

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan hasil pengujian dan analisis pemanas induksi dengan metode *pancake coil* berbasis mikrokontroler ATmega8535. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis apakah alat yang telah dibuat mampu bekerja sesuai dengan perancangan. Data pengujian dan pembahasan akan dijadikan acuan dalam mengambil kesimpulan.

Pengujian akan dilakukan pada masing-masing blok perancangan untuk memudahkan analisis. Pengujian dari sistem secara keseluruhan sistem juga dilakukan untuk mengetahui hasil optimum panas yang dihasilkan. Adapun pengujian yang dilakukan adalah:

- 1) Pengujian *pancake coil*
- 2) Pengujian frekuensi
- 3) Pengujian sistem keseluruhan

#### 5.1. Pengujian *Pancake Coil*

##### 5.1.1. Tujuan

Tujuan pengujian *pancake coil* adalah untuk mengetahui nilai induktansi (L) dan resistansi (R) dari *pancake coil* yang digunakan pada alat pemanas induksi. Pengujian dilakukan dengan merangkai *pancake coil* sebagai beban dari RLC meter kemudian akan terukur nilainya.

##### 5.1.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. RLC meter
2. *Pancake Coil*

##### 5.1.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *pancake coil* sebagai berikut:

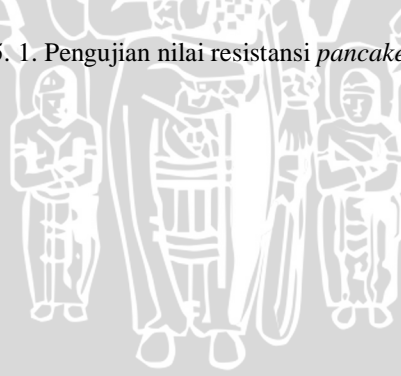
1. Merangkai RLC meter sebagai alat ukur dan *pancake coil* sebagai beban.
2. Mencatat nilai induktansi (L) dan resistansi (R) yang muncul di layar RLC meter
3. Mengulang prosedur 1 dan 2 hingga tiga kali pengujian.

#### 5.1.4. Data Hasil Pengujian

Dokumentasi hasil pengujian resistansi (R) dan induktansi (L) *pancake coil* adalah sebagai berikut.



Gambar 5. 1. Pengujian nilai resistansi *pancake coil*





Gambar 5. 2 Pengujian nilai resistansi *pancake coil*



Gambar 5. 3. Pengujian nilai induktansi *pancake coil*



pengujian 3 Induktansi

Gambar 5. 4. Pengujian nilai induktansi *pancake coil*

Hasil pengujian dan rata-ratanya disajikan pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 1. Hasil pengujian resistansi dan induktansi *pancake coil*

	Resistansi ( $\Omega$ )	Induktansi ( $\mu$ Henry)
Percobaan 1	532,0	2,8
Percobaan 2	658,1	2,3
Percobaan 3	585,2	2,6
Rata-rata	591,76	2,56

### 5.1.5. Analisis Hasil Pengujian

Nilai resistansi, induktansi, dan frekuensi kerja yang diinginkan dapat digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi dari *tank capacitor*. Dari hasil pengujian, *pancake coil* yang dibuat memiliki nilai resistansi sebesar 591,76  $\Omega$  dan nilai induktansi 2,56  $\mu$ H. Pemanas Induksi yang dibuat dirancang resonansi pada frekuensi 40kHz. Oleh karena itu penentuan nilai *tank capacitor* dapat dihitung sebagai berikut (pada resonansi nilai  $X_L = X_C$ ).

$$X_L = X_C$$

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}$$

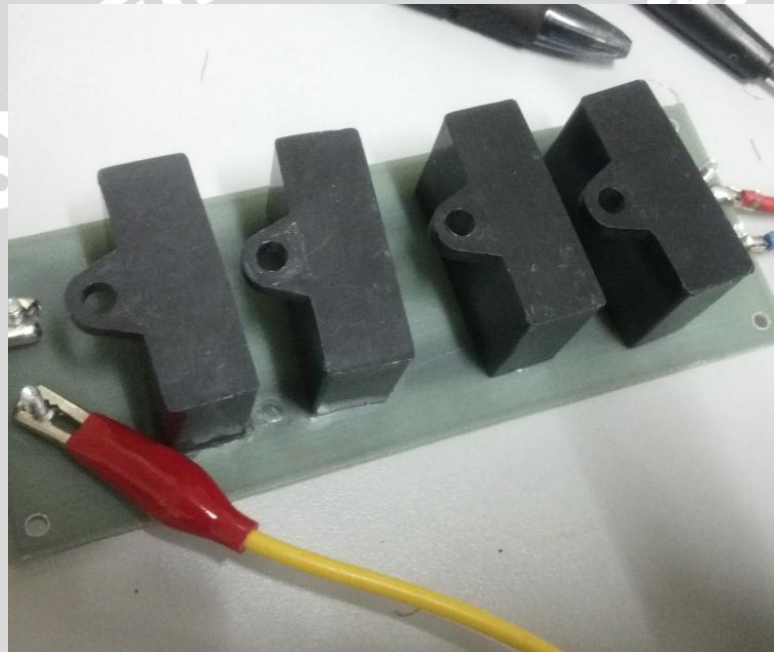
$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L}$$

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 10^3)^2 \cdot 2,56 \cdot 10^{-6}}$$

$$C = \frac{1}{161.703.598507}$$

$$C = 6,1841 \mu\text{F}$$

Jadi nilai kapasitor yang digunakan adalah  $6\mu\text{F}$  yang dibuat dari 4 buah kapasitor  $1,5\mu\text{F}$  yang disusun paralel. Bentuk fisiknya dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Tank Capacitor  $6\mu\text{F}$

## 5.2. Pengujian Frekuensi

### 5.2.1. Tujuan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kesesuaian besarnya nilai frekuensi yang dibangkitkan mikrokontroler dengan frekuensi yang keluar dari *driver switching* dan frekuensi yang keluar pada keluaran mosfet pada saat tidak dibebani maupun dibebani *pancake coil*.

Parameter keberhasilan pengujian ini yaitu nilai frekuensi seharusnya bersesuaian sejak awal dibangkitkan mikrokontroler hingga setelah melewati beberapa komponen rangkaian atau dengan kata lain tidak mengalami drop frekuensi.

### 5.2.2. Peralatan

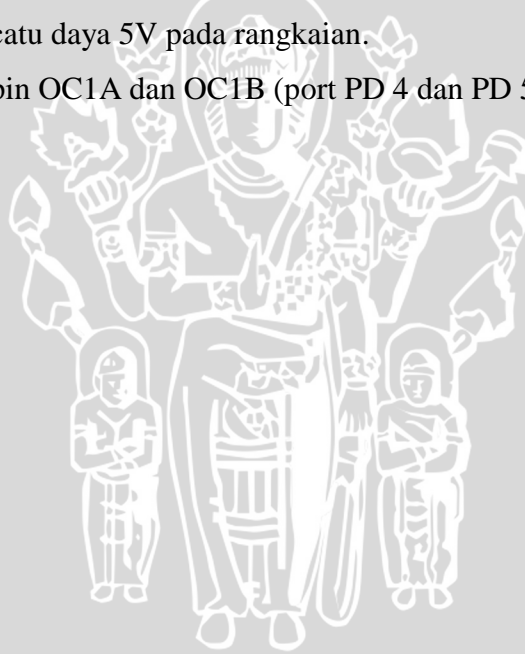
Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. *SMPS* keluaran 5 volt dan 12 volt
2. Rangkaian minimum ATmega 8535
3. Rangkaian *driver* IR2110
4. *Tank capacitor* 6  $\mu\text{F}$
5. *Pancake coil*
6. *Oscilloscope* PCSU1000
7. Multimeter

### 5.2.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian frekuensi adalah sebagai berikut:

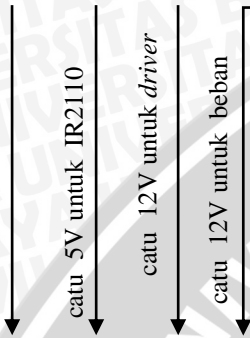
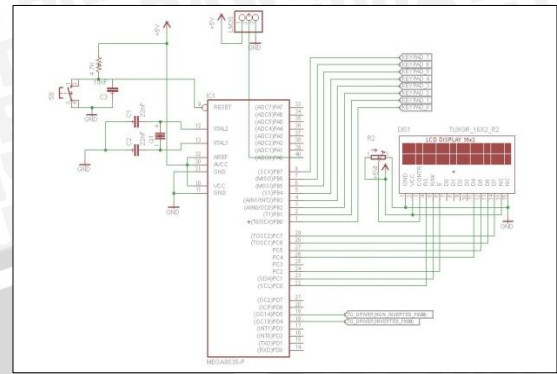
1. Membuat rangkaian minimum sistem ATmega 8535, LCD, dan *keypad*.
2. Menghubungkan catu daya 5V pada rangkaian.
3. Menghubungkan pin OC1A dan OC1B (port PD 4 dan PD 5) pada osiloskop.





catu 5V untuk MK

Keluaran pin  
OCR1A & OCR1B

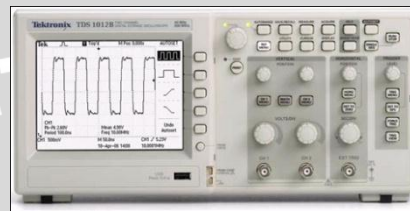


catu 5V untuk IR2110

catu 12V untuk driver

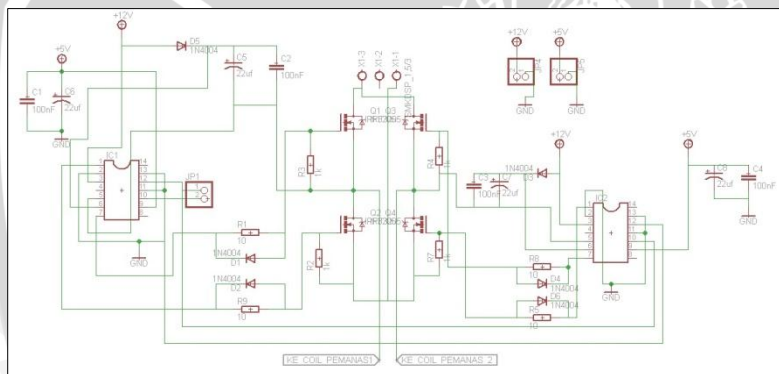
catu 12V untuk beban

output mosfet  
(tanpa beban)



output mikrokontroler

output beban (koil)



output mosfet

Gambar 5. 6. Pengujian Frekuensi

4. Memasukkan nilai frekuensi 25 kHz pada keypad.
5. Membaca dan merekam frekuensi keluaran mikrokontroler melalui osiloskop.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5 untuk frekuensi 30, 35, 40, 45, dan 50 kHz.
7. Menghubungkan rangkaian driver pada keluaran mikrokontroler.
8. Menghubungkan catu daya 5V dan 12V pada rangkaian driver.
9. Memasukkan nilai frekuensi 25 kHz dan duty cycle 50 pada keypad.
10. Membaca dan merekam frekuensi keluaran rangkaian driver melalui osiloskop.
11. Mengulangi langkah 9 dan 10 untuk frekuensi 30, 35, 40, 45, dan 50 kHz.
12. Menghubungkan mosfet pada rangkaian driver.
13. Menghubungkan catu daya 12V pada drain mosfet.

14. Memasukkan nilai frekuensi 25 kHz pada *keypad*.
15. Membaca dan merekam frekuensi keluaran mosfet (tanpa beban) melalui osiloskop.
16. Mengulangi langkah 9 dan 10 untuk frekuensi 30, 35, 40, 45, dan 50 kHz.
17. Menghubungkan *pancake coil* pada mosfet.
18. Memasukkan nilai frekuensi 25 kHz pada *keypad*.
19. Membaca dan merekam frekuensi yang dirasakan *pancake coil* melalui osiloskop.
20. Mengulangi langkah 18 dan 19 untuk frekuensi 30, 35, 40, 45, dan 50 kHz.

#### 5.2.4. Data Hasil Pengujian

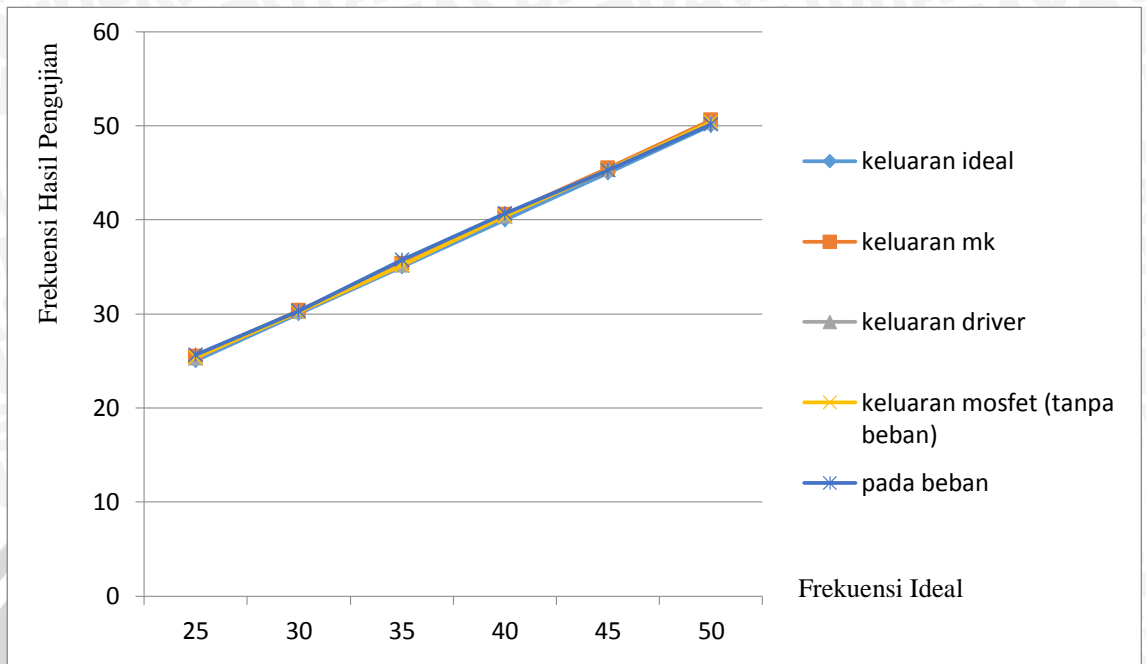
1. Frekuensi keluaran dari setiap blok sistem pada *duty cycle* 50 dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5. 2 Frekuensi keluaran setiap blok sistem pemanas induksi

Frekuensi yang diinginkan	Keluaran Mikrokontroler		Keluaran Rangkaian <i>driver</i>		Keluaran Mosfet (tanpa beban)		Pada beban ( <i>pancake coil</i> )	
	Frekuensi (kHz)	Error (%)	Frekuensi (kHz)	Error (%)	Frekuensi (kHz)	Error (%)	Frekuensi (kHz)	Error (%)
40(kHz)	25.45	-1.8	25.30	-1.2	25.33	-1.32	25.64	-2.56
30	30.34	-1.13	30.24	-0.8	30.20	-0.666	30.30	-1
35	35.31	-0.885	35.17	-0.4857	35.16	-0.457	35.71	-2.028
40	40.55	-0.375	40.41	-1.025	40.38	-0.95	40.69	-1.725
45	45.51	-1.133	45.34	-0.7556	45.33	-0.733	45.27	-0.6
50	50.56	-1.12	50.38	-0.76	50.36	-0.72	50.11	-0.22



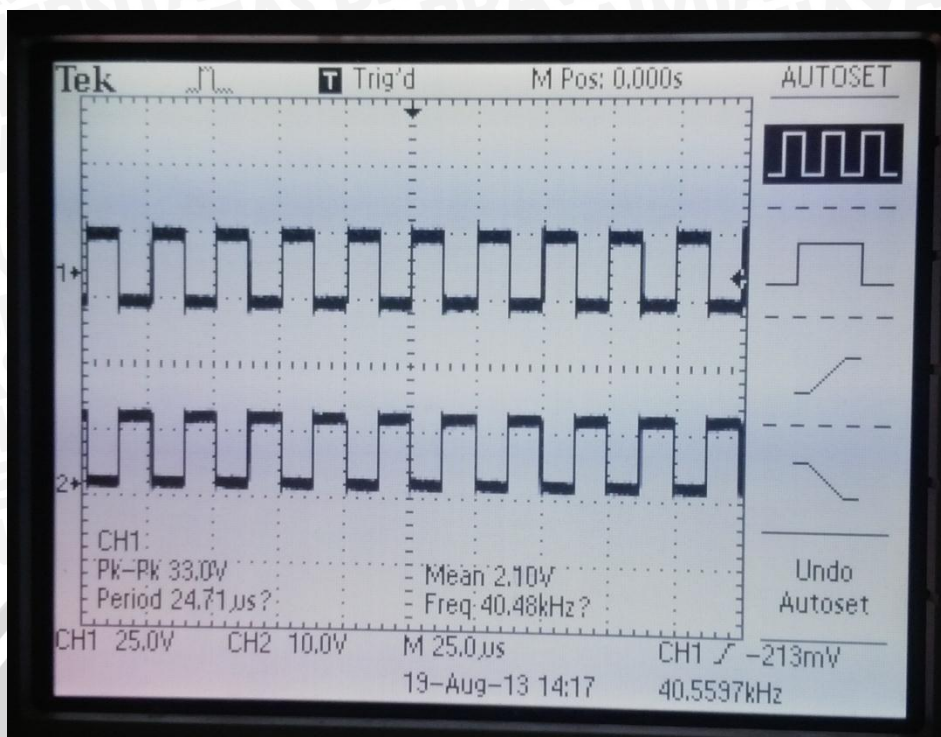
2. Hasilnya juga bisa dilihat dalam bentuk diagram sebagai berikut.



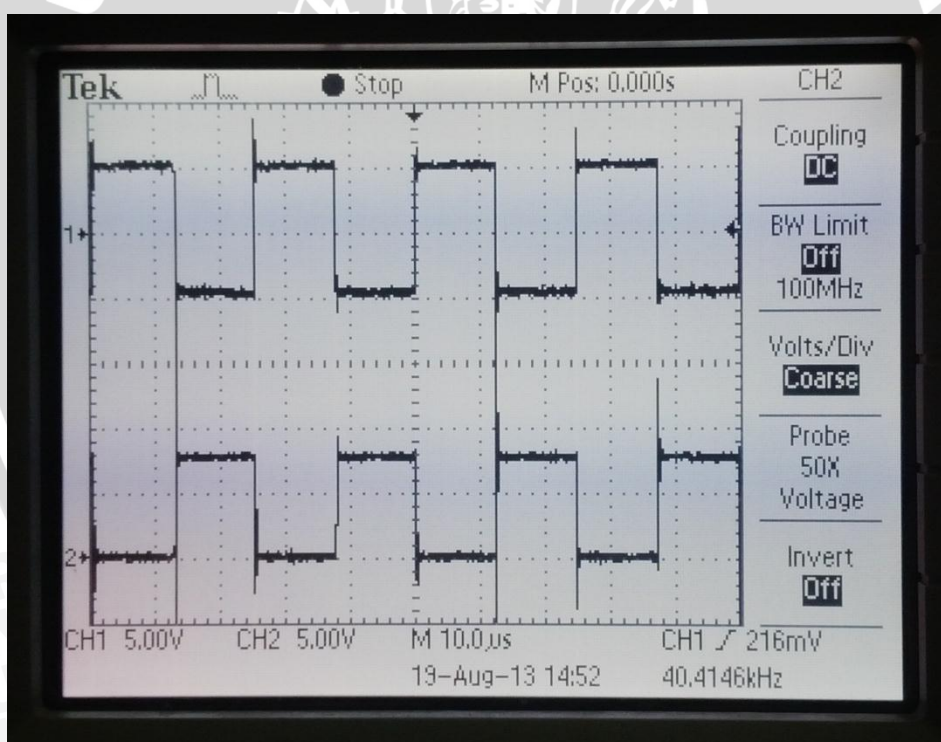
Gambar 5. 7 Grafik frekuensi keluaran pada beberapa blok sistem pemanas induksi

Pada Gambar 5.7 nampak masing-masing keluaran blok sistem memiliki frekuensi yang mendekati ideal. Hal ini menandakan kinerja yang baik dari komponen elektrik pemanas induksi dan alat sudah cukup layak untuk digunakan dalam proses pengujian.

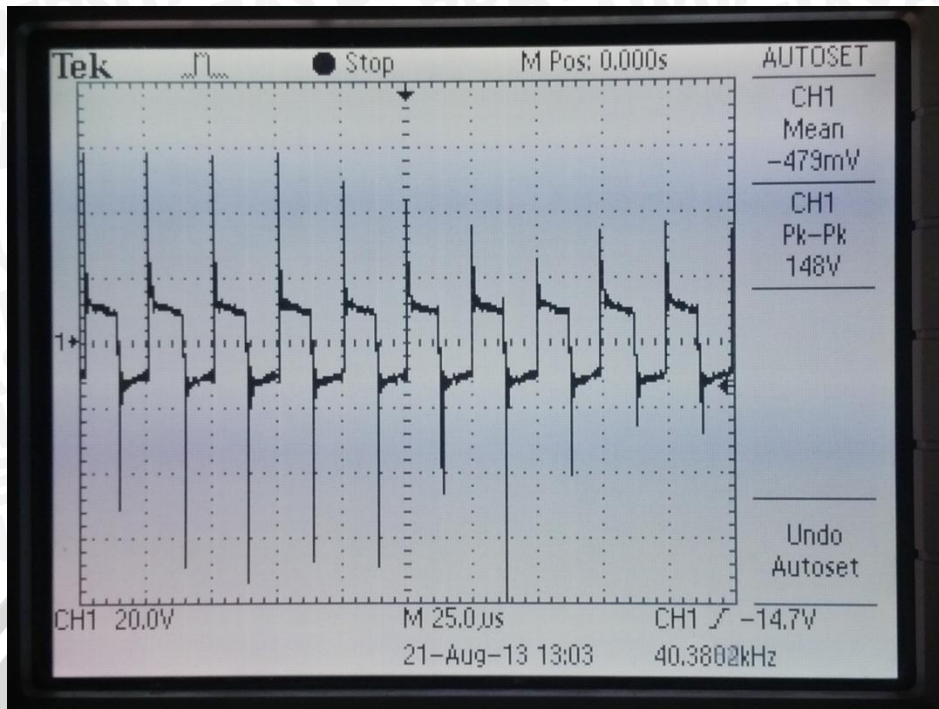
3. Contoh frekuensi keluaran dari masing-masing blok sistem dapat dilihat pada beberapa gambar berikut ini. (Pada frekuensi 40 kHz *duty cycle* 50)



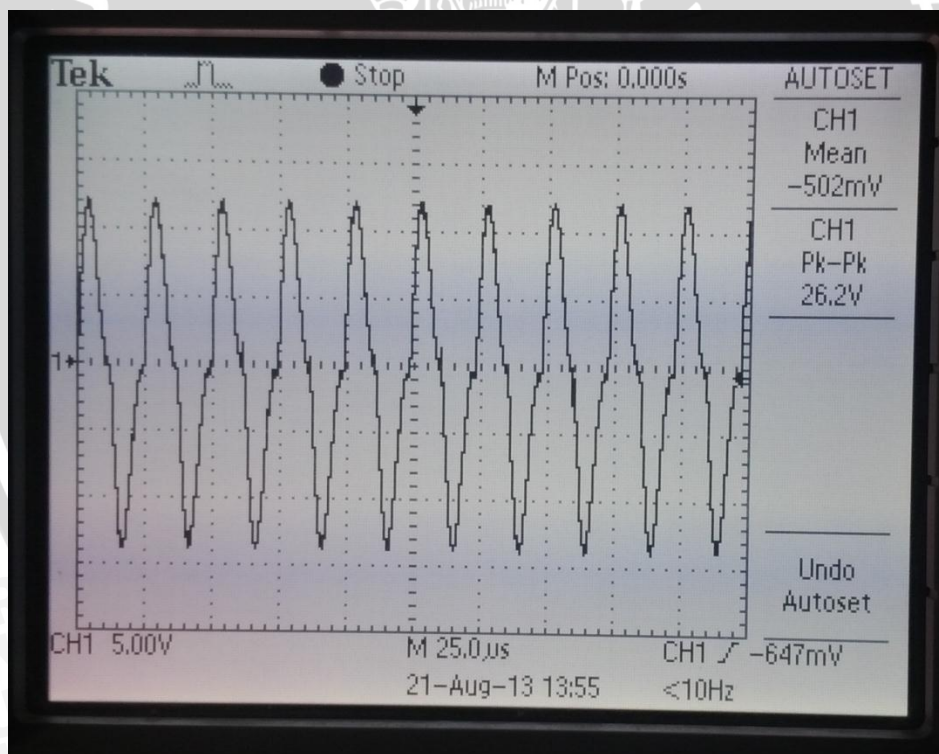
Gambar 5. 8 Frekuensi keluaran mikrokontroler ( $f = 40\text{kHz}$ , *duty cycle* 50)



Gambar 5. 9 Frekuensi keluaran *driver* ( $f = 40\text{kHz}$ , *duty cycle* 50)



Gambar 5. 10 Frekuensi keluaran mosfet ( $f = 40\text{kHz}$ , *duty cycle* 50)



Gambar 5. 11 Frekuensi pada beban *pancake coil* ( $f = 40\text{kHz}$ , *duty cycle* 50)

### 5.2.5. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian frekuensi pada masing-masing blok sistem, didapatkan nilai frekuensi yang cukup bersesuaian. Nilai *error* dengan penyimpangan

terbesar adalah -2,56% pada pengujian frekuensi 25kHz pada beban *pancake coil* dan terendah -0,22% pada pengujian yang sama di frekuensi 50kHz. Sementara penyimpangan rata-rata terkecil terjadi pada frekuensi keluaran mosfet dengan nilai -0.807857% dan penyimpangan rata-rata terbesar terjadi pada beban dengan nilai -1.35559524%. Pada grafik juga tampak pengujian pada masing-masing frekuensi menunjukkan hasil yang dekat dengan nilai ideal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kemampuan pemanas induksi ini baik dan layak digunakan untuk pengujian keseluruhan sistem.

Jika diperhatikan pada bentuk sinyal pada osiloskop, *ripple* muncul dan terbesar ada pada sisi keluaran mosfet. Hal ini disebabkan karena kemampuan komponen alat yang tidak bisa bekerja dengan ideal 100%.

Pada bagian beban, bentuk sinyal menjadi sinusoida. Hal ini disebabkan karena adanya fenomena resonansi yang mana terjadi proses *charging* dan *discharging* pada *capacitor tank*. Jika frekuensi kerja semakin mendekati nilai frekuensi resonansi maka bentuk sinusoida pada beban juga akan semakin mulus. Namun pada frekuensi 40 kHz sinyal sinusoida tidak benar-benar mulus karena nilai kapasitor yang tidak persis 6,1841  $\mu\text{F}$  sesuai perhitungan.

### 5.3. Pengujian Sistem Keseluruhan

#### 5.4.1. Tujuan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran lama pencapaian suhu  $50^{\circ}\text{C}$  pada pemanas induksi dengan mengubah variabel frekuensi. Pada saat dilakukan perubahan frekuensi, nilai *duty cycle* dibuat tetap. Lama waktu pencapaian  $50^{\circ}\text{C}$  akan dapat digunakan untuk menentukan besarnya energi kalor yang dibutuhkan pada pemanasan tersebut sesuai persamaan (2-11). Selanjutnya efisiensi energi juga akan bisa dihitung nilainya pada beberapa nilai frekuensi.

#### 5.4.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

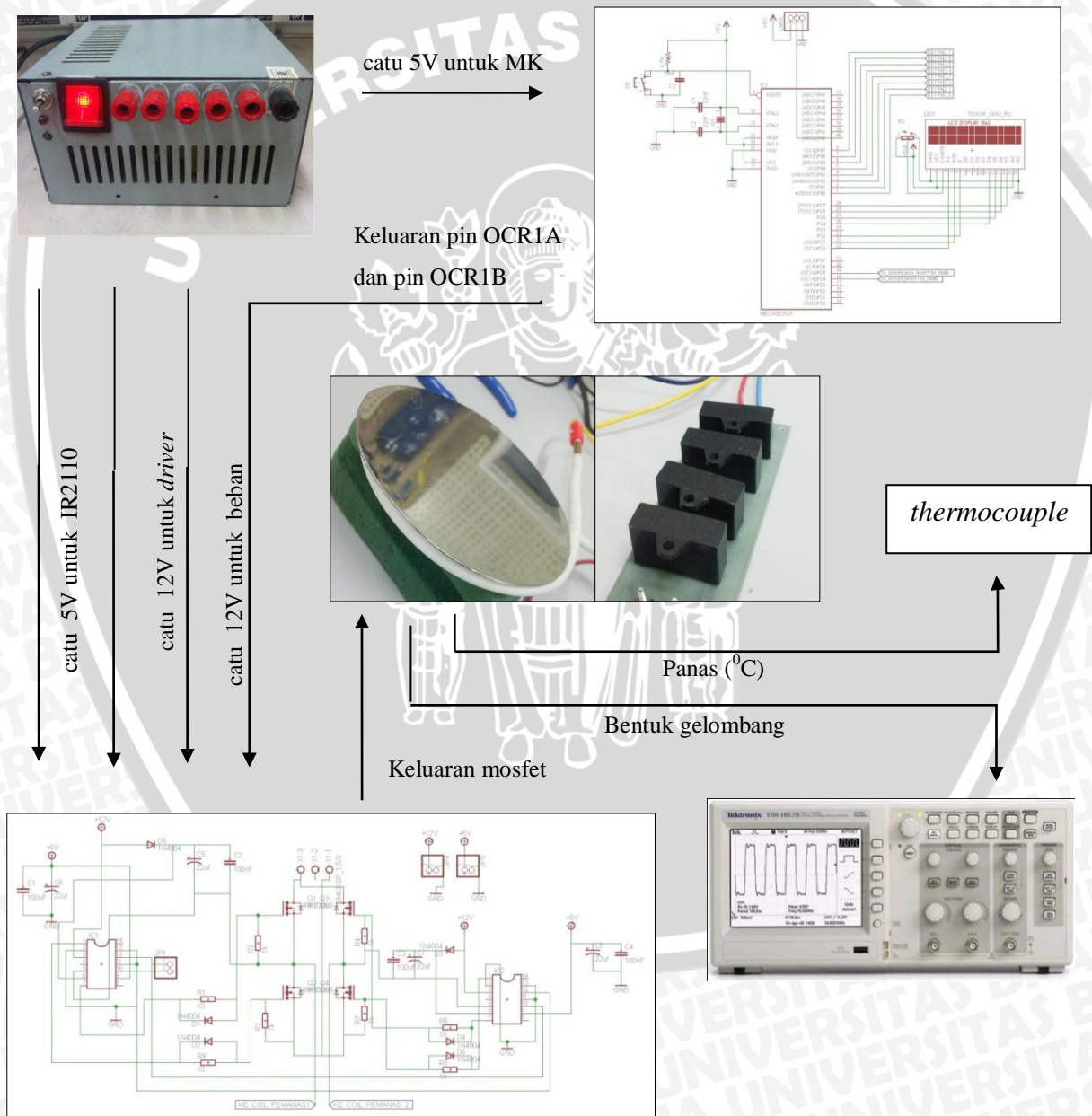
1. *SMPS* keluaran 5 volt dan 12 volt
2. Rangkaian minimum ATmega 8535
3. Rangkaian *driver* IR2110
4. Sensor suhu *thermocouple*

5. Tank capacitor 6  $\mu\text{F}$
6. Pancake coil
7. Benda kerja (*stainless steel* dengan diameter 10cm)
8. Oscilloscope PCSU1000
9. Amperemeter AC dan Multimeter

### 5.4.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian rangkaian adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan rangkaian seperti pada Gambar 5.12



Gambar 5. 12 Skema pengujian keseluruhan

2. Menempelkan sensor suhu *thermocouple* pada pusat lingkaran benda kerja
3. Memasukkan nilai frekuensi 25kHz, *duty cycle* 50, dan *set point* suhu 50 pada *keypad*.
4. Mulai membaca dan merekam pembacaan suhu, bentuk gelombang, tegangan dan arus pada beban tiap 20 detik sampai suhu mencapai 50°C atau hingga tidak terjadi kenaikan suhu lagi (jika di bawah 50°C dan tidak terjadi kenaikan suhu).
5. Mengulangi prosedur 3 dan 4 untuk nilai *duty cycle* tetap 50 dan nilai frekuensi diubah-ubah 35, 40, 45, dan 50 kHz.
6. Menghitung energi listrik (input) dan energi kalor (output) pada pengujian di masing-masing frekuensi.
7. Menghitung efisiensi energi pada pengujian di masing-masing frekuensi

#### 5.4.4. Data Hasil Pengujian

1. Data pengujian pemanas induksi dengan perubahan frekuensi kerja.

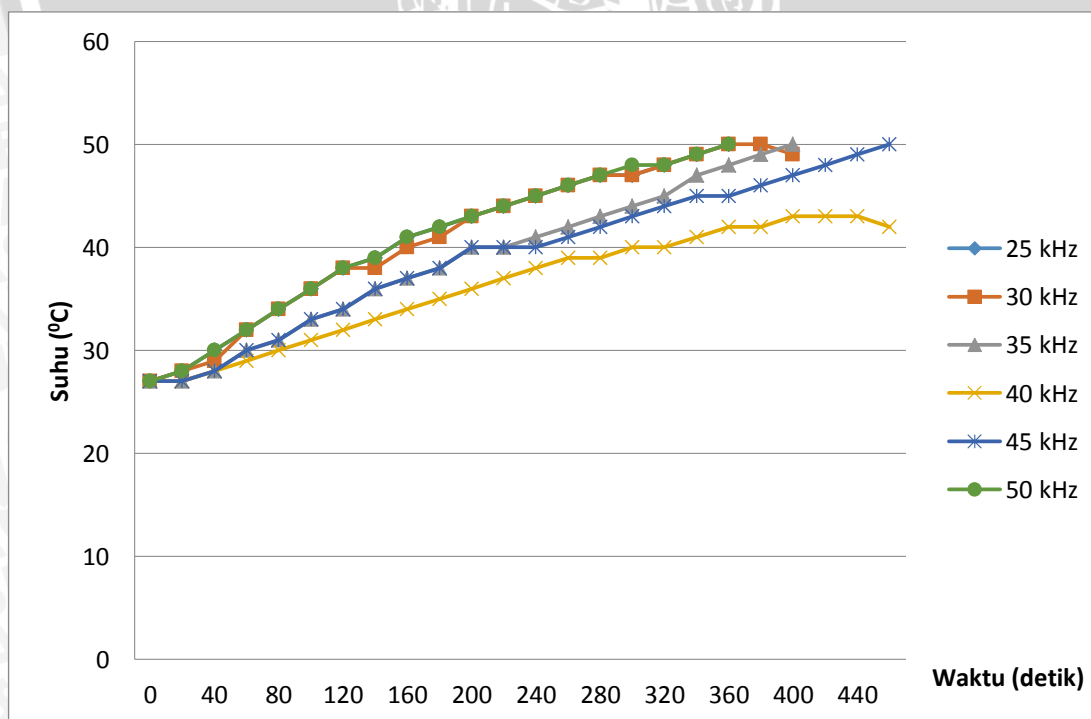
Tabel 5.3 menunjukkan pengujian pemanas induksi dengan nilai frekuensi yang diubah-ubah. Tiap selang waktu terlihat perubahan nilai arus beban, tegangan pada beban, dan suhu pada benda kerja.

Tabel 5. 3 Pengujian Pemanas Induksi pada *duty cycle* 50 dengan perubahan frekuensi

No	Waktu (s)	Frekuensi 25kHz			Frekuensi 30kHz			Frekuensi 35kHz			Frekuensi 40kHz			Frekuensi 45kHz			Frekuensi 50kHz		
		I (A)	V (V)	T (°C)	I (A)	V (V)	T (°C)	I (A)	V (V)	T (°C)	I (A)	V (V)	T (°C)	I (A)	V (V)	T (°C)	I (A)	V (V)	T (°C)
1.	0	2.24	2.69	27	2.86	9.9	27	2.69	7.9	27	2.95	5.4	27	2.71	24	27	3.19	29	27
2.	20	2.27	8.1	28	2.65	5.5	28	2.62	5.7	27	1.96	0.7	27	2.67	16	27	3.18	5.6	28
3.	40	2.22	4.1	30	2.65	4.1	29	2.63	5.3	28	1.87	0.8	28	2.65	5.2	28	3.11	13	30
4.	60	2.19	3.6	32	2.62	3.7	32	2.58	4.4	30	1.81	0.1	29	2.62	4.6	30	3.07	5.1	32
5.	80	2.18	3.5	34	2.51	3.7	34	2.57	4.5	31	1.76	0.9	30	2.59	4.4	31	3.04	4.7	34
6.	100	2.16	3.8	36	2.23	3.8	36	2.56	4.4	33	1.73	0.9	31	2.58	4.8	33	3.02	4.8	36
7.	120	2.15	3.7	38	2.22	3.7	38	2.56	3.9	34	1.71	0.2	32	2.57	3.9	34	3.00	4.9	38
8.	140	2.15	3.6	39	2.23	3.7	38	2.56	3.8	36	1.70	0.1	33	2.56	3.6	36	3.00	4.6	39
9.	160	2.15	3.8	41	2.23	3.6	40	2.55	3.8	37	1.69	0.8	34	2.55	3.7	37	2.99	4.5	41
10.	180	2.15	3.5	42	2.23	3.4	41	2.56	4.1	38	1.68	0.1	35	2.54	4.4	38	2.98	4.8	42

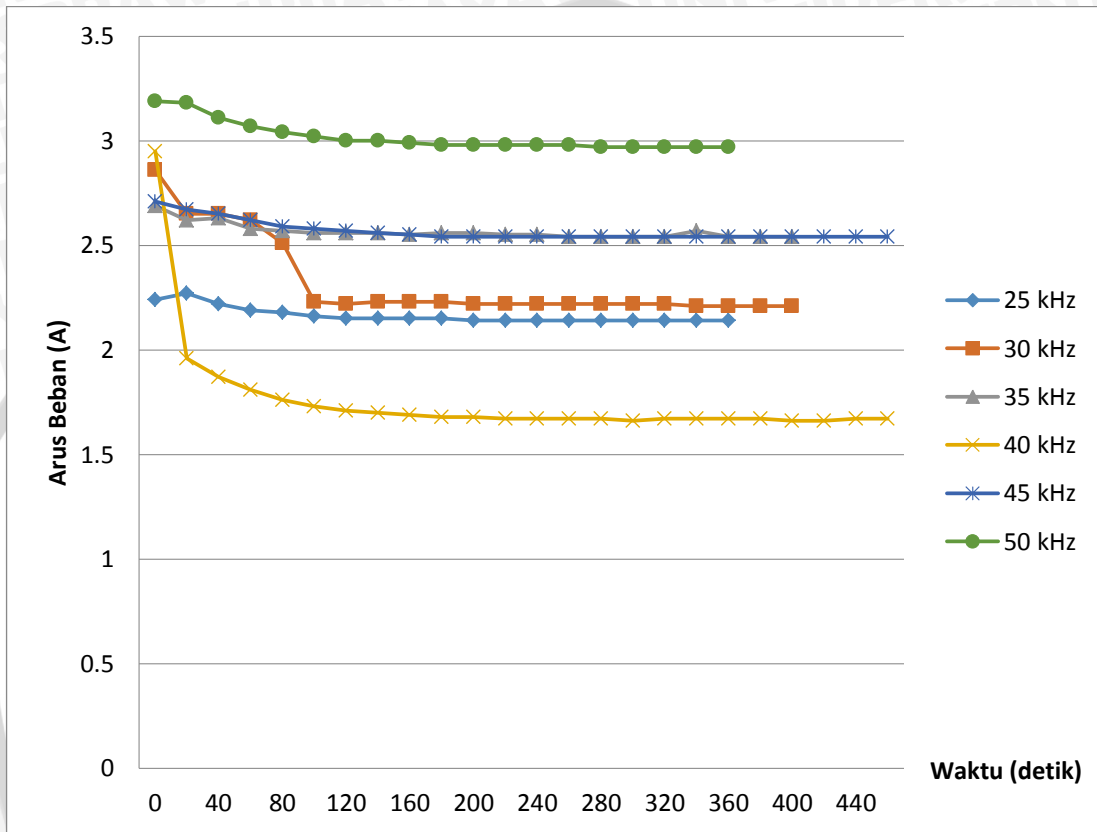
11.	200	2.14	3.7	43	2.22	3.4	43	2.56	3.8	40	1.68	0.8	36	2.54	4.2	40	2.98	4.7	43
12.	220	2.14	3.6	44	2.22	3.5	44	2.55	3.9	40	1.67	0.9	37	2.54	4.1	40	2.98	4.5	44
13.	240	2.14	3.5	45	2.22	3.4	45	2.55	3.8	41	1.67	0.1	38	2.54	9.8	40	2.98	4.5	45
14.	260	2.14	3.5	46	2.22	3.4	46	2.54	3.8	42	1.67	0.8	39	2.54	4.4	41	2.98	4.8	46
15.	280	2.14	3.7	47	2.22	3.4	47	2.54	3.8	43	1.67	0.9	39	2.54	4.2	42	2.97	4.5	47
16.	300	2.14	3.7	47	2.22	3.4	47	2.54	4.1	44	1.66	0.8	40	2.54	4.1	43	2.97	5.0	48
17.	320	2.14	3.8	48	2.22	3.5	48	2.54	3.9	45	1.67	0.9	40	2.54	4.2	44	2.97	4.9	48
18.	340	2.14	3.7	49	2.21	3.4	49	2.57	3.8	47	1.67	0.8	41	2.54	4.4	45	2.97	4.5	49
19.	360	2.14	3.8	50	2.21	3.4	50	2.54	3.8	48	1.67	0.8	42	2.54	4.1	45	2.97	4.7	50
20.	380	-	-	-	2.21	3.6	50	2.54	4.2	49	1.67	0.8	42	2.54	4.4	46	-	-	-
21.	400	-	-	-	2.21	3.4	49	2.54	3.9	50	1.66	0.8	43	2.54	4.3	47	-	-	-
22.	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.66	0.8	43	2.54	4.6	48	-	-	-
23.	440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	0.8	43	2.54	4.3	49	-	-	-
24.	460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	0.8	42	2.54	4.3	50	-	-	-

Data pada tabel di atas akan lebih mudah dibaca pada diagram suhu, arus beban, dan tegangan yang semuanya merupakan fungsi waktu dan direkam pada beberapa nilai frekuensi kerja berikut.



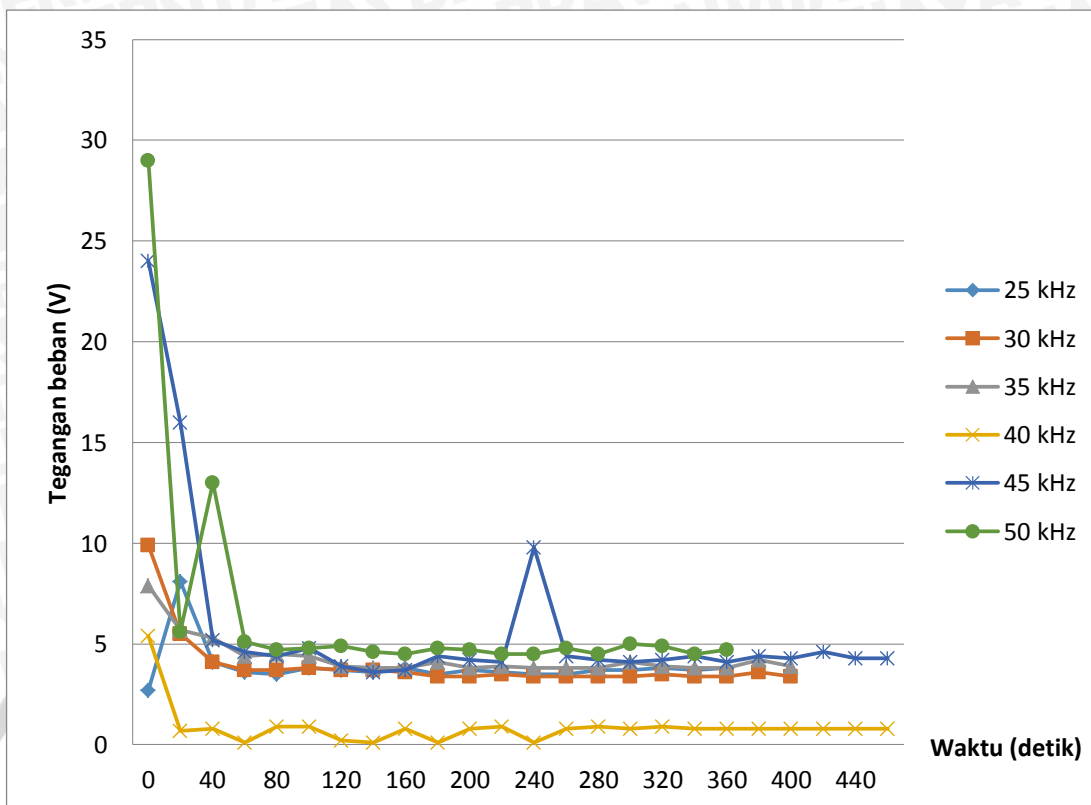
Gambar 5. 13 Grafik pencapaian suhu pada fungsi waktu di beberapa frekuensi

Secara umum kenaikan suhu benda kerja pada beberapa frekuensi berbentuk linear terhadap waktu pengujian dan mengalami kejenuhan di titik-titik yang berbeda. Pada frekuensi 30 kHz dan 50kHz, grafik mulai tidak linear pada waktu di atas 280 detik dan menunjukkan kejenuhan. Pada frekuensi 40 kHz, kejenuhan mulai nampak pada detik ke 400 dan suhu justru turun setelah itu.



Gambar 5. 14 Grafik arus beban pada fungsi waktu di beberapa frekuensi





Gambar 5. 15 Grafik tegangan beban pada fungsi waktu di beberapa frekuensi

#### 5.4.5. Analisis Hasil Pengujian

Penghitungan besarnya daya dan energi elektrik dari pemanas induksi pada beberapa nilai frekuensi kerja dapat dilihat pada Tabel 5.4. Daya pada masing-masing waktu didapatkan dengan mengalikan tegangan dan arus yang terbaca pada alat ukur. Energi rata-rata didapatkan dengan mengalikan lama waktu pemanas induksi bekerja dengan rata-rata daya dari awal hingga pada waktu tersebut.

Tabel 5. 4 Penghitungan daya dan energi elektrik dari hasil pengujian pemanas induksi

No	Waktu (s)	25 kHz		30 kHz		35 kHz		40 kHz		45 kHz		50 kHz	
		P (watt)	Energi rata-rata (J)	P (watt)	Energi rata-rata (J)	P (watt)	Energi rata-rata (J)	P (watt)	Energi rata-rata (J)	P (watt)	Energi rata-rata (J)	P (watt)	Energi rata-rata (J)
1	0	6.0256	-	28.314	-	21.251	-	15.93	-	65.04	-	92.51	-
2	20	18.387	244.126	14.575	428.89	14.934	361.85	1.372	119.02	42.72	1077.6	17.808	1103.18
3	40	9.102	446.8613	10.865	716.72	13.939	668.32	1.496	178.64	13.78	1620.533	40.43	2009.973
4	60	7.884	620.979	9.694	951.72	11.352	922.14	0.181	203.685	12.052	2003.88	15.657	2496.075
5	80	7.63	784.4576	9.287	1163.76	11.565	1168.656	1.584	242.608	11.396	2319.808	14.288	2891.088
6	100	8.208	953.9433	8.474	1353.483	11.264	1405.083	1.557	278.6667	12.384	2622.867	14.496	3253.15
7	120	7.955	1117.57	8.214	1532.966	9.984	1616.383	0.342	292.4914	10.023	2869.629	14.7	3598.097
8	140	7.74	1276.303	8.251	1709.295	9.728	1820.298	0.17	301.56	9.216	3090.693	13.8	3914.558
9	160	8.17	1441.806	8.028	1879.147	9.69	2021.458	1.352	330.3822	9.435	3307.484	13.455	4215.893
10	180	7.525	1595.279	7.582	2039.112	10.496	2235.654	0.168	337.536	11.176	3549.996	14.304	4526.064

11	200	7.918	1755.356	7.548	2196.945	9.728	2435.109	1.344	365.3818	10.668	3779.818	14.006	4826.436
12	220	7.704	1911.224	7.77	2357.703	9.945	2637.727	1.503	395.9817	10.414	4002.24	13.41	5112.507
13	240	7.49	2062.866	7.548	2513.538	9.69	2835.065	0.167	401.8338	24.892	4489.772	13.41	5395.828
14	260	7.49	2214.245	7.548	2668.677	9.652	3031.191	1.336	429.0371	11.176	4724.051	14.304	5693.591
15	280	7.918	2373.403	7.548	2823.259	9.652	3226.907	1.503	459.2933	10.668	4947.413	13.365	5972.269
16	300	7.918	2532.461	7.548	2977.388	10.414	3436.575	1.328	486.2438	10.414	5164.763	14.85	6277.369
17	320	8.132	2695.465	7.77	3135.322	9.906	3636.518	1.503	516.4424	10.668	5385.826	14.553	6575.925
18	340	7.918	2854.387	7.514	3288.14	9.766	3833.613	1.336	543.4711	11.176	5615.629	13.365	6851.208
19	360	8.132	3017.304	7.514	3440.691	9.652	4028.362	1.336	570.4674	10.414	5830.333	13.959	7136.905
20	380	-	-	7.956	3601.412	10.668	4242.244	1.336	597.436	11.176	6058.872	-	-
21	400	-	-	7.514	3753.562	9.906	4441.562	1.328	624.2286	10.922	6282.095	-	-
22	420	-	-	-	-	-	-	1.328	651	11.684	6519.431	-	-
23	440	-	-	-	-	-	-	1.336	677.9061	10.922	6741.871	-	-
24	460	-	-	-	-	-	-	1.336	704.7967	10.922	6963.978	-	-

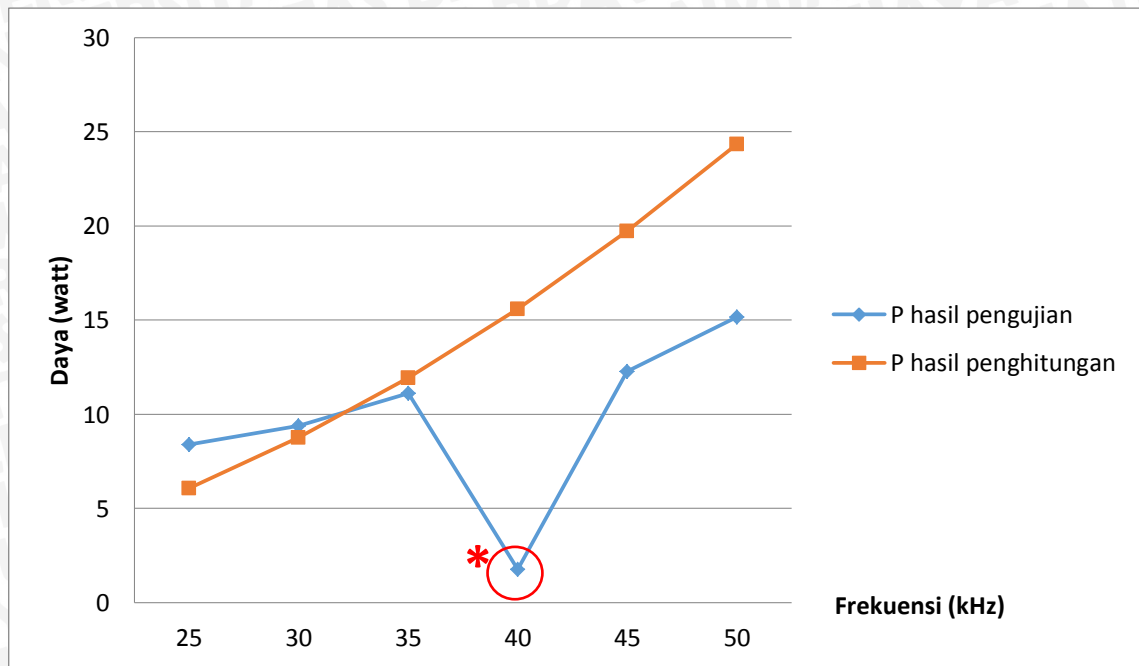
Pada fungsi waktu, kenaikan suhu berbentuk linier pada beberapa frekuensi kerja. Untuk frekuensi kerja 25, 30, 35, 45, dan 50 kHz suhu 50°C dapat dicapai. Semakin mendekati 40kHz, waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 50°C relatif lebih lama dan justru pada frekuensi 40kHz suhu 50°C tidak dapat dicapai. Pada frekuensi 40kHz pencapaian suhu jenuh di 43°C.

Perubahan tegangan dan arus beban pada beberapa frekuensi kerja dapat dilihat langsung perubahan pada daya masing-masing frekuensi. Daya hasil pengujian rata-rata dan daya hasil perhitungan sesuai persamaan (4.1) pada masing-masing frekuensi kerja ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Penghitungan daya rata-rata pada masing-masing frekuensi kerja

Jenis	P rata-rata	P rata-rata	P rata-rata	P rata-rata	P rata-rata	P rata-rata
Daya (P)	Pada 25 kHz	Pada 30 kHz	Pada 35 kHz	Pada 40 kHz	Pada 45 kHz	Pada 50 kHz
	(Watt)	(Watt)	(Watt)	(Watt)	(Watt)	(Watt)
Pengujian	8.3814	9.383905	11.1039	1.7572	15.705	19.825
Perhitungan	6.08	8.76	11.93	15.58	19.71	24.34

Akan lebih jelas jika dilihat pada grafik pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5. 16 daya rata-rata pada beberapa frekuensi kerja

Daya hasil pengujian dan daya hasil penghitungan memiliki perbedaan dan persamaan. Masing-masing mengalami kenaikan nilai daya seiring dengan naiknya frekuensi kerja. Hal ini sesuai dengan Persamaan (4.1) hasil penurunan persamaan daya akibat arus eddy akibat induksi elektromagnetik dari *pancake coil*. Perbedaan nilai antara daya hasil pengujian dan penghitungan diperkirakan terjadi karena beberapa faktor berikut :

1. Pendekatan konsentris pada saat penghitungan kerapatan medan pada *pancake coil*.
2. Ikut panasnya *pancake coil* pada pengujian yang menyebabkan nilai resistansinya berubah dan arus yang lewat juga berubah.
3. Respon *switching* mosfet yang tidak sempurna (ada *delayed time* dsb.).
4. Nilai kapasitor yang tidak persis 6,1841  $\mu\text{F}$ .
5. Keterbatasan penguji dalam membaca alat ukur pada saat pengujian.

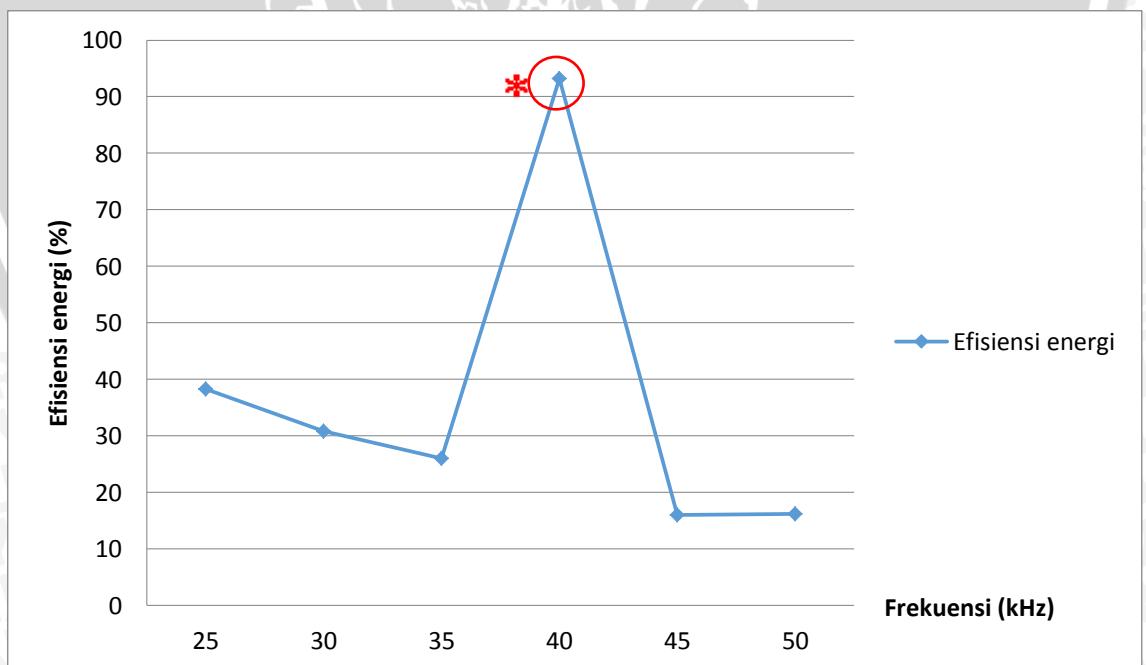
Semakin besar nilai frekuensi kerja maka daya juga semakin naik. Fenomena anomali terjadi pada frekuensi 40kHz (pada Gambar 5.16 diberi tanda bintang) dimana daya pada pemanas induksi nilainya turun drastis. Hal ini belum diteliti lebih lanjut apa yang menjadi penyebab anomali tersebut namun hal ini dicurigai terkait dengan fenomena resonansi yang terjadi pada frekuensi kerja tersebut.

Besarnya energi kalor dihitung berdasarkan Persamaan (4-3) dan besarnya efisiensi energi dihitung berdasarkan Persamaan (4-4). Hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5. 6 Penghitungan Energi Kalor dan Efisiensi energi

No.	Frekuensi (kHz)	Suhu yang dicapai ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu pencapaian suhu (detik)	Daya Rata-rata (watt)	Energi Elektrik (joule)	Energi Kalor (joule)	Efisiensi Energi (%)
1.	25	50	360	8.3814	3017.3	1155.557	38.297659
2.	30	50	400	9.3839	3753.56	1155.557	30.785622
3.	35	50	400	11.1039	4441.56	1155.557	26.016913
4.	40	42	460	1.7572	808.312	753.624	93.23429
5.	45	50	460	15.705	7224.3	1155.557	15.995415
6.	50	50	360	19.825	7137	1155.557	16.191072

Perubahan nilai efisiensi energi berdasarkan kenaikan frekuensi kerja di atas akan lebih jelas terlihat pada grafik pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5. 17 Efisiensi energi pada beberapa frekuensi kerja

Besarnya efisiensi energi semakin kecil pada frekuensi kerja mendekati 40 kHz dan cenderung naik setelah melewati 40 kHz. Hal ini diakibatkan karena energi elektrik makin besar pada saat frekuensi kerja dinaikkan sementara energi kalor untuk menaikkan suhu benda dengan massa  $m$  berkapasitas kalor  $c$  dari suhu  $T_1$  hingga  $T_2$  nilainya tetap dan tidak dipengaruhi frekuensi kerja. Perubahan energi elektrik dan efisiensi energi memiliki *trend* yang berbeda dengan perubahan daya di atas. Hal ini diakibatkan karena waktu pencapaian suhu  $50^{\circ}\text{C}$  yang berbeda-beda pada masing-masing frekuensi kerja.

Anomali efisiensi energi yang terjadi pada frekuensi kerja 40 kHz (pada Gambar 5.17 ditandai bintang) terjadi karena daya pada frekuensi tersebut juga mengalami anomali seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya.

