

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Generator fluks radial yang telah dirancang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan dan perakitan alat. Pada stator terdapat enam buah kumparan dengan lilitan sebanyak 650 lilitan. Pada penelitian ini menggunakan stator dengan jenis kawat yang berbeda yaitu kawat berdiameter 0,15 mm, kawat berdiameter 0,20 mm dan kawat berdiameter 0,25 mm seperti pada Gambar 4.1.



a. kumparan stator dengan kawat 0,25 mm b. kumparan stator dengan kawat 0,15 mm
Gambar 4.1 Stator dan ukuran kawat yang digunakan generator fluks radial

Rotor generator memanfaatkan magnet sepeda motor bekas yang terdiri dari enam buah magnet yang disusun melingkar disekeliling rangka rotor dengan jarak antar magnet sebesar 1 cm. Bentuk rotor generator fluks radial dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rotor generator fluks radial satu fasa

Generator yang telah dirakit kemudian dipasangkan pada penggerak mula yaitu motor induksi tiga fasa untuk kemudian dilakukan pengujian tegangan

generator fluks radial dalam keadaan tidak berbeban dan berbeban seperti Gambar 4.3.

Rotor dan stator generator kemudian pasang dengan celah udara maksimal antara rotor dan stator sebesar 2 mm. Penggunaan celah udara sebesar 2 mm dikarenakan stator generator yang digunakan memiliki diameter yang hampir mendekati diameter rotor bagian dalam dan hanya menyisakan celah udara sebesar 2 mm.



Gambar 4.3 Generator fluks radial satu fasa yang diputar dengan motor induksi

Selain itu ukuran stator generator telah solid seperti yang telah dibuat oleh pabrik, sehingga celah udara pada generator tidak dapat diatur. Putaran rotor diatur dengan mengatur tegangan terminal pada motor induksi.

4.1. Pengujian Beban Nol

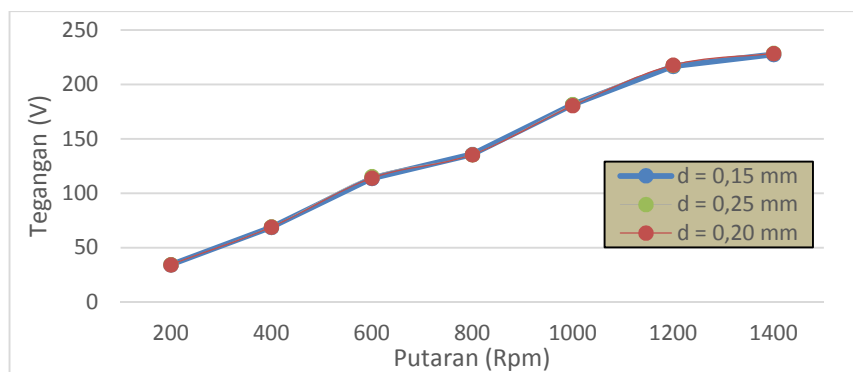
Pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui besar tegangan generator fluks radial satu fasa dengan jumlah lilitan yang sama pada stator dengan diameter kawat 0,15 mm, diameter kawat 0,20 mm dan stator dengan diameter kawat 0,25 mm yaitu sebesar 4000 lilitan tanpa dibebani dimana hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1 ditunjukkan bahwa pengambilan data dimulai dari putaran 200 rpm hingga 1400 rpm dengan variasi diameter kawat. Pemilihan putaran ini berdasarkan putaran maksimal pada motor induksi yang digunakan sebagai peralatan bantu pengujian dan batasan maksimal 1400 rpm. Pada pengujian motor induksi dapat digunakan secara bertahap dengan kenaikan putaran pada pengujian sebesar 200 rpm sehingga pada pengujian

terakhir dilakukan pada putaran 1400 rpm. Besar putaran pada generator fluks radial mempengaruhi besar tegangan yang dibangkitkan.

Tabel 4.1 Hasil pengujian tegangan *output* generator fluks radial satu fasa beban Nol

Putaran (RPM)	Tegangan (V)		
	d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm
200	34,32	34,55	34,63
400	68,87	69,05	69,43
600	113,68	113,98	115,6
800	135,78	135,58	135,57
1000	181,44	180,49	181,58
1200	216,65	217,79	217,65
1400	227,42	228,51	228,71

Dengan variasi putaran ini diperoleh tegangan *output* pada masing-masing diameter kawat. Hasil pengujian pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa tegangan *output* memiliki nilai yang rendah dengan diameter kawat yang kecil dan sebaliknya kawat dengan diameter yang besar memiliki tegangan *output* lebih besar. Namun seharusnya pada saat beban nol secara teori nilai tegangan yang dihasilkan sama besar dikarenakan jumlah belitan yang sama pada kedua stator, perbedaan nilai tegangan *output* pada stator disebabkan oleh faktor presisi ketepatan pemasangan dan pembacaan alat ukur yang kurang teliti. Dari data Tabel 4.1 dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan yang dibangkitkan generator fluks radial satu fasa menggunakan stator dengan variasi diameter kawat pada kumparan dengan putaran generator.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan tegangan *output* generator fluks radial satu fasa.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa nilai tegangan yang dihasilkan stator dengan diameter kawat 0,15 mm, stator dengan diameter 0,20 mm dan stator dengan diameter kawat 0,25 mm memiliki nilai yang sebanding dengan peningkatan nilai tegangan dan kecepatan putar generator. Hal ini disebabkan oleh jumlah lilitan yang sama pada ke tiga stator yaitu sebanyak 4000 lilitan, namun jika lilitan kumparan diperbanyak tegangan akan ikut bertambah naik seperti hasil pengujian pada Lampiran 2 untuk stator dengan diameter kawat 0,15 mm dengan jumlah 11000 lilitan didapat tegangan *output* tanpa beban sebesar 728 V, hal ini sesuai dengan hukum faraday bahwa tegangan listrik yang diinduksikan medan magnet bergantung pada jumlah lilitan yang mana semakin banyak lilitan pada kumparan, semakin besar tegangan yang diinduksikan dan semakin cepat dan besar garis gaya magnet yang mengenai konduktor maka semakin besar tegangan induksi yang dibangkitkan.

4.2. Pengujian Berbeban

Pengujian berbeban bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap tegangan output generator. Pada pengujian berbeban dilakukan dengan menggunakan beban lampu pijar dan beban kipas angin.

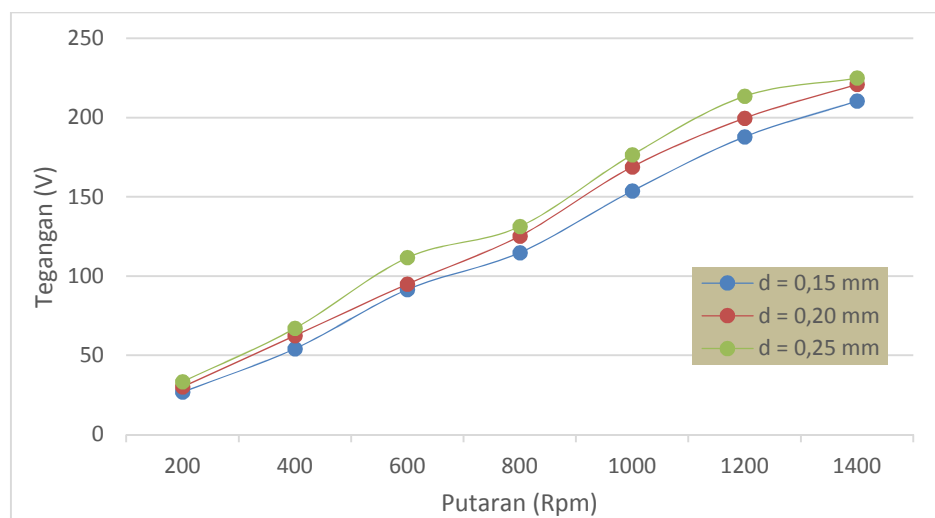
4.2.1 Pengujian tegangan *output* beban 1 lampu pijar 5 Watt

Pengujian tegangan keluaran generator dilakukan pada saat generator fluks radial satu fasa dibebani lampu pijar 5 Watt. Pengujian juga dilakukan pada stator dengan diameter kawat berbeda dengan pengujian tanpa beban yaitu diameter kawat 0,15 mm, diameter 0,20 mm dan diameter kawat 0,25 mm. Hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian berbeban 1 lampu pijar 5 Watt

Putaran (Rpm)	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	26,8	30,11	33,35	27	29	32	1	1	1
400	54,2	62,41	67	31	34	41	2	3	3
600	91,5	94,98	111,6	37	44	53	3	5	4
800	114,76	125,3	131,2	40	51	61	5	10	11
1000	153,67	168,9	176,5	47	59,9	66	6	14	13
1200	187,8	199,6	213,4	51	65	71	9	15	17
1400	210,34	220,9	224,9	58	69	74	13	19	19

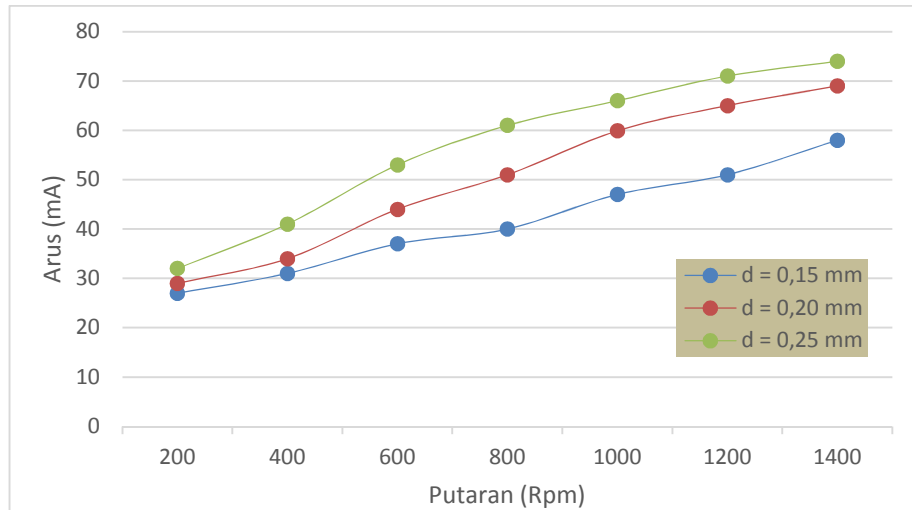
Pada saat generator berbeban maka tegangan generator mengalami drop tegangan akibat adanya arus yang mengalir pada jangkar. Pada tabel 4.2 dapat dilihat ukuran diameter kawat pada stator mempengaruhi besar tegangan, arus, dan daya yang dibangkitkan oleh generator. Selanjutnya dibuat grafik perbandingan antara putaran terhadap tegangan, arus, dan daya.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan tegangan berbeban lampu pijar 5 Watt.

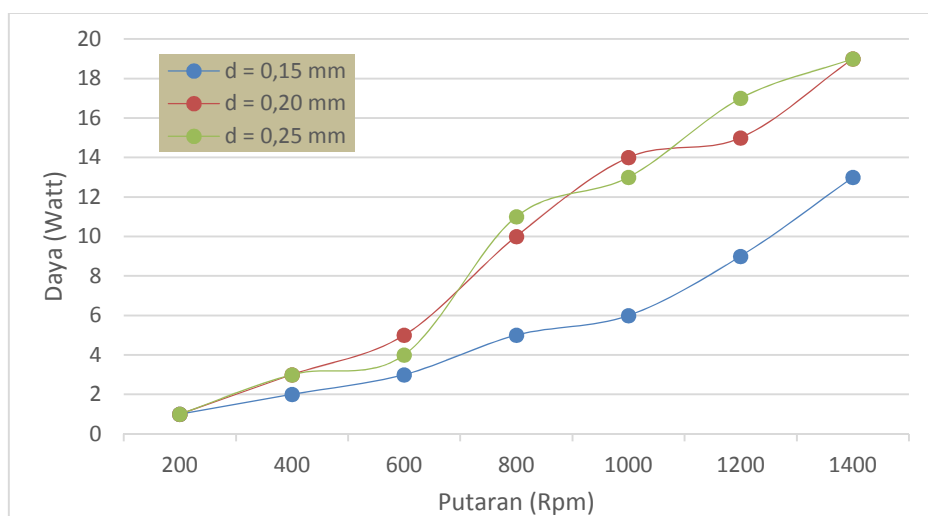
Tegangan yang dibangkitkan generator berbanding lurus terhadap putaran generator, dapat dilihat dari Gambar 4.5 semakin tinggi putaran generator maka semakin besar tegangan yang dibangkitkan. Dari hasil pengujian pada saat generator dibebani terjadi drop tegangan pada generator seperti terlihat pada Gambar 4.4 dimana saat dibebani terjadi penurunan tegangan keluaran pada tegangan *output* generator, hal ini dikarenakan adanya resistansi pada beban lampu pijar dan resistansi jangkar pada generator. Drop tegangan juga disebabkan

ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal pada generator.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan besar arus berbeban lampu pijar 5 Watt

Pada gambar 4.6 terlihat pengaruh diameter kawat terhadap kuat arus dari beban yang terhubung. Pada pengujian stator dengan diameter kawat yang besar menghasilkan arus yang besar dan pada diameter kawat yang kecil menghasilkan arus yang kecil pula, sesuai dengan analisa bahwa kawat dengan diameter kecil memiliki tahanan yang besar sehingga arus yang dihasilkan menjadi kecil.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan besar daya berbeban lampu pijar 5 Watt.

Gambar 4.7 menunjukkan besar daya yang dihasilkan generator, daya yang dihasilkan sebanding dengan besar putaran rotor atau kecepatan perubahan fluks pada rotor. Ketiga kawat memiliki pola kenaikan daya yang sama namun terjadi perbedaan besar daya yang dihasilkan, hal ini dikarenakan daya hantar kawat juga dipengaruhi oleh besar diameter kawat.

Dari data pengujian kemudian dihitung besar regulasi tegangan yang terjadi pada generator dengan variasi ukuran diameter kawat berbeda yang bertujuan mengetahui batasan drop tegangan yang terjadi pada generator. Perhitungan regulasi tegangan dilakukan menggunakan data pengujian beban nol dan data pengujian berbeban lampu pijar menggunakan Persamaan 2.9, berikut perhitungan regulasi tegangan pada pengujian dengan beban lampu pijar 5 Watt.

Pada putaran 200 rpm

- Untuk kawat 0,15 mm

$$\%VR = \frac{34,32 - 26,8}{26,8} \times 100\% = 28,05\%$$

Selanjutnya data hasil perhitungan regulasi tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan regulasi tegangan berbeban lampu pijar 5 Watt.

Putaran (Rpm)	Tegangan Beban Nol (V)			Tegangan Berbeban (V)			Regulasi Tegangan (%)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	34,32	34,55	34,63	26,8	30,11	33,35	28,06	14,75	3,84
400	68,87	69,05	69,43	54,2	62,41	67	27,07	10,64	3,63
600	113,68	113,98	115,6	91,5	94,98	111,6	24,24	20,00	3,58
800	135,78	135,58	135,57	114,76	125,3	131,2	18,32	8,20	3,33
1000	181,44	180,49	181,58	153,67	168,9	176,5	18,07	6,86	2,88
1200	216,65	217,79	217,65	187,8	205,7	213,4	15,36	5,88	1,99
1400	227,42	228,51	228,71	210,34	220,9	224,9	8,12	3,44	1,69

Regulasi tegangan menunjukkan pengaruh ukuran diameter kawat pada saat dibebani seperti terlihat pada Tabel 4.3. Ukuran diameter kawat yang kecil memiliki drop tegangan yang besar dibanding dengan ukuran diameter kawat yang besar. Nilai hambatan suatu penghantar tidak bergantung pada besar nilai

beda potensialnya, beda potensial hanya dapat mengubah kuat arus yang melalui kawat penghantar. Jika penghantar yang dilalui sangat panjang kuat arus pada kawat tersebut akan berkurang. Hal ini yang menyebabkan terjadi drop tegangan karena diperlukan energi yang besar untuk mengalirkan arus listrik pada kawat penghantar yang panjang.

4.2.2 Pengujian dengan beban 12 lampu pijar 5 Watt

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan generator maka digunakan variasi beban sebanyak 12 lampu pijar 5 Watt pada stator dengan diameter kawat 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm. Pengujian dilakukan pada putaran 1000 rpm dengan jumlah lilitan kawat yang sama yaitu 4000 lilitan.

Pengujian pada stator dengan diameter kawat 0,15 mm didapat data pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa semakin banyak jumlah lampu maka tegangan turun akibat penambahan pembebanan pada generator.

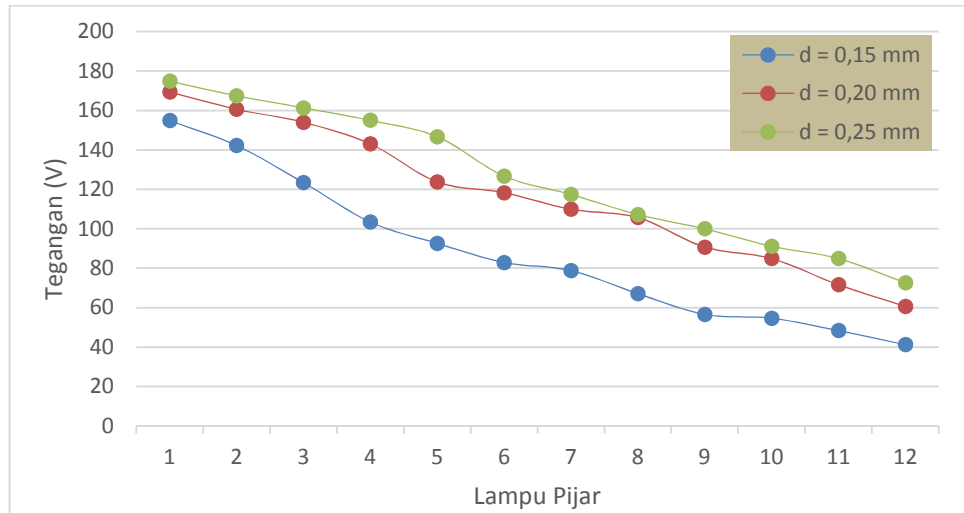
Tabel 4.4 Hasil pengujian berbeban 12 lampu pijar

Lampu	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
1	154,9	169,4	174,9	25	31	75	3,87	5,25	13,12
2	142,2	160,6	167,4	110	117	125	15,64	18,79	20,93
3	123,4	154	161,3	141	155	165	17,40	23,87	26,61
4	103,4	143	155	169	176	215	17,47	25,17	33,33
5	92,6	123,8	146,7	200	235	260	18,52	29,09	38,14
6	82,9	118,3	126,7	219	261	280	18,16	30,88	35,48
7	78,8	109,9	117,4	250	279	310	19,70	30,66	36,39
8	67,1	105,7	107,2	255	301	345	17,11	31,82	36,98
9	56,6	90,7	100	260	311	365	14,72	28,21	36,50
10	54,6	84,9	91,1	285	346	390	15,56	29,38	35,53
11	48,4	71,6	84,9	290	359	440	14,04	25,70	37,36
12	41,2	60,6	72,6	301	376	472	12,40	22,79	34,27

Pada pengujian beban maksimal dengan ukuran kawat diameter 0,25 mm yang digunakan pada kumparan stator diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.4 dimana terlihat kecenderungan yang sama dengan hasil pengujian pada diameter kawat 0,15 mm dan 0,20 mm yaitu tegangan mengalami penurunan ketika beban bertambah. Hal ini dikarenakan pengaruh dari kemampuan kawat yang berbeda dalam menghantarkan arus listrik. Untuk pengujian yang dilakukan

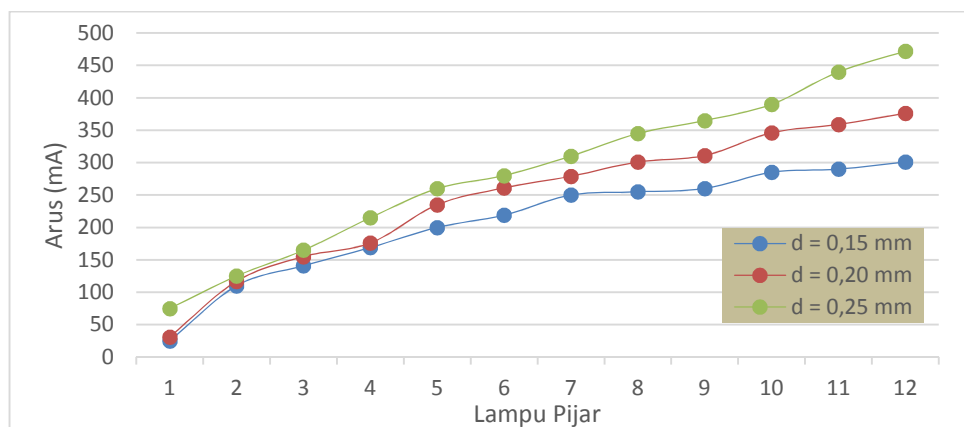
stator dengan diameter kawat yang lebih kecil mengalami drop tegangan yang besar.

Dari data hasil pengujian dapat dibuat grafik perbandingan antara jumlah lampu terhadap tegangan dan arus generator seperti Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan tegangan *output* pada variasi diameter kawat dibebani 12 lampu pijar.

Pada Gambar 4.8 terlihat perbandingan besar tegangan *output* pada kawat dengan diameter 0,15 mm, diameter 0,20 mm dan 0,25 mm saat dibebani 12 buah lampu pijar 5 watt, hal ini dikarenakan pengaruh dari ukuran diameter kawat yang menyebabkan jatuh tegangan pada saat generator dibebani. Pada kawat dengan diameter 0,15 mm terlihat jatuh tegangan yang besar dibanding kawat dengan diameter 0,20 dan 0,25 mm.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan besar arus pada variasi diameter kawat saat dibebani 12 lampu pijar 5 Watt.

Gambar 4.9 menjelaskan semakin banyak beban pada generator maka semakin besar arus yang mengalir pada beban dan arus jangkar yang mengalir pada generator menyebabkan timbulnya fluksi jangkar sehingga tegangan jatuh semakin besar dan sebagian fluks yang terjadi tidak berimbas pada jalur yang telah ditentukan atau disebut fluks bocor. Selain itu, kuat arus yang besar pada kawat stator akibat penambahan beban menyebabkan jatuh tegangan menjadi cukup besar.

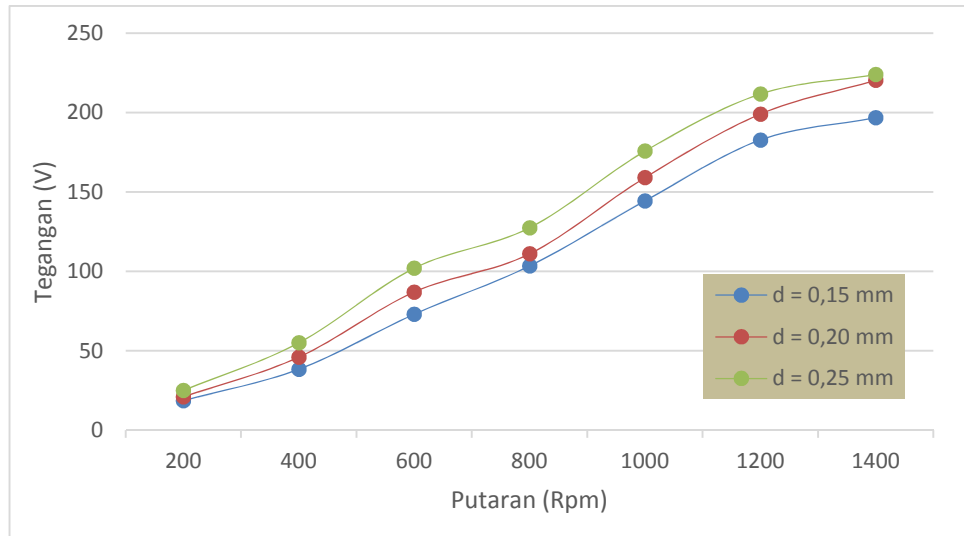
4.2.3 Pengujian dengan beban kipas angin 18 Watt

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan generator dengan menggunakan beban kipas angin pada stator dengan diameter kawat 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm. Pengujian dilakukan pada putaran 200 rpm hingga 1400 rpm dengan jumlah lilitan kawat yang sama yaitu 4000 lilitan. Hasil pengujian dengan menggunakan beban dari kipas angin 18 W untuk variasi diameter kawat dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian berbeban kipas angin dengan variasi diameter kawat.

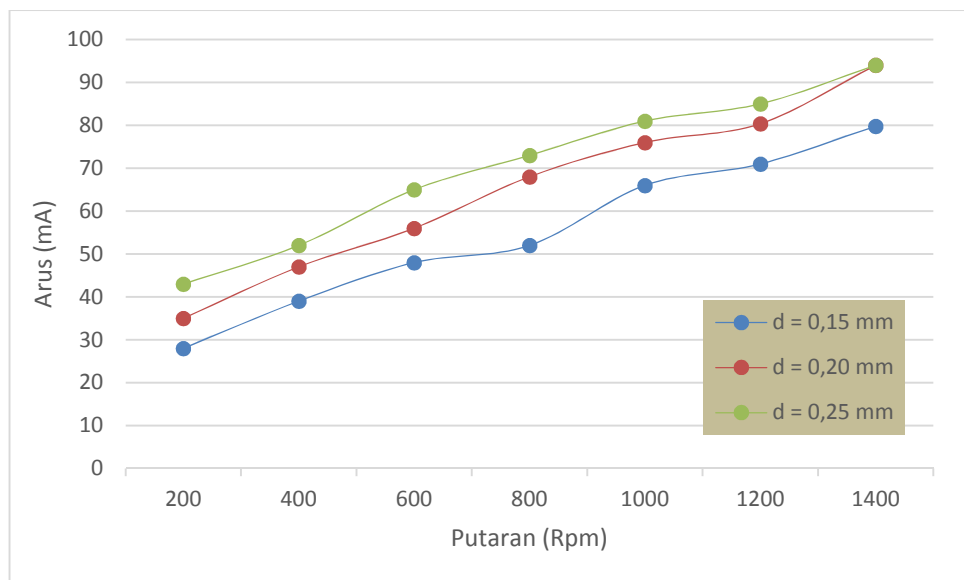
Putaran (Rpm)	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	18,6	21	25	28	35	43	1	1	1
400	38,4	46	55	39	47	52	2	3	3
600	73	87	102	48	56	65	4	4	4
800	103,4	111	127,4	52	68	73	5	6	6
1000	144,3	159	175,7	66	76	81	6	9	10
1200	182,7	199	211,6	71	80,4	85	7	12	12
1400	196,7	220,3	223,9	79,8	94	94	9	13	14

Dari data pengujian dapat dibuat hubungan antara putaran, tegangan, kuat arus dan daya. Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa kenaikan tegangan yang dihasilkan sebanding dengan kecepatan putaran rotor.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan putaran terhadap tegangan dengan variasi diameter kawat berbeban kipas angin 18 Watt.

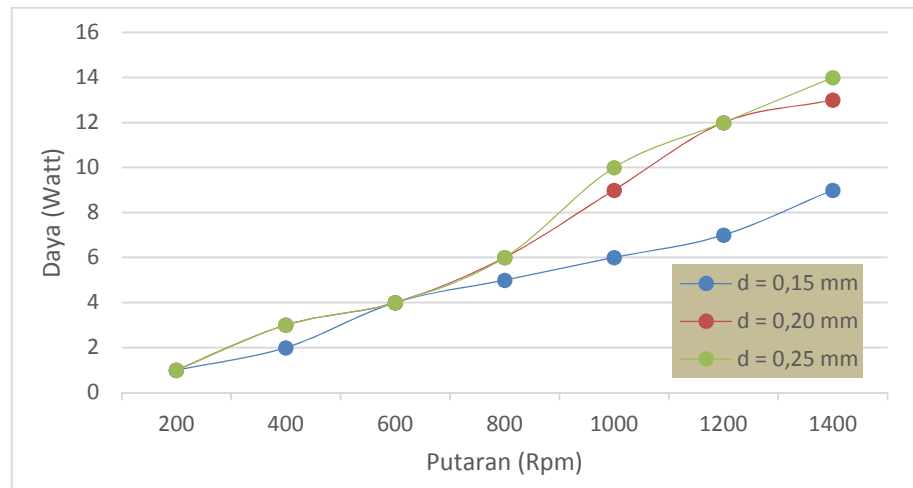
Pada Gambar 4.10 terlihat perbedaan cukup besar pada nilai tegangan, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh diameter kawat sangat besar pengaruhnya terhadap tegangan pada saat dibebani. Tegangan yang dibangkitkan sebanding dengan kecepatan putar generator, hal ini dikarenakan semakin cepat perubahan fluks terhadap waktu menyebabkan tegangan ikut bertambah besar.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan besar arus menggunakan stator dengan variasi diameter kawat berbeban kipas angin 18 Watt.

Pada Gambar 4.11 terlihat hubungan arus dan kecepatan pada saat terhubung di beban. Besar arus sebanding dengan besar kecepatan putar pada

rotor, namun terdapat perbedaan besar arus untuk diameter kawat 0,15 mm, diameter 0,20 mm dan 0,25 mm yang disebabkan oleh pengaruh ukuran diameter yang berbeda. Diameter kawat berpengaruh pada muatan arus yang dihantarkan pada beban. Pada kawat berdiameter kecil maka muatan arus yang dihantarkan juga kecil, sebaliknya pada diameter kawat yang besar muatan arus yang dihantarkan juga ikut besar.

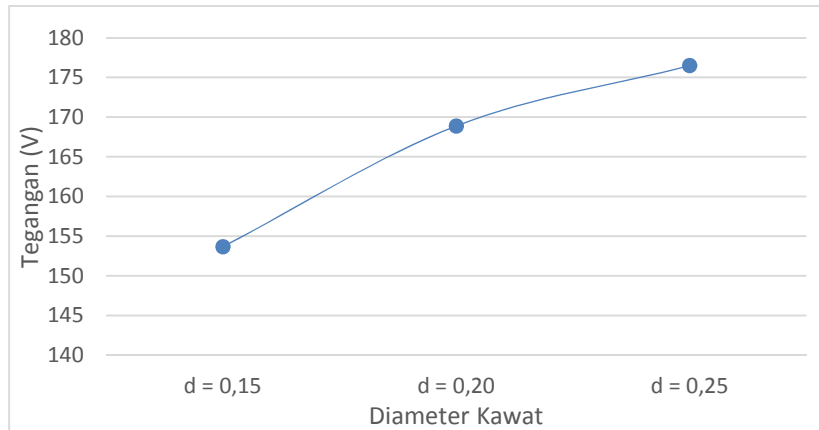


Gambar 4.12 Grafik perbandingan besar daya *output* menggunakan stator dengan variasi diameter berbeban kipas angin 18 Watt

Pada Gambar 4.12 terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh generator, hal ini juga dipengaruhi oleh diameter kawat yang digunakan pada stator. Stator dengan diameter kawat 0,15 mm memiliki tahanan yang lebih besar dan arus yang kecil dibanding stator dengan diameter 0,20 mm dan 0,25 mm, hal ini menyebabkan daya *output* yang dihasilkan lebih kecil dibanding kawat berdiameter lebih besar.

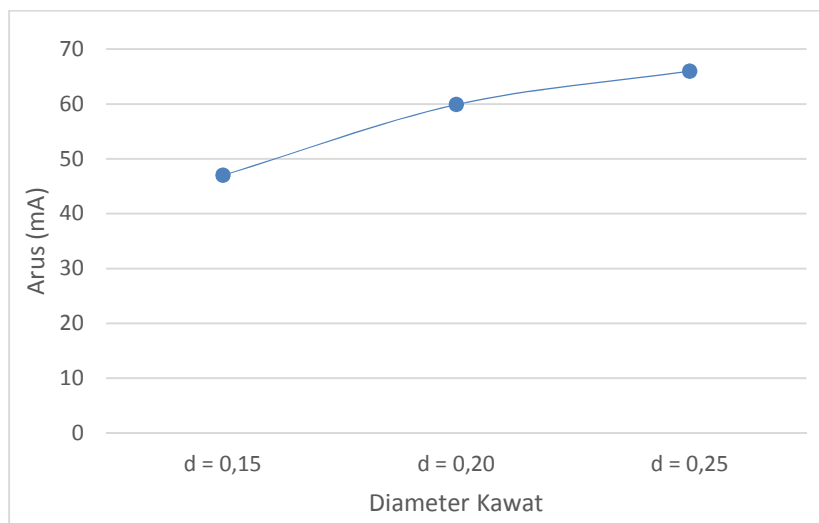
4.3 Pengaruh Diameter Kawat terhadap Karakteristik Generator

Variasi diameter kawat pada stator menunjukkan suatu karakteristik *output* generator dalam bentuk besar tegangan, kuat arus, dan daya yang dihasilkan. Data pengujian untuk menunjukan pengaruh diameter kawat terhadap karakteristik generator menggunakan Tabel 4.2 berbeban lampu pijar 5 Watt pada kecepatan 1000 Rpm. Gambar 4.13 menunjukkan pengaruh variasi diameter kawat terhadap tegangan yang dihasilkan generator.



Gambar 4.13 Karakteristik pengaruh diameter kawat terhadap tegangan.

Pada Gambar 4.13 ukuran diameter kawat pada stator mempengaruhi besar tegangan saat generator dibebani, ukuran diameter kawat yang lebih besar memiliki jatuh tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran diameter kawat yang lebih kecil karena luas penampang kawat berbanding terbalik dengan hambatan kawat.



Gambar 4.14 Karakteristik pengaruh diameter kawat terhadap arus.

Pada Gambar 4.14 ukuran diameter juga mempengaruhi besar kuat arus yang mengalir pada beban, ukuran diameter kawat yang besar memiliki kuat arus yang besar dibanding ukuran diameter kawat yang lebih kecil. Pada ukuran kawat berdiameter besar memiliki kuat arus yang besar dan hambatan yang kecil sedangkan pada ukuran kawat yang kecil memiliki hambatan yang besar dan kuat arus yang kecil.

4.4 Penentuan Parameter Generator Sinkron

Pada pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai tahanan jangkar dan (R_a) dan reaktansi sinkron (X_s). Untuk mendapatkan nilai (R_a) dilakukan pengujian dengan memberikan tegangan dc sebesar 10 volt ke kumparan stator sehingga didapat arus (I_{dc}) yang mengalir pada kumparan. Kemudian dilakukan pengujian hubung singkat pada ujung tegangan terminal generator melalui amperemeter untuk mendapatkan arus hubung singkat. Putaran rotor diatur sebesar 1000 rpm untuk mendapatkan frekuensi sebesar 50 Hz. Setelah dilakukan pengujian didapat data hasil pengujian seperti Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil hubung singkat kawat dengan Variasi Diameter Kawat

Vt (V)			Isc (mA)		
d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm	d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm
181,44	180,49	181,58	360	423	610

Tabel 4.7 Hasil Uji DC dengan Variasi Diameter Kawat

Vdc (V)			Idc (mA)		
d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm	d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm
10,02	10,1	10,02	28	34	51

Selanjutnya dari data hasil pengujian pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dilakukan perhitungan parameter generator yakni R_a dan X_s menggunakan Persamaan 2.2 dan 2.3 sebagai berikut:

- Untuk kawat d = 0,15 mm

$$R_a = \frac{10,02}{0,028} = 357,85 \Omega$$

$$E_a = V_t = 181,44 \text{ volt}$$

$$\sqrt{(357,85)^2 + X_s^2} = \frac{181,44}{0,36}$$

$$\sqrt{128.056,62 + X_s^2} = 504$$

$$128.056,62 + X_s^2 = 254.016$$

$$X_s^2 = 125.959,38$$

$$X_s = 354,90 \Omega$$

- Untuk kawat d = 0,20 mm

$$R_a = \frac{10,10}{0,034} = 297,05 \Omega$$

$$E_a = V_t = 180,49 \text{ volt}$$

$$\sqrt{(297,05)^2 + X_s^2} = \frac{180,49}{0,423}$$

$$\sqrt{88.238,7 + X_s^2} = 426,69$$

$$88.238,7 + X_s^2 = 182.064,4$$

$$X_s^2 = 93.825,65$$

$$X_s = 306,30 \Omega$$

- Untuk kawat $d = 0,25 \text{ mm}$

$$R_a = \frac{10,02}{0,051} \\ = 196,47 \, \Omega$$

$$E_a = V_t = 181,58 \text{ volt}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{(196,47)^2 + X_s^2} &= \frac{181,58}{0,61} \\ \sqrt{38.600,46 + X_s^2} &= 297,67 \\ 38.600,46 + X_s^2 &= 88.607,42 \\ X_s^2 &= 50.006,96 \\ X_s &= 223,62 \, \Omega \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan kawat dengan diameter 0,15 mm memiliki tahanan jangkar yang besar dibandingkan kawat diameter 0,20 mm dan 0,25 mm. Besarnya nilai tahanan jangkar dan reaktansi sinkron pada generator dapat mempengaruhi besar tegangan, arus dan daya yang dibangkitkan generator seperti hasil percobaan yang telah dilakukan.

4.5 Perhitungan Frekuensi Generator

Perhitungan frekuensi generator dilakukan untuk kemudian digunakan untuk perhitungan tegangan *output* generator menggunakan Persamaan 2.1. Perhitungan frekuensi rotor adalah sebagai berikut.

Perhitungan frekuensi pada putaran 200 rpm :

$$f = \frac{2 \times 6}{1} \\ = 10 \text{ Hz}$$

Dari perhitungan frekuensi maka didapat data frekuensi tiap variasi putaran seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan frekuensi

Putaran (RPM)	Frekuensi (Hertz)
200	10
400	20
600	30
800	40
1000	50
1200	60
1400	70

Perhitungan frekuensi generator untuk putaran 400 rpm sampai 1400 rpm dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil dari Tabel 4.8 frekuensi ditentukan oleh besar putaran pada generator, semakin tinggi putaran generator maka semakin besar frekuensi yang dihasilkan.

4.6 Perhitungan tegangan keluaran generator

Perhitungan tegangan keluaran generator bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dan membandingkan dengan data hasil pengukuran. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 2.4, Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8.

Perhitungan tegangan generator dengan diameter kawat 0,15 mm adalah:

$$B_{\max} = 1,2 \times \frac{0,0}{0,0 + 0,0} = 0,9 \text{ T}$$

Luasan magnet :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{magn}} &= \frac{3,1 (0,0^2 - 0,0^2) - 0,0 (0,0 - 0,0)}{6} \\
 &= 3,216 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 \emptyset_{\max} &= 3,216 \times 10^{-4} \times 0,9 \\
 &= 2,8 \times 10^{-4} \text{ Wb}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan *output* pada putaran 200 rpm yaitu:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{rms}} &= 4,44 \times 4000 \times 10 \times 1 \times 0,984 \times 2,8 \times 10^{-4} \\
 &= 48,93 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan tegangan *output* pada putaran 400 sampai dengan 1400 dan untuk perhitungan dengan kawat 0,20 dan 0,25 mm dapat dilihat pada

Lampiran 3. Setelah dilakukan perhitungan didapat hasil perhitungan tegangan keluaran generator fluks radial satu fasa seperti terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan tegangan keluaran generator fluks radial satu fasa

Putaran (Rpm)	Tegangan Perhitungan (V)			Tegangan Beban Nol (V)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	48,93	48,93	48,93	34,32	34,55	34,63
400	97,86	97,86	97,86	68,87	69,05	69,43
600	146,79	146,79	146,79	113,68	113,98	115,6
800	195,72	195,72	195,72	135,78	135,58	135,57
1000	244,66	244,66	244,66	181,44	180,49	181,58
1200	293,59	293,59	293,59	216,65	217,79	217,65
1400	342,52	342,52	342,52	227,42	228,51	228,71

Nilai tegangan hasil perhitungan dan pengukuran pada Tabel 4.9 mempunyai perbedaan dimana hal ini disebabkan oleh rugi-rugi celah udara dan faktor mekanik dalam perakitan generator fluks radial yang dibuat. Kepresisian dalam pemasangan celah udara antara stator dan rotor juga mempengaruhi tegangan yang dibangkitkan pada generator.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial beban nol didapat data tegangan terbesar pada stator dengan diameter kawat 0,15 mm mendapatkan tegangan *output* 227,42 Volt sedangkan pada stator dengan diameter kawat 0,25 mm sebesar 228,71 Volt pada putaran 1400 rpm.
2. Pada pengujian berbeban kawat dengan diameter 0,15 mm memiliki besar tegangan, arus dan daya lebih kecil dibandingkan dengan kawat dengan diameter 0,25 mm.
3. Besar regulasi tegangan generator fluks radial satu fasa terbesar pada beban kipas angin 18 Watt untuk stator dengan diameter kawat 0,15 mm sebesar 84,51% pada putara dan pada stator dengan diameter kawat 0,25 mm sebesar 38,52%.
4. Kawat dengan diameter 0,25 mm memiliki tegangan terbesar yaitu 228,71 V pada saat beban nol, arus sebesar 610 mA pada saat hubung singkat dan daya terbesar saat dibebani 12 lampu pijar.

5.2 Saran

1. Pengujian dilakukan dengan magnet (rotor) baru.
2. Akurasi dan presisi dalam perakitan rumahan stator harus lebih teliti.
3. Dudukan penahan stator harus kuat terhadap getaran pada saat rotor berputar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fifi Hesty Sholihah dan Joke Pratilastiarso. 2010. *Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Surabaya : ITS.
- [2] Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Aziz Ardiyatmoko. 2012. *Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)* . Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] Pudji Irasari, Muhammad Kasim, Fitriana. *Optimasi Kemiringan Magnet Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Fluks Radial*. Bandung : LIPI.
- [4] Pudji Irasari, Hilman Syaeful Alam, Muhammad Kasim. 2012. *Simulasi dan Analisis Magnetik Generator Magnet Permanen Fluks Radial Menggunakan Metoda Elemen Hingga*. Bandung : LIPI.
- [5] Santiago J dan Bernhoff H. 2010. *Comparison Between Axial And Radial Flux PM Coreless Machines For Flywheel Energy Storage* . Sweden : Division For Electricity.
- [6] Zuhail. 1998. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- [7] Sudirham, Sudaryatno. 2012. *Analisis Rangkaian Listrik*. Bandung : Kanayakan D-30.
- [8] Surya Dharma. 2006. *Induksi Elektromagnetik*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [9] Stephen J, Chapman. 2005. *Electric Machinery Fundamentals*. New York : The Mc Graw Hill Companies.

- [10] Gancoli Douglas C. 2001. *Fisika 2*. Jakarta : Erlangga.
- [11] Muslim, H. Soepari. 2008. *Teknik Pembangkitan Listrik, Jilid 1*. Departemen Pendidikan Nasional.
- [12] Heri Ardiansyah, Dedet Candra Riawan, Sjamsjul Anam. 2012. *Studi Regulasi Tegangan Output Generator Induksi dengan Voltage Source Inverter*. Surabaya : ITS.

Lampiran

Lampiran 1. Dokumentasi Foto



Gambar 1. Stator generator fluks radial satu fasa diameter kawat 0,15 mm



Gambar 2. Stator generator fluks radial satu fasa diameter kawat 0,25 mm

Lampiran 1. Dokumentasi Foto



Gambar 3. Rotor generator fluks radial satu fasa



Gambar 4. Generator fluks radial satu fasa

Lampiran 1. Dokumentasi Foto



Gambar 5. Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial satu beban nol



Gambar 6. Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial berbeban 1 lampu pijar 5 watt.

Lampiran 1. Dokumentasi Foto



Gambar 7. Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial berbeban kipas angin 18 watt.



Gambar 8. Pengujian tegangan keluaran generator fluks radial satu fasa berbeban 12 lampu pijar 5 watt

Lampiran 2. Hasil Pengujian

Tabel Hasil pengujian tegangan *output* generator fluks radial satu fasa beban Nol

Putaran (Rpm)	Tegangan (V)		
	d = 0,15 mm	d = 0,20 mm	d = 0,25 mm
200	34,32	34,55	34,63
400	68,87	69,05	69,43
600	113,68	113,98	115,6
800	135,78	135,58	135,57
1000	181,44	180,49	181,58
1200	216,65	217,79	217,65
1400	227,42	228,51	228,71

Tabel hasil pengujian berbeban 1 lampu pijar 5 Watt

Putaran (Rpm)	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	26,8	30,11	33,35	27	29	32	1	1	1
400	54,2	62,41	67	31	34	41	2	3	3
600	91,5	94,98	111,6	37	44	53	3	5	4
800	114,76	125,3	131,2	40	51	61	5	10	11
1000	153,67	168,9	176,5	47	59,9	66	6	14	13
1200	187,8	199,6	213,4	51	65	71	9	15	17
1400	210,34	220,9	224,9	58	69	74	13	19	19

Tabel Perhitungan regulasi tegangan berbeban lampu pijar 5 Watt.

Putaran (Rpm)	Tegangan Beban Nol (V)			Tegangan Berbeban (V)			Regulasi Tegangan (%)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	34,32	34,55	34,63	26,8	30,11	33,35	28,06	14,75	3,84
400	68,87	69,05	69,43	54,2	62,41	67	27,07	10,64	3,63
600	113,68	113,98	115,6	91,5	94,98	111,6	24,24	20,00	3,58
800	135,78	135,58	135,57	114,76	125,3	131,2	18,32	8,20	3,33
1000	181,44	180,49	181,58	153,67	168,9	176,5	18,07	6,86	2,88
1200	216,65	217,79	217,65	187,8	205,7	213,4	15,36	5,88	1,99
1400	227,42	228,51	228,71	210,34	220,9	224,9	8,12	3,44	1,69

Lampiran 2. Hasil Pengujian

Tabel Hasil pengujian berbeban 12 lampu pijar dengan variasi diameter kawat.

Lampu	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
1	154,9	169,4	174,9	25	31	75	3,87	5,25	13,12
2	142,2	160,6	167,4	110	117	125	15,64	18,79	20,93
3	123,4	154	161,3	141	155	165	17,40	23,87	26,61
4	103,4	143	155	169	176	215	17,47	25,17	33,33
5	92,6	123,8	146,7	200	235	260	18,52	29,09	38,14
6	82,9	118,3	126,7	219	261	280	18,16	30,88	35,48
7	78,8	109,9	117,4	250	279	310	19,70	30,66	36,39
8	67,1	105,7	107,2	255	301	345	17,11	31,82	36,98
9	56,6	90,7	100	260	311	365	14,72	28,21	36,50
10	54,6	84,9	91,1	285	346	390	15,56	29,38	35,53
11	48,4	71,6	84,9	290	359	440	14,04	25,70	37,36
12	41,2	60,6	72,6	301	376	472	12,40	22,79	34,27

Tabel Hasil pengujian berbeban kipas angin dengan diameter kawat 0,15 mm dan 0,25 mm.

Putaran (Rpm)	Tegangan (V)			Arus (mA)			Daya (Watt)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	18,6	21	25	28	35	43	1	1	1
400	38,4	46	55	39	47	52	2	3	3
600	73	87	102	48	56	65	4	4	4
800	103,4	111	127,4	52	68	73	5	6	6
1000	144,3	159	175,7	66	76	81	6	9	10
1200	182,7	199	211,6	71	80,4	85	7	12	12
1400	196,7	220,3	223,9	79,8	94	94	9	13	14

Tabel Hasil Uji Dc dengan variasi diameter kawat stator

Vdc (V)			Idc (mA)		
d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
10,02	10,1	10,02	28	34	51

Tabel Hasil Hubung singkat dengan variasi diameter kawat stator

Vt (V)			Isc (mA)		
d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
181,44	180,49	181,58	360	423	610

Lampiran 2. Hasil Pengujian

Tabel Hasil perhitungan frekuensi

Putaran (RPM)	Frekuensi (Hertz)
200	10
400	20
600	30
800	40
1000	50
1200	60
1400	70

Tabel perbandingan hasil perhitungan dan pengujian beban nol generator fluks radial satu fasa

Putaran (Rpm)	Tegangan Perhitungan (V)			Tegangan Beban Nol (V)		
	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25	d = 0,15	d = 0,20	d = 0,25
200	48,93	48,93	48,93	34,32	34,55	34,63
400	97,86	97,86	97,86	68,87	69,05	69,43
600	146,79	146,79	146,79	113,68	113,98	115,6
800	195,72	195,72	195,72	135,78	135,58	135,57
1000	244,66	244,66	244,66	181,44	180,49	181,58
1200	293,59	293,59	293,59	216,65	217,79	217,65
1400	342,52	342,52	342,52	227,42	228,51	228,71

Tabel Pengujian tegangan *output* generator fluks radial satu fasa tanpa beban dengan diameter kawat 0,15 mm (11000 lilitan)

Putaran (RPM)	Tegangan <i>Output</i> kawat d = 0,15 mm (V)
200	134
400	258
600	360
800	457
1000	560
1200	648
1400	728

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

A. Perhitungan Frekuensi Generator Fluks Radial Satu Fasa :

1. Putaran 200 rpm

$$f = \frac{2 \times 6}{1}$$
$$= 10 \text{ Hz}$$

2. Putaran 400 rpm

$$f = \frac{4 \times 6}{1}$$
$$= 20 \text{ Hz}$$

3. Putaran 600 rpm

$$f = \frac{6 \times 6}{1}$$
$$= 30 \text{ Hz}$$

4. Putaran 800 rpm

$$f = \frac{8 \times 6}{1}$$
$$= 40 \text{ Hz}$$

5. Putaran 1000 rpm

$$f = \frac{1 \times 6}{1}$$
$$= 50 \text{ Hz}$$

6. Putaran 1200 rpm

$$f = \frac{1 \times 6}{1}$$
$$= 60 \text{ Hz}$$

7. Putaran 1400 rpm

$$f = \frac{1 \times 6}{1}$$
$$= 70 \text{ Hz}$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

B. Perhitungan Tegangan Output Generator Fluks Radial Satu Fasa :

$$B_{\max} = 1,2 \times \frac{0,0}{0,0 + 0,0} = 0,9 \text{ T}$$

Luasan magnet :

$$\begin{aligned} A_{\text{magn}} &= \frac{3,1 (0,0^2 - 0,0^2) - 0,0 (0,0 - 0,0)}{6} \\ &= 3,216 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \Phi_{\max} &= 3,216 \times 10^{-4} \times 0,9 \\ &= 2,8 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,15 mm, 0,20 mm dan 0,25 mm

1. Pada putaran 200 rpm

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \\ &= 4,44 \times 4000 \times 10 \times 0,028 \times 10^{-4} \\ &= 49,728 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2. Pada putaran 400 rpm

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \\ &= 4,44 \times 4000 \times 20 \times 0,028 \times 10^{-4} \\ &= 99,456 \text{ Volt} \end{aligned}$$

3. Pada putaran 600 rpm

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \\ &= 4,44 \times 4000 \times 30 \times 0,028 \times 10^{-4} \\ &= 149,184 \text{ Volt} \end{aligned}$$

4. Pada putaran 800 rpm

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \\ &= 4,44 \times 4000 \times 40 \times 0,028 \times 10^{-4} \\ &= 198,912 \text{ Volt} \end{aligned}$$

5. Pada putaran 1000 rpm

$$\begin{aligned} E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \Phi_{\max} \\ &= 4,44 \times 4000 \times 50 \times 0,028 \times 10^{-4} \\ &= 248,64 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

6. Pada putaran 1200 rpm

$$\begin{aligned}E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \varnothing_{\text{max}} \\&= 4,44 \times 4000 \times 60 \times 0.028 \times 10^{-4} \\&= 298,368 \text{ Volt}\end{aligned}$$

7. Pada putaran 1200 rpm

$$\begin{aligned}E_{\text{rms}} &= 4,44 \times N \times f \times \varnothing_{\text{max}} \\&= 4,44 \times 4000 \times 70 \times 0.028 \times 10^{-4} \\&= 348,096 \text{ Volt}\end{aligned}$$

C. Perhitungan daya aktif pada pengujian dengan beban lampu pijar.

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,15 mm

1. Pada putaran 200 rpm

$$\begin{aligned}P &= 26,8 \times 0,027 \\&= 0,72 \text{ Watt}\end{aligned}$$

2. Pada putaran 400 rpm

$$\begin{aligned}P &= 54,2 \times 0,031 \\&= 1,68 \text{ Watt}\end{aligned}$$

3. Pada putaran 600 rpm

$$\begin{aligned}P &= 91,5 \times 0,037 \\&= 3,38 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4. Pada putaran 800 rpm

$$\begin{aligned}P &= 114,76 \times 0,04 \\&= 4,59 \text{ Watt}\end{aligned}$$

5. Pada putaran 1000 rpm

$$\begin{aligned}P &= 153,67 \times 0,047 \\&= 7,22 \text{ Watt}\end{aligned}$$

6. Pada putaran 1200 rpm

$$\begin{aligned}P &= 187,8 \times 0,051 \\&= 9,57 \text{ Watt}\end{aligned}$$

7. Pada putaran 1400 rpm

$$\begin{aligned}P &= 210,4 \times 0,058 \\&= 12,19 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,20 mm

1. Pada putaran 200 rpm

$$\begin{aligned} P &= 30,11 \times 0,029 \\ &= 0,87 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2. Pada putaran 400 rpm

$$\begin{aligned} P &= 62,41 \times 0,034 \\ &= 2,12 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3. Pada putaran 600 rpm

$$\begin{aligned} P &= 94,98 \times 0,044 \\ &= 4,17 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4. Pada putaran 800 rpm

$$\begin{aligned} P &= 125,3 \times 0,051 \\ &= 6,3 \text{ Watt} \end{aligned}$$

5. Pada putaran 1000 rpm

$$\begin{aligned} P &= 168,9 \times 0,059 \\ &= 10,11 \text{ Watt} \end{aligned}$$

6. Pada putaran 1200 rpm

$$\begin{aligned} P &= 199,6 \times 0,065 \\ &= 12,96 \text{ Watt} \end{aligned}$$

7. Pada putaran 1400 rpm

$$\begin{aligned} P &= 220,9 \times 0,069 \\ &= 15,24 \text{ Watt} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,25 mm

1. Pada putaran 200 rpm

$$\begin{aligned} P &= 33,35 \times 0,032 \\ &= 1,06 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2. Pada putaran 400 rpm

$$\begin{aligned} P &= 67 \times 0,041 \\ &= 2,7 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

3. Pada putaran 600 rpm

$$\begin{aligned}P &= 111,6 \times 0,053 \\&= 5,91 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4. Pada putaran 800 rpm

$$\begin{aligned}P &= 131,2 \times 0,061 \\&= 8,0032 \text{ Watt}\end{aligned}$$

5. Pada putaran 1000 rpm

$$\begin{aligned}P &= 176,5 \times 0,066 \\&= 11,64 \text{ Watt}\end{aligned}$$

6. Pada putaran 1200 rpm

$$\begin{aligned}P &= 213,4 \times 0,071 \\&= 15,15 \text{ Watt}\end{aligned}$$

7. Pada putaran 1400 rpm

$$\begin{aligned}P &= 224,9 \times 0,074 \\&= 16,64 \text{ Watt}\end{aligned}$$

D. Perhitungan Regulasi Tegangan

1. Pada beban lampu pijar.

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,15 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,32 - 26,8}{26,8} \times 100\% = 28,05\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{68,87 - 54,2}{54,2} \times 100\% = 27,06\%$$

-

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{113,68 - 91,5}{91,5} \times 100\% = 24,24\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,78 - 114,76}{114,76} \times 100\% = 18,31\%$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{181,44 - 153,67}{153,67} \times 100\% = 18,07\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{216,65 - 187,8}{187,8} \times 100\% = 15,36\%$$

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{227,42 - 210,34}{210,34} \times 100\% = 8,12\%$$

- Perhitungan tegangan output kawat 0,20 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,55 - 33,35}{33,35} \times 100\% = 14,75\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{69,05 - 62}{62} \times 100\% = 10,64\%$$

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{113,9 - 94,98}{94,98} \times 100\% = 20\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,58 - 125,3}{125,3} \times 100\% = 8,20\%$$

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{180,49 - 168,9}{168,9} \times 100\% = 6,86\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{217,79 - 205,7}{205,7} \times 100\% = 5,88\%$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{228,51 - 220,9}{220,9} \times 100\% = 3,44\%$$

- Perhitungan tegangan output kawat 0,25 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,63 - 33,35}{33,35} \times 100\% = 3,83\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{69,43 - 67}{67} \times 100\% = 3,62\%$$

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{115,6 - 111,6}{111,6} \times 100\% = 3,58\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,57 - 131,2}{131,2} \times 100\% = 3,30\%$$

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{181,5 - 176,5}{176,5} \times 100\% = 2,87\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{217,65 - 213,4}{213,4} \times 100\% = 1,99\%$$

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{228,71 - 224,9}{224,9} \times 100\% = 1,69\%$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

2. Pada beban kipas angin.

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,15 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,32 - 25}{25} \times 100\% = 38,52\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{68,87 - 55}{55} \times 100\% = 26,23\%$$

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{113,68 - 102}{102} \times 100\% = 13,33\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,78 - 127,4}{127,4} \times 100\% = 6,41\%$$

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{181,44 - 175,7}{175,7} \times 100\% = 3,34\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{216,65 - 211,6}{211,6} \times 100\% = 2,85\%$$

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{227,42 - 223,9}{223,9} \times 100\% = 2,14\%$$

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,25 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,63 - 25}{25} \times 100\% = 38,52\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{69,43 - 55}{55} \times 100\% = 26,23\%$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{115,6 - 102}{102} \times 100\% = 13,33\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,57 - 127,4}{127,4} \times 100\% = 6,41\%$$

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{181,58 - 175,7}{175,7} \times 100\% = 3,34\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{217,65 - 211,6}{211,6} \times 100\% = 2,89\%$$

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{228,71 - 223,9}{223,9} \times 100\% = 2,14\%$$

➤ Perhitungan tegangan output kawat 0,25 mm

- Pada putaran 200 rpm

$$\%VR = \frac{34,63 - 25}{25} \times 100\% = 38,52\%$$

- Pada putaran 400 rpm

$$\%VR = \frac{69,43 - 55}{55} \times 100\% = 26,23\%$$

- Pada putaran 600 rpm

$$\%VR = \frac{115,6 - 102}{102} \times 100\% = 13,33\%$$

- Pada putaran 800 rpm

$$\%VR = \frac{135,57 - 127,4}{127,4} \times 100\% = 6,41\%$$

Lampiran 3. Analisa dan Perhitungan

- Pada putaran 1000 rpm

$$\%VR = \frac{181,58 - 175,7}{175,7} \times 100\% = 3,34\%$$

- Pada putaran 1200 rpm

$$\%VR = \frac{217,65 - 211,6}{211,6} \times 100\% = 2,89\%$$

- Pada putaran 1400 rpm

$$\%VR = \frac{228,71 - 223,9}{223,9} \times 100\% = 2,14\%$$