan motor induksi 0,25 HP dengan kapasitor 8 μ F

Saran

Meninjau dari hasil pengujian yang telah didapatkan, maka untuk aplikasi motor induksi 0,25 HP dan 0,5 HP pada sistem Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD) dengan kondisi kelistrikan sesuai standar PLN, disarankan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan efisiensi sistem pembangkit (η_{sp}) dan efisiensi generator (η_g) yang maksimum gunakan motor induksi 0,25 HP dengan nilai kapasitansi kapasitor 8 μF untuk keluaran listrik 1 fase dan untuk keluaran listrik 3 fase gunakan juga nilai kapasitansi kapasitor 8 μF dengan bentuk konfigurasi bintang.
2. Bila digunakan motor induksi 0,5 HP, maka akan lebih efisien bila keluaran listrik dijadikan 1 fase dengan nilai kapasitansi kapasitor 10 μF ,
3. Pada penelitian ini terbatas pada pembebanan beban resistif, untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembebanan beban induktif dan beban kapasitif.
4. Sementara ini, daya maksimum yang mampu dibangkitkan pada sistem PTMMD ini hanya sebesar 80,16 Watt, jadi dalam pemanfaatannya baru terbatas pada pembebanan peralatan-peralatan listrik dengan kapasitas daya rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyanuardi, 1999, Analisis Generator Induksi Penguatan Sendiri Dengan Kompensasi Tegangan Menggunakan Kapasitor, Tesis Magister, Bandung.
- Bachtiar, A.N., 2009, Rancang Bangun Turbin Cross Flow Sebagai Penggerak Mula Sistem Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD), Tesis Magister, Yogyakarta.
- Chapallaz, J.M., Ghali, J.D., Eichenberger, P., and Fischer, G., 1992, Manual on Induction Motor Used as Generator, GATE-GTZ, Eschborn, Germany.
- Chudhori, 2003, Analisis Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa Tipe Rotor Sangkar Tupai Sebagai Generator Satu Fasa, Tesis Magister, Yogyakarta.
- Gupta, J.K., Khurmi, R.S., 2001, A Text book of Machine Design, Eurasia Publishing House (Put) Ltd, New Delhi.
- Hijarullah, 2003, Analisis Kebutuhan Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Beban Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Tesis Magister, Yogyakarta.
- Hughes, A., 2006, Electric motors and drives fundamentals, types and applications 3rd edition. Newnes, Oxford, UK.
- Indonesia 2005-2025, Buku Putih Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, 2006, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta.
- Juniarto, 2004, Pengaturan Tegangan Keluaran Generator Asinkron Tiga Fasa Dijadikan Satu Fasa Dengan Thyristor, Tesis Magister, Yogyakarta.
- Nasution, Z., 2007, Pengatur Tegangan Keluaran Generator Induksi Akibat Perubahan Beban Dan Penurunan Debit Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Tesis Magister, Yogyakarta.
- Salama, M., 1994, Analisa Dan Simulasi Pengendali Tegangan Dengan Kapasitor Pada Generator Induksi Terisolir, Tesis Magister, Bandung.
- Sitanggang, M., 1993, Suatu analisa dan simulasi performansi generator induksi rotor sangkar berpenguatan sendiri, Tesis Magister, Bandung.
- Smith, N. 1994. Motors as generator for micro-hydro power 2nd edition. ITDG, London, UK.
- Soebagio, 2008, Teori Umum Mesin Elektrik, Srikandi, Surabaya.
- SPLN 1, 1995, Tegangan - Tegangan Standar, PLN (PERSERO), Jakarta.
- Suriady, A., 2003, Analisis Nilai Kapasitansi Kapasitor Terhadap Perbaikan Unjuk Kerja Motor Induksi tiga fasa Sebagai Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Jenis Stand-Alone, Tesis Magister, Yogyakarta.
- Ta'ali, 1999, Otomatisasi PLTMH Untuk Menstabilkan Tegangan Dan Frekuensi Dengan Pengaturan Guide Vane dan Kapasitor Eksitasi Berdasarkan Pengukuran Arus Beban, Tesis Magister, Bandung.