

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian perlu dilakukan setelah beban dan modul ELC selesai dirancang. Pengujian yang dilakukan menjadi beberapa tahapan, yaitu pengujian pembebanan generator dengan beban utama (*main load*), pengujian rangkaian *power line clock*, serta pengujian pembebanan generator dengan ELC untuk beban komplemen yang bersifat resistif.

5.1 Pengujian Pembebanan Generator Sinkron Dengan Beban Utama

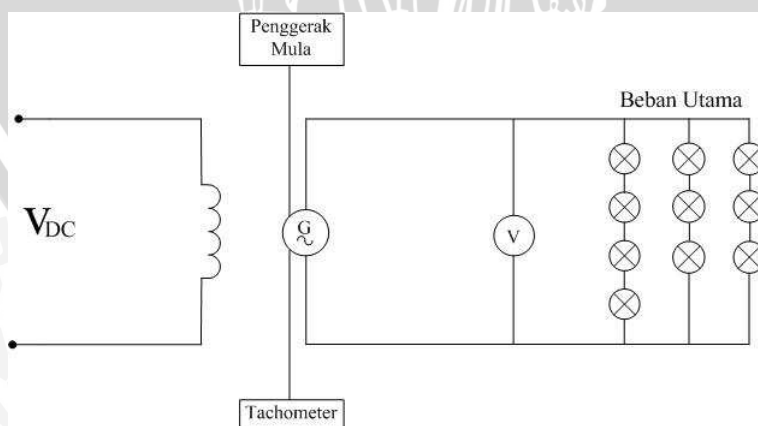
Pengujian pembebanan generator sinkron tanpa ELC bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban utama terhadap putaran dan tegangan generator. Ini menggambarkan kondisi PLTMH yang belum menggunakan ELC. Ada dua macam pengujian, yaitu pembebanan generator dengan beban resistif berupa lampu yang dayanya dinaikkan dari nol hingga 1000 W serta diturunkan dari 1000 W hingga tanpa beban.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Generator sinkron 1 fasa merek Hupeh 2 kW
2. Lampu pijar 100 W (sebanyak 10 buah dirangkai paralel)
3. *Voltage Regulator* DC merek Protek
4. *Tachometer* merek FUJIKOGYO tipe 024276
5. Voltmeter merek KAISE model SK5000B

Prosedur pengujian generator sinkron tanpa ELC sebagai berikut:

1. Menghubungkan peralatan-peralatan ditunjukkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Diagram blok rangkaian pengujian pembebanan generator sinkron dengan beban utama

2. Menambah putaran generator hingga putaran nominalnya (1500 rpm)

3. Menaikkan tegangan penguatan medan hingga tegangan keluaran generator mencapai 220 V
4. Menyalakan lampu satu demi satu dengan kenaikan daya sebesar 100 W hingga daya totalnya 1000 W
5. Mencatat penurunan tegangan dan putaran generator
6. Setelah selesai, maka tegangan penguatan medan hingga keluaran generator kembali ke 220 V
7. Menambah putaran generator hingga kembali ke 1500 rpm
8. Mematikan lampu satu demi satu dengan penurunan daya sebesar 100 W hingga semua lampu mati
9. Mencatat kenaikan tegangan dan putaran generator.

Data hasil pengujian generator sinkron tanpa ELC sebagai berikut:

1. Dengan kondisi awal tegangan generator 220 V, putaran generator 1500 rpm, tegangan penguatan medan 29 V, daya beban utama 0 W, maka pengaruh kenaikan daya beban utama tiap 100 W ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pengaruh kenaikan daya beban utama

Daya Beban Utama	Tegangan generator	Putaran Generator
(W)	(V)	(rpm)
0	220	1520
100	218	1480
200	215	1505
300	210	1450
400	205	1450
500	200	1420
600	195	1400
700	190	1430
800	185	1400
900	180	1390
1000	175	1450

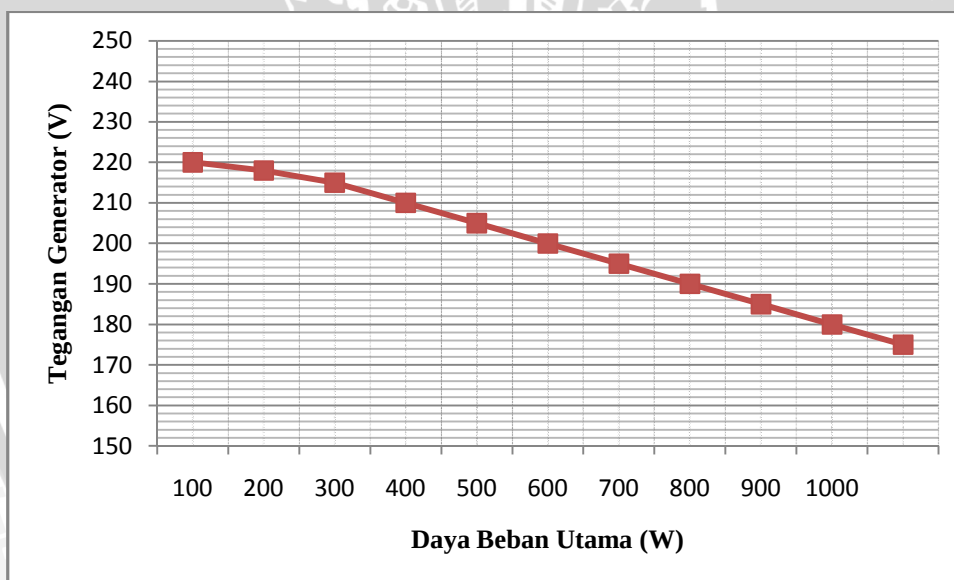
2. Dengan kondisi awal tegangan generator 220 V, putaran generator 1500 rpm, tegangan penguatan medan 29 V, daya beban utama 1000 W, maka pengaruh kenaikan daya beban utama tiap 100 W ditunjukkan Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Pengaruh penurunan daya beban utama

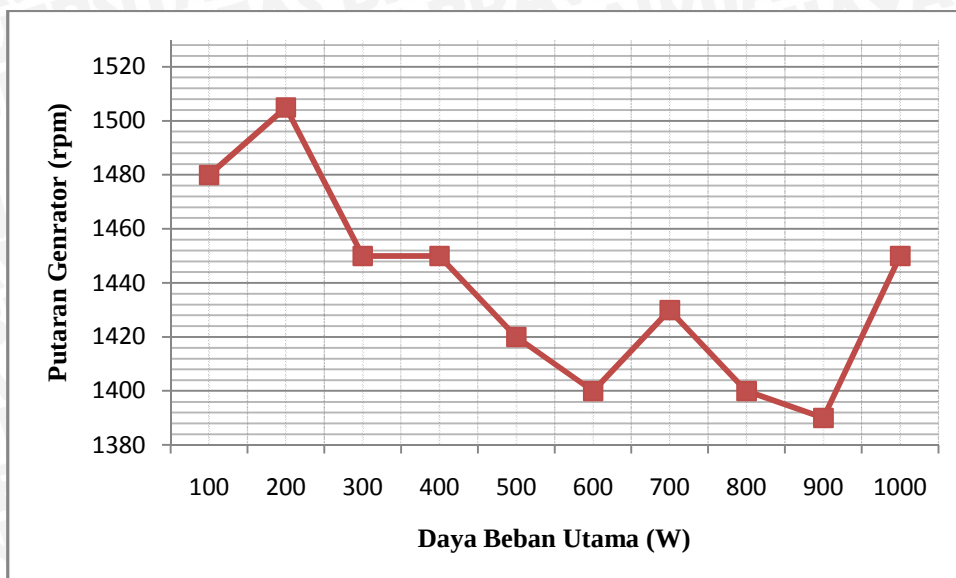
Daya Beban Utama (W)	Tegangan generator (V)	Putaran Generator (rpm)
1000	220	1500
900	225	1520
800	229	1531
700	230	1541
600	235	1530
500	240	1540
400	245	1520
300	250	1537
200	251	1540
100	255	1560
0	260	1589

Berdasarkan data hasil pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kenaikan daya beban utama sebesar 100 W menyebabkan penurunan tegangan generator dengan nilai maksimal sebesar V dan penurunan putaran generator maksimal sebesar rpm.

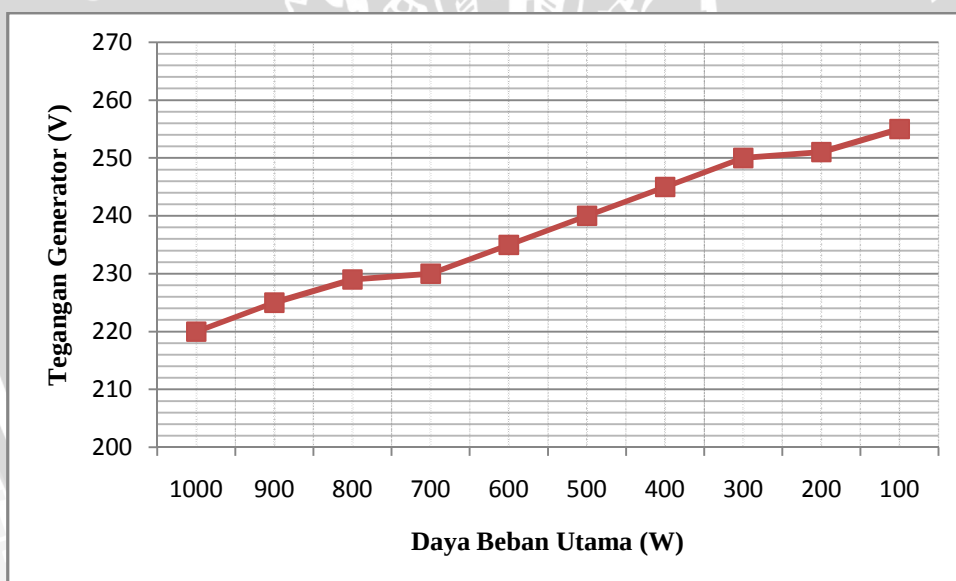


Gambar 5.2 Grafik pengaruh kenaikan daya beban utama terhadap tegangan generator

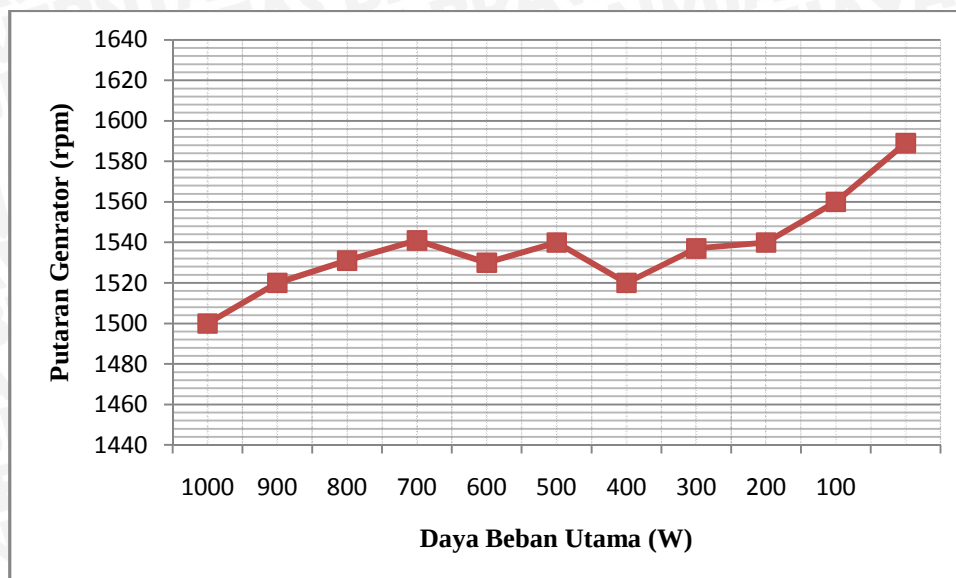


Gambar 5.3 Grafik pengaruh kenaikan daya beban utama terhadap putaran generator

2. Penurunan daya beban utama sebesar 100 W menyebabkan kenaikan tegangan generator dengan nilai maksimal sebesar V dan kenaikan putaran generator maksimal sebesar rpm.



Gambar 5.4 Grafik pengaruh penurunan daya beban utama terhadap tegangan generator



Gambar 5.5 Grafik pengaruh penurunan daya beban utama terhadap putaran generator

5.2 Pengujian Rangkaian Power Line Clock

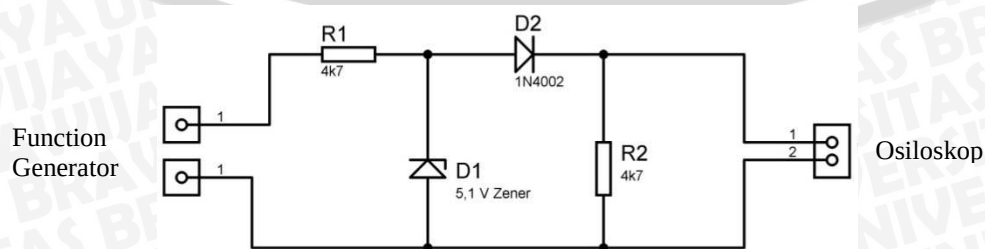
Tujuan pengujian rangkaian power line clock adalah untuk mendeteksi frekuensi beban yang digunakan mikrokontroler untuk mengetahui nilai frekuensi saai itu.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. *Function Generator*
2. *Oscilloscope* Tektronik TD-2002

Dalam pengujian blok rangkaian *power line clock* pendeteksi frekuensi beban untuk pemicuan TRIAC, prosedur pengujiannya adalah:

1. Membuat rangkain seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.6.
2. Menghubungkan keluaran *function generator* ke input rangkaian *power line clock*.
3. Menghubungkan *probe 1 oscilloscope* ke terminal keluaran rangkaian *power line clock* dan ground.
4. Atur frekuensi keluaran function generator hingga nilai frekuensi mulai 20 - 70 Hz.



Gambar 5.6 Pengujian rangkaian *power line clock*

Data hasil pengujian rangkaian *power line clock* untuk frekuensi beban utama sebagai berikut:

1. Tegangan dalam keluaran rangkaian *power line clock* ditunjukkan Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Keluaran pengujian rangkaian *power line clock*

Tegangan Input (V)	Frekuensi Input (Hz)	Tegangan Output (V)	Frekuensi Output (Hz)
1,76	20,58	1,76	20,58
1,76	30,01	1,76	30,01
1,76	40,13	1,76	40,13
1,76	50,20	1,76	50,20
1,76	60,24	1,76	60,24
1,76	70,03	1,76	70,03

2. Contoh bentuk sinyal keluaran rangkaian *power line clock* sebagai masukan mikrokontroler ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Bentuk keluaran sensor saat frekuensi 50 Hz

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan dan frekuensi keluaran rangkaian *power line clock* mengikuti bentuk gelombang dan frekuensi masukannya. Frekuensi keluaran rangkaian *power line clock* dengan nilai yang dimasukkan 20 Hz sampai 70 Hz ini dapat dijadikan masukan mikrokontroler sebagai representasi nilai frekuensi yang ada di beban utama. Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa perubahan frekuensi keluaran rangkaian dapat mengikuti perubahan masukannya. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa rangkaian *power line clock* mampu bekerja sesuai tujuan dan fungsinya sebagai pendeteksi frekuensi sekaligus sebagai penyesuai tegangan sebagai *input* ke mikrokontroler.

5.3 Pengujian Pembebanan Generator dengan ELC untuk Beban Komplemen Resistif

Mengacu dalam Gambar 4.1 (perubahan daya beban utama yang telah dirancang), maka nilai-nilai untuk pengujian diperoleh dengan melakukan perubahan frekuensi dalam beban utama sesuai nilai – nilai dalam fluktuasi tersebut seperti ditunjukkan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Tabulasi pemakaian beban untuk pengujian

Parameter Pemakaian Beban	Nilai
daya beban utama (watt)	1000
daya beban komplemen (watt)	300; 300; 200; 200
tegangan (V)	220
Frekuensi beban komplemen total (Hz)	50

Daya maksimum beban utama mempunyai nilai yang hampir sama dengan daya total beban komplemen. Hal ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan pembebanan generator. Melalui perlakuan perubahan daya beban utama, maka didapatkan nilai frekuensi dalam beban utama seperti ditunjukkan Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Fluktuasi frekuensi beban utama

Pengujian ke-	Daya Beban Utama (W)	Frekuensi Beban Utama (Hz)
1	1000	49,3
2	900	49,4
3	800	49,6
4	700	49,8
5	600	50
6	500	50,1
7	400	50,2
8	300	50,6
9	200	51
10	100	51,4
11	0	51,8

Tujuan dari pengujian pembebanan generator sinkron dengan ELC antara lain:

1. Mengetahui kinerja keseluruhan sistem yang telah dirancang sebelumnya.
2. Menguji keandalan alat yang telah dirancang dengan mengubah – ubah kondisi beban utama generator sesuai durasi dalam karakteristik beban harian.

3. Membandingkan hasil pengukuran antara metode tanpa ELC dengan metode ELC untuk tiap data pengujian.
4. Mengetahui nilai fluktuasi putaran, frekuensi, dan tegangan untuk tiap pengujian.

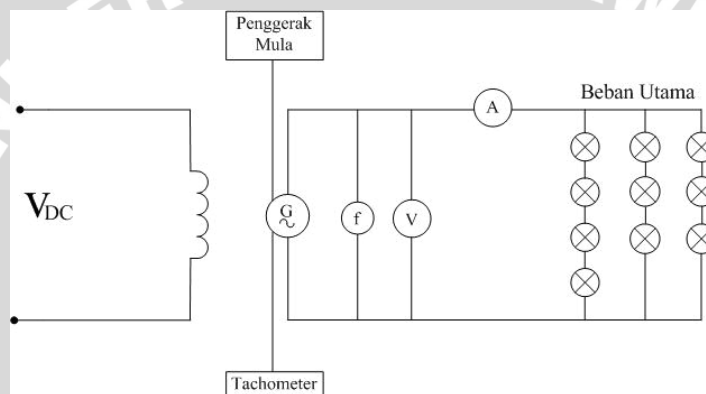
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Modul *Electronic Load Controller* yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti:
 - a. Rangkaian catu mikrokontroler
 - b. Mikrokontroler ATmega16
 - c. Rangkaian *Power Line Clock*
 - d. TRIAC BTA12-600B
 - e. *Optocoupler* MOC3021
2. Generator sinkron 1 fasa merek Hupeh 2 kW
3. *Voltage Regulator* DC Protek
4. Voltmeter AC merek KAISE model SK5000B
5. Amperemeter AC jenis Digital Clampmeter merek TENMARS tipe TM-1017
6. Frekuensimeter merek AEG
7. *Tachometer* merek FUJIKOGYO tipe 024276
8. Sepuluh lampu pijar 100 watt sebagai beban utama
9. Sepuluh lampu pijar 100 watt sebagai beban komplemen

Dalam pengujian pembebanan generator sinkron, prosedur pengujiannya adalah:

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti blok diagram yang ditunjukkan dalam Gambar 5.10 untuk pengujian pembebanan generator sinkron metode **tanpa ELC** dan Gambar 5.11 untuk pengujian **metode ELC**.
2. Mengukur arus keluaran generator sinkron dengan menggunakan *clampmeter*.
3. Pengujian metode tanpa ELC dilakukan terlebih dahulu, dengan langkah pengujian:
 - a. Memberikan catu dalam motor induksi penggerak generator dengan sumber satu fasa
 - b. Atur putaran generator melalui pengaturan kopling magnetik hingga putaran generator sinkron berada dalam posisi putaran sinkron yaitu 1500 rpm

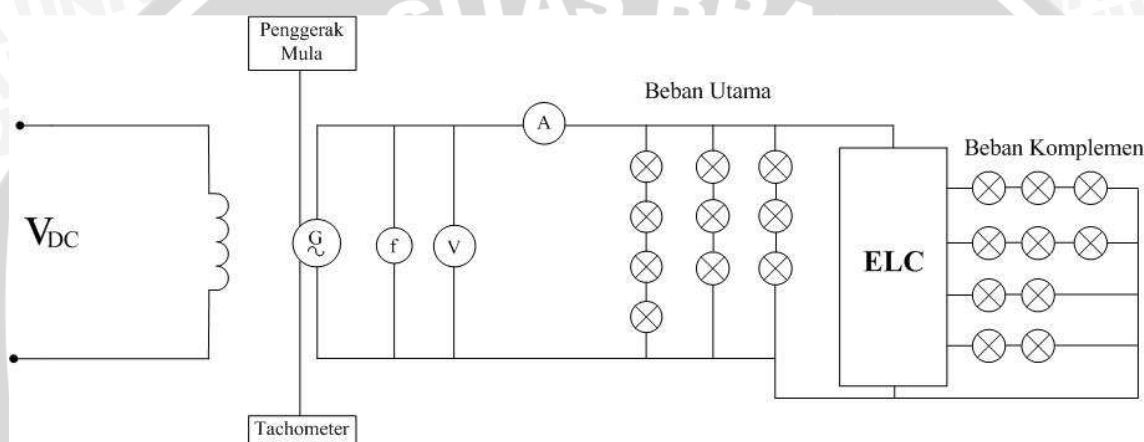
- c. Menghubungkan beban utama (10 buah lampu pijar 100 W) dalam keluaran generator
- d. Mengatur sumber tegangan DC dan amati hingga keadaan mantap tegangan nominal $V = 220$ volt dan frekuensi $f = 50$ Hz
- e. Generator dibebani lampu dengan mempertahankan frekuensi bernilai 50 Hz dan generator tetap dalam keadaan mantap
- f. Menyalakan dan mematikan lampu pijar untuk mendapatkan pemakaian daya sesuai nilai – nilai beban utama (Gambar 4.1) lalu mengukur nilai arus menggunakan *clampmeter*
- g. Mencatat nilai putaran (n), frekuensi (f) dan tegangan (V) dalam setiap kondisi arus beban.



Gambar 5.8 Diagram Blok rangkaian pengujian pembebanan generator sinkron tanpa ELC

4. Pengujian selanjutnya menggunakan modul ELC, dengan langkah pengujian:
 - a. Mencatu motor penggerak dengan sumber satu fasa
 - b. Mengatur putaran melalui pengaturan kopling magnetik hingga putaran generator sinkron berada dalam posisi putaran sinkron yaitu 1500 rpm
 - c. Menghubungkan beban utama (10 buah lampu pijar 100 W) dalam keluaran generator.
 - d. Mengatur sumber tegangan DC dan amati hingga keadaan mantap tegangan nominal $V = 220$ volt dan frekuensi $f = 50$ Hz
 - e. Generator dibebani lampu hingga frekuensi beban bernilai 50 Hz dan generator tetap dalam keadaan mantap

- f. Menghubungkan modul ELC dalam keluaran generator (modul ELC telah terhubung pula dengan beban komponen)
- g. Menyalakan dan mematikan lampu pijar untuk mendapatkan pemakaian daya sesuai fluktuasi beban utama (Gambar 4.1) lalu mengukur nilai frekuensi dengan frekuensimeter.
- h. Mengamati perubahan yang terjadi secara otomatis dalam beban komplemen yang telah ditentukan dalam program mikrokontroler
- i. Mencatat nilai putaran(n), frekuensi(f), dan tegangan(V) dalam setiap kondisi arus beban.



Gambar 5.9 Diagram blok rangkaian pengujian pembebanan generator sinkron dengan ELC

Pengujian keseluruhan sistem diawali tanpa penggunaan ELC dengan data hasil, pengukuran dapat dilihat dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil pengujian pembebanan generator sinkron tanpa ELC

Daya Beban Utama (W)	Arus Beban Utama (A)	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan Generator (V)
1000	4,32	1470	50	220
900	3,91	1450	50,4	230
800	3,53	1490	50,6	230
700	3,14	1510	51	235
600	2,72	1430	51,2	240
500	2,28	1435	51,4	240
400	1,84	1490	52	245
300	1,39	1530	52,4	250
200	0,92	1515	52,6	253
100	0,45	1510	53,2	255

Sedangkan untuk hasil pengujian pembebanan generator sinkron dengan menggunakan ELC ditunjukkan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil pengujian pembebanan generator sinkron dengan ELC

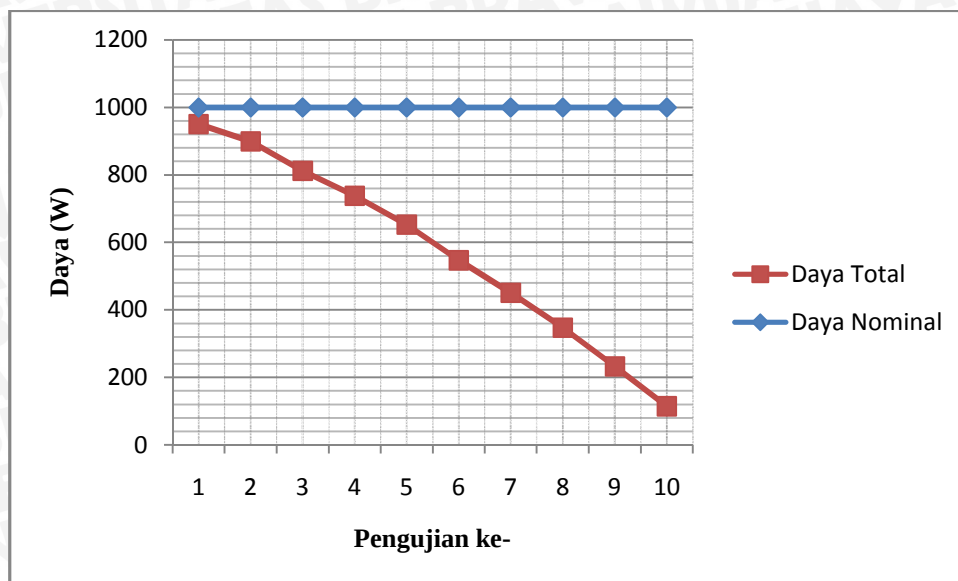
Daya Beban Utama (W)	Arus Beban Utama (A)	Putaran (rpm)	Tegangan Generator (V)	Frekuensi (Hz)
1000	4,25	1500	220	50.4
900	3,81	1520	219	50.5
800	3,43	1515	218	50.6
700	3,04	1510	217	50.6
600	2,62	1525	218	50.5
500	2,18	1515	220	50.8
400	1,74	1525	218	50.7
300	1,29	1535	217	50.6
200	0,82	1520	218	50.6
100	0,35	1520	219	50.4

Berdasarkan data hasil pengujian pembebanan generator sinkron yang ditunjukkan dalam Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai parameter putaran(n), frekuensi(f), dan tegangan (V) dalam pengujian tanpa ELC dengan pengujian menggunakan ELC. Dalam pengujian tanpa ELC nilai parameter tersebut melebihi nilai nominalnya, sedangkan dalam metode ELC nilai parameter tersebut dapat terjaga dalam kisaran nilai nominalnya.

Pemakaian daya oleh beban utama saat ELC belum digunakan ditunjukkan dalam Tabel 5.8 (dengan asumsi $\cos \phi = 1$, karena beban resistif).

Tabel 5.8 Nilai daya beban total generator sinkron tanpa penggunaan ELC

Pengujian ke-	Daya Nominal Beban Utama (W)	Daya Beban Utama Hasil Pengukuran (W)
1	1000	950,4
2	900	899,3
3	800	811,9
4	700	737,9
5	600	652,8
6	500	547,2
7	400	450,8
8	300	347,5
9	200	232,8
10	100	114,8

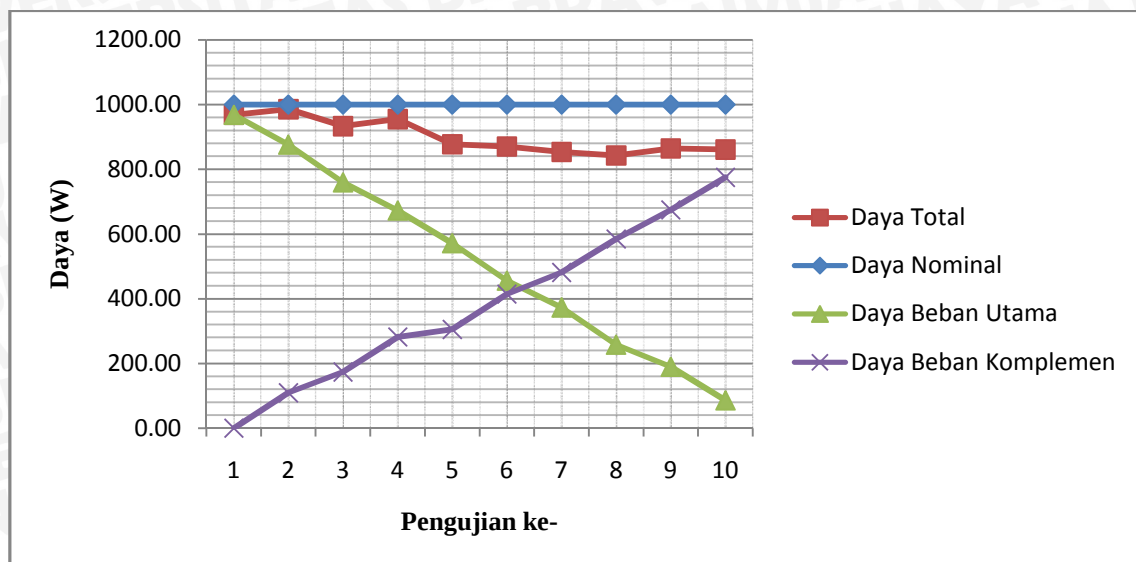


Gambar 5.10 Fluktuasi daya beban total dalam pengujian tanpa ELC

Sedangkan pemakaian daya saat ELC digunakan ditunjukkan dalam Tabel 5.9 (asumsi $\cos \phi = 1$ karena beban resistif).

Tabel 5.9 Nilai daya beban total pembebanan generator sinkron dengan penggunaan ELC

Pengujian ke-	Daya Nominal Beban Utama (W)	Daya Total Beban Utama dan Komplemen(W)	Daya Beban Komplemen (W)	Daya Beban Utama (W)
1	1000	968,00	0,00	968,00
2	900	985,50	109,50	876,00
3	800	933,10	173,60	759,50
4	700	954,80	282,10	672,70
5	600	877,00	305,00	572,00
6	500	870,20	414,50	455,70
7	400	853,50	481,20	372,30
8	300	842,50	584,50	258,00
9	200	864,40	674,50	189,90
10	100	861,00	775,00	86,00

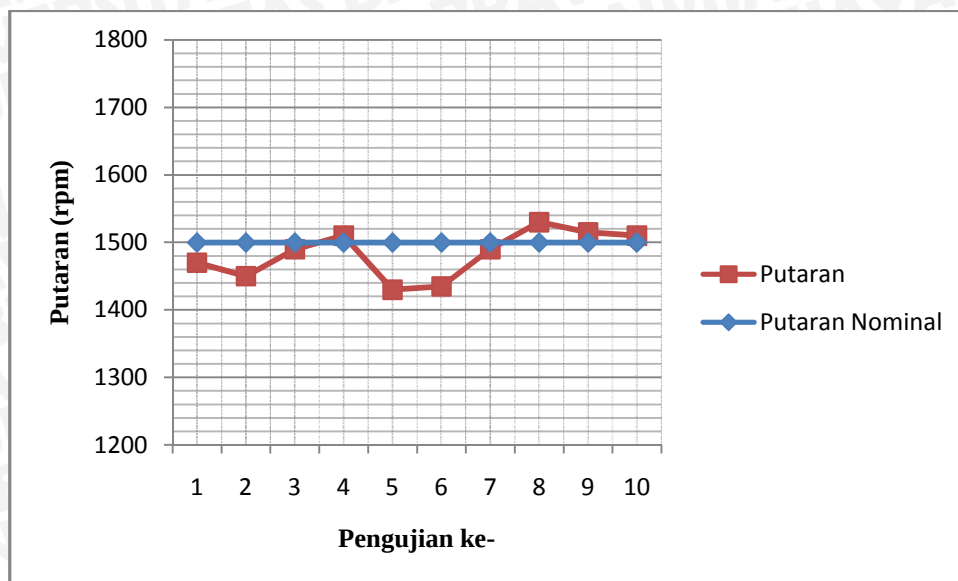


Gambar 5.11 Fluktuasi daya beban total dalam pengujian dengan ELC

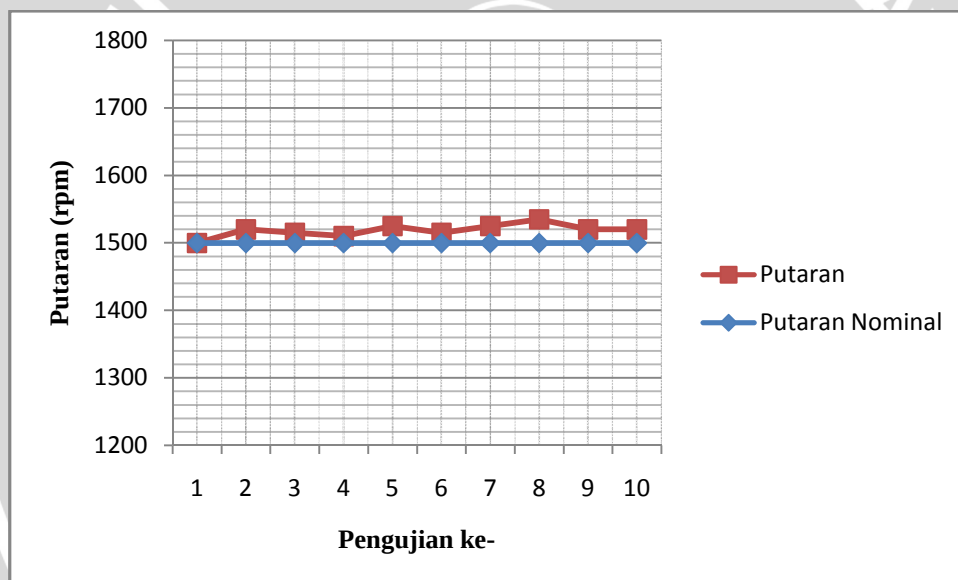
Perubahan frekuensi yang mengakibatkan perubahan daya beban utama ditunjukkan dalam Tabel 5.9. Perubahan daya beban ini memberikan akibat dalam sistem yang daya nominalnya tetap seperti ditunjukkan dalam gambar 5.10, fluktuasi daya beban masih berada dalam nilai yang lebih kecil dari daya nominal dengan rata – rata daya beban sebesar 575 watt. Daya beban saat menggunakan ELC juga mengalami fluktuasi, namun dalam rentang yang masih berada dalam kisaran daya nominal dengan daya rata – rata sebesar 901 watt. Tabulasi daya beban ditunjukkan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Tabulasi daya beban

Metode	Kondisi daya beban	watt	Selisih dari daya nominal (%)
tanpa ELC	minimum	114.8	-88,52
	maksimum	950.4	-4,96
	rata - rata	575	-42,5
ELC	minimum	861	-13.9
	maksimum	968	-3,2
	rata - rata	901	-9.9



Gambar 5.12 Fluktuasi putaran generator sinkron tanpa ELC

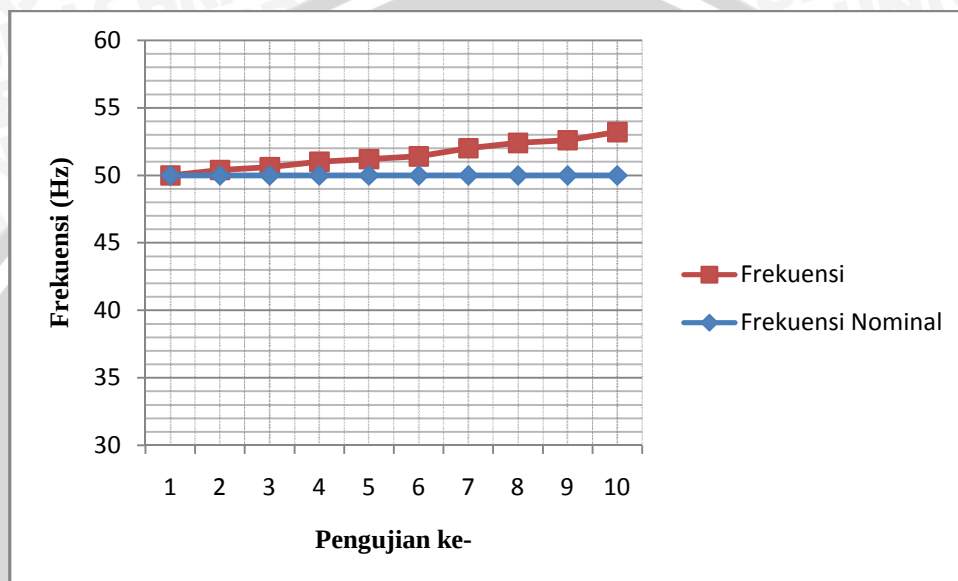


Gambar 5.13 Fluktuasi putaran generator sinkron dengan ELC

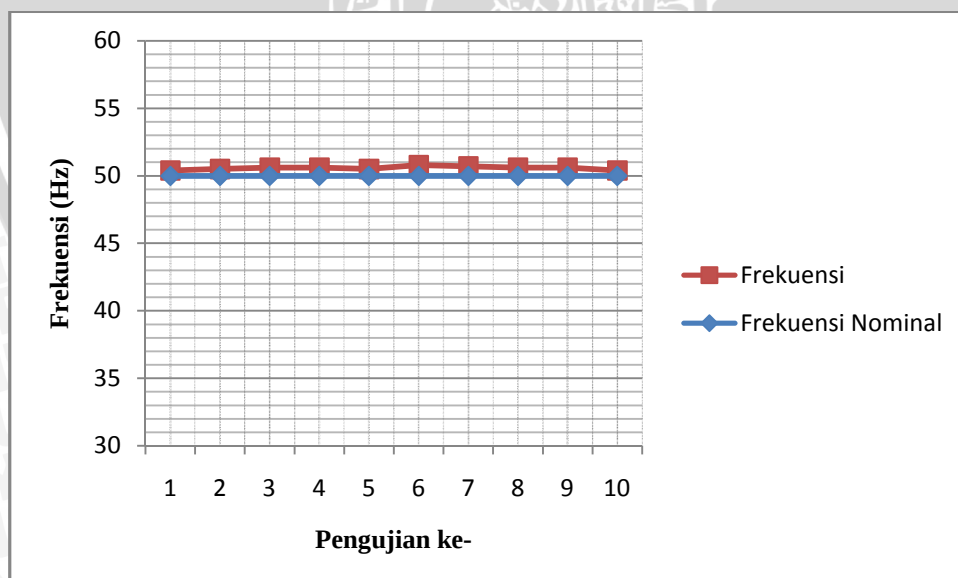
Respon putaran generator saat terjadi perubahan frekuensi dalam pengujian tanpa ELC menunjukkan nilai di atas putaran nominal generator. Fluktuasi putaran generator saat terjadi perubahan beban ditunjukkan dalam gambar 5.12 dengan nilai putaran rata – rata 1483 rpm. Pengujian dengan ELC menunjukkan nilai putaran rata – rata bernilai 1519 rpm dengan fluktuasi putaran menggunakan ELC ditunjukkan dalam gambar 5.13. Tabulasi respon putaran generator ditunjukkan dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Tabulasi respon putaran generator

Metode	Kondisi respon putaran generator	rpm	Selisih dari putaran nominal (%)
tanpa ELC	minimum	1430	-7
	maksimum	1530	+3
	rata - rata	1483	-1,7
ELC	minimum	1500	0
	maksimum	1530	+3
	rata - rata	1519	+1,9



Gambar 5.14 Fluktuasi frekuensi tanpa ELC



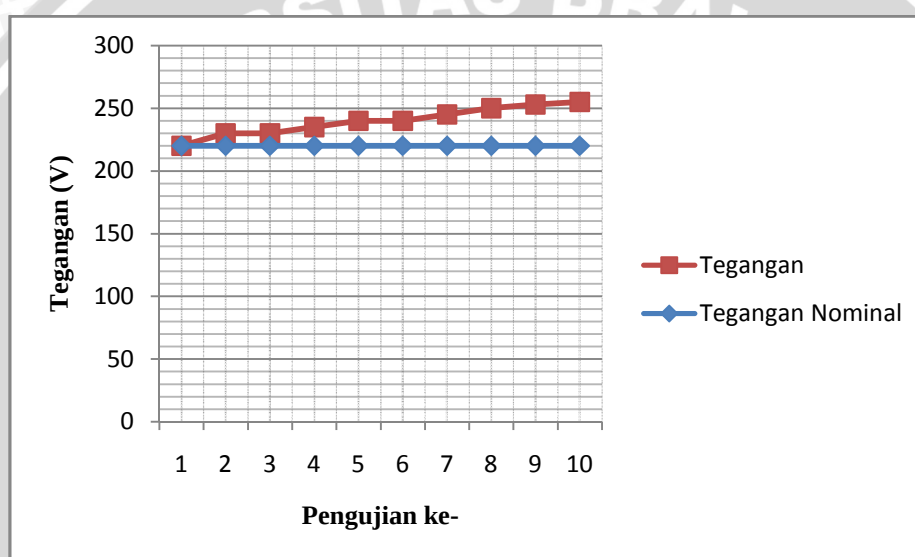
Gambar 5.15 Fluktuasi frekuensi dengan ELC

Respon frekuensi dalam pengujian dengan tegangan beban utama yang berubah – ubah tanpa ELC menunjukkan nilai frekuensi rata – rata sebesar 51,5 Hz dengan

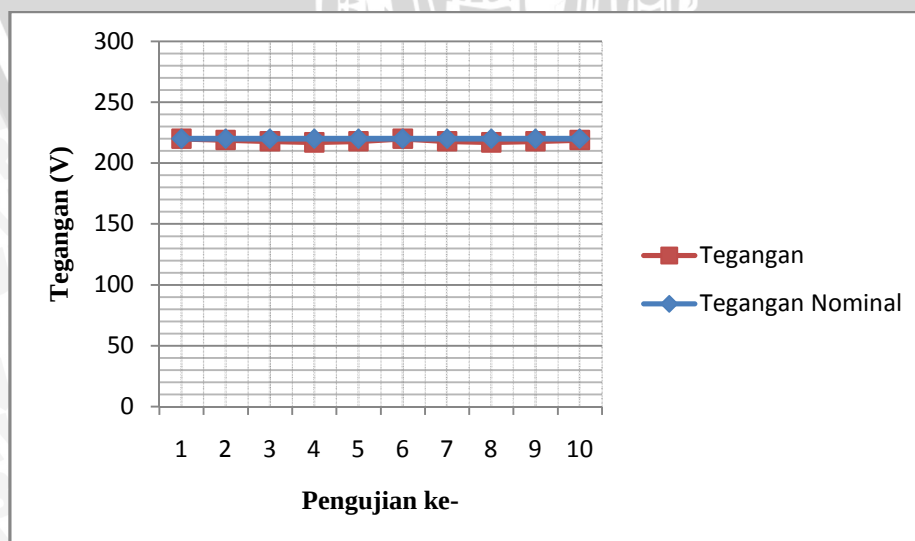
fluktuasi frekuensi ditunjukkan dalam gambar 5.14. Pengujian dengan ELC menunjukkan nilai frekuensi rata – rata sebesar 50,6 Hz dengan fluktuasi frekuensinya ditunjukkan dalam gambar 5.15. Tabulasi respon frekuensi ditunjukkan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Tabulasi respon frekuensi

Metode	Kondisi respon frekuensi	Hz	Selisih dari frekuensi nominal (%)
tanpa ELC	minimum	50	0
	maksimum	53,2	+3,2
	rata - rata	51,5	+1,5
ELC	minimum	50.4	+0,4
	maksimum	50.6	+0,6
	rata - rata	50.6	+0,6



Gambar 5.16 Fluktuasi tegangan pengujian tanpa ELC



Gambar 5.17 Fluktuasi tegangan pengujian dengan ELC

Respon tegangan dalam pengujian tanpa ELC menunjukkan nilai tegangan rata – rata sebesar 240 V dengan fluktuasi tegangan ditunjukkan dalam gambar 5.16. Pengujian dengan ELC menunjukkan nilai tegangan rata – rata sebesar 218 V dengan fluktuasi tegangannya ditunjukkan dalam gambar 5.17. Tabulasi respon tegangan ditunjukkan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Tabulasi respon tegangan

Metode	Kondisi respon tegangan	V	Selisih dari tegangan nominal (%)
tanpa ELC	minimum	220	0
	maksimum	255	+3,5
	rata - rata	240	+2
ELC	minimum	217	-3
	maksimum	220	0
	rata - rata	218	-2

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis di atas, pengendalian beban menggunakan peralatan *Electronic Load Controller* mampu menjaga nilai daya beban dalam kisaran nilai daya nominal sehingga nilai putaran (n), frekuensi (f), dan tegangan (V) stabil dalam kisaran nilai yang masih dapat ditolerir. Selain itu, peralatan ELC ini juga mampu mengaktifkan beban komplemen resistif saat terjadi perubahan frekuensi beban akibat pengaruh perubahan tegangan, sehingga frekuensi tetap berada dalam kisaran nilai 50 Hz.