

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pembuatan penurun tegangan tiga fasa dengan transformator tap berbasis arduino untuk Laboratorium Mesin Elektrik. Selain itu pada bab ini juga akan ditampilkan hasil pengujian dan analisis.

#### **4.1 Penentuan Parameter Transformator**

Untuk mendapatkan besar parameter transformator dilakukan dua pengujian yaitu pengujian hubung terbuka dan pengujian hubung singkat. Pada pembuatan alat ini akan menggunakan tiga buah transformator 1 fasa yang dihubungkan Y-Y, tetapi untuk pengujian penentuan parameter transformator hanya dilakukan pengujian pada satu transformator saja karena ketiga transformator didesain dan dibuat dengan bahan yang sama.

##### **4.1.1 Pegujian Hubung Terbuka**

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter transformator  $R_c$  dan  $X_m$ .

###### **4.1.1.1 Peralatan**

1. Transformator
2. Voltmeter
3. Amperemeter
4. Kabel Penghubung
5. Wattmeter
6. Pengatur Tegangan AC

###### **4.1.1.2 Prosedur Pengujian**

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian pengujian hubung terbuka dihubungkan seperti pada gambar 2.3. Bagian belitan primer dihubungkan dengan sumber tegangan melalui pengatur tegangan AC dan bagian belitan sekunder dihubung terbuka.
2. Tegangan masuk dari sumber ( $V_{oc}$ ) diatur sampai 220 volt (sama dengan tegangan transformator yang diuji), catat besar nilai arus pada amperemeter ( $I_{oc}$ ) dan besar nilai daya pada wattmeter ( $P_{oc}$ ).

###### **4.1.1.3 Hasil Pengujian**

Dari pengujian hubung terbuka untuk menentukan parameter transformator didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Hubung Terbuka

$V_{oc}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$P_{oc}$ (W)
220,000	0,175	30,000

#### 4.1.2 Pengujian Hubung Singkat

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter transformator  $R_e$  dan  $X_e$ .

##### 4.1.2.1 Peralatan

1. Transformator
2. Voltmeter
3. Amperemeter
4. Kabel Penghubung
5. Wattmeter
6. Pengatur Tegangan AC

##### 4.1.2.2 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian pengujian hubung singkat dihubungkan seperti pada gambar 2.4. Bagian belitan primer dihubungkan dengan sumber tegangan melalui pengatur tegangan AC dan bagian belitan sekunder dihubung singkat.
2. Tegangan masuk ke pengatur tegangan diatur dari kecil sampai amperemeter menunjukkan besarnya arus nominal ( $I_{sc}$ ) dari transformator (arus nominal yang digunakan sebesar 4,5 A). Catat besar nilai tegangan pada voltmeter ( $V_{sc}$ ) dan besar nilai daya pada wattmeter ( $P_{sc}$ ).

##### 4.1.2.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian hubung singkat untuk menentukan parameter transformator didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2

Hasil Pengujian Hubung Singkat

$V_{sc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	$P_{sc}$ (W)
21,51	4,50	80,00

### 4.1.3 Perhitungan dan Analisis

Perhitungan akan dilakukan sesuai dengan teori pada bab II subbab 2.2.

- Hubung Terbuka

Mencari besar nilai faktor daya hubung terbuka (PF). Dengan menggunakan persamaan (2-6), perhitungan dapat dilakukan sebagai berikut:

$$PF = \cos \Theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}} = \frac{30 \text{ W}}{220 \text{ V} \times 0,175 \text{ A}} = 0,7792$$

Setelah didapat nilai PF hubung terbuka, besar sudut faktor daya ( $\Theta$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-7), perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{P_{oc}}{V_{oc} I_{oc}} = \cos^{-1} 0,7792 = 43,1251^\circ$$

Dengan menggunakan persamaan (2-8), besar admitansi eksitasi sebagai berikut:

$$Y_E = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\Theta = \frac{0,175 \text{ A}}{220 \text{ V}} \angle -43,1251^\circ = 0,000795 \angle -43,1251^\circ$$

Sehingga nilai admitansi eksitasi dapat dibandingkan dengan persamaan (2-4) untuk mendapatkan parameter  $R_c$  dan  $X_m$  transformator, perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{I_{oc}}{V_{oc}} \angle -\Theta = \frac{1}{R_c} - j \frac{1}{X_m}$$

$$0,000795 \angle -43,1251^\circ = \frac{1}{R_c} - j \frac{1}{X_m}$$

$$0,0006194 - j0,0004982 = \frac{1}{R_c} - j \frac{1}{X_m}$$

$$R_c = \frac{1}{0,0006194} = 1614,4656 \Omega = 1,614 \text{ k}\Omega$$

$$X_m = \frac{1}{0,0004982} = 2007,2260 \Omega = 2,007 \text{ k}\Omega$$

- Hubung Singkat

Faktor daya arus ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-10), perhitungan sebagai berikut:

$$PF = \cos \Theta = \frac{P_{sc}}{V_{sc} I_{sc}} = \frac{80 \text{ W}}{21,51 \text{ V} \times 4,5 \text{ A}} = 0,8264$$

Sudut impedansi ( $\Theta$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-11), perhitungan sebagai berikut:

$$\Theta = \cos^{-1} \frac{P_{sc}}{V_{sc} I_{sc}} = \cos^{-1} 0,8264 = 38,077^\circ$$

Berdasarkan persamaan (2-12) perhitungan besar impedansi seri ( $Z_{SE}$ ) dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{SE} &= \frac{V_{sc} \angle 0^\circ}{I_{sc} \angle -\theta^\circ} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \angle \theta^\circ = \frac{21,51 \text{ V}}{4,5 \text{ A}} \angle 38,077^\circ \\ &= 4,78 \angle 38,077^\circ \end{aligned}$$

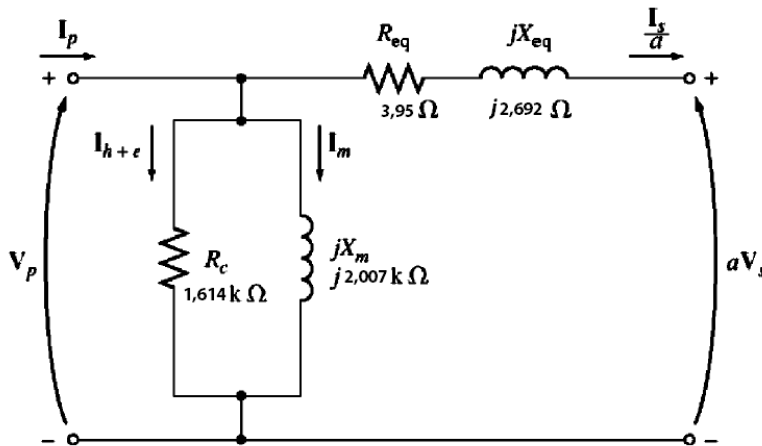
$$= (3,95 + j 2,6915) \Omega$$

Berdasarkan persamaan (2-13), parameter  $R_e$  dan  $X_e$  dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Z_{SE} = R_{eq} + jX_{eq}$$

$$Z_{SE} = (3,95 + j 2,6915) \Omega$$

$$R_e = 3,95 \Omega \text{ dan } X_e = 2,6916 \Omega$$



Gambar 4.1 Rangkaian pengganti ekuivalen transformator

#### 4.2 Pengujian Transformator satu fasa untuk penentuan efisiensi transformator

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya masukan ( $P_{in}$ ) dan daya keluaran ( $P_{out}$ ) pada arus beban tertentu. Lalu akan dilakukan perhitungan efisiensi transformator tersebut. Pada percobaan kali ini akan dilakukan pada arus beban 3,5 A; 4,0 A; dan 5 A. Pengujian ini dilakukan hanya pada tap tegangan 220 V pada transformator.

##### 4.2.1 Peralatan

Peralatan pengujian yang diperlukan untuk pengujian transformator satu fasa adalah sebagai berikut:

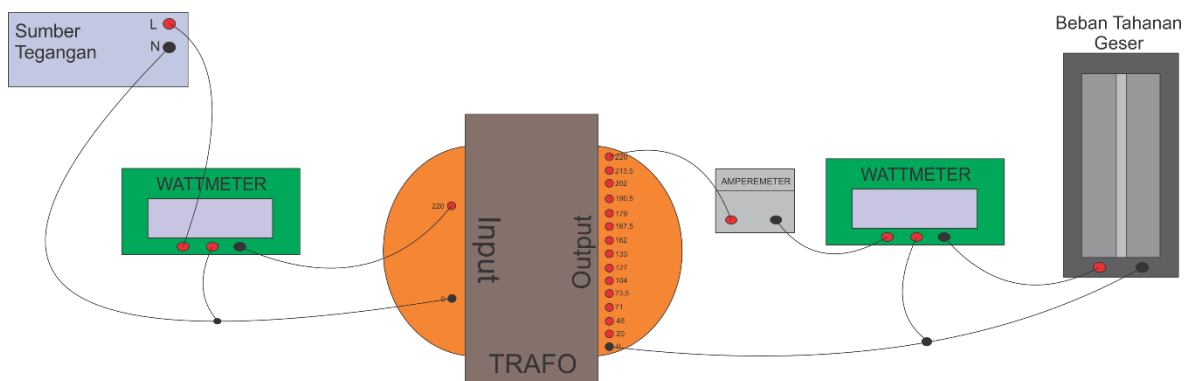
1. Sumber tegangan jala-jala
2. Transformator satu fasa
3. Amperemeter
4. Wattmeter
5. Kabel Penghubung
6. Beban tahanan geser

##### 4.2.2 Prosedur Percobaan

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan transformator satu fasa dengan peralatan lain seperti pada gambar 4.2.
2. Atur besar arus sebesar 3,5 A dengan cara menggeser beban tahanan geser.

3. Catat besar daya masukan (Pin) dan daya keluaran (Pout) yang ditunjukkan oleh wattmeter.
4. Lakukan kembali langkah-langkah sebelumnya untuk arus beban 4,0 A dan 4,5 A.



Gambar 4.2 Rangkaian pengujian untuk penentuan efisiensi transformator satu fasa

#### 4.2.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian transformator satu fasa didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3

Hasil pengujian efisiensi transformator satu fasa

Arus beban (A)	Daya masukan (W)	Daya keluaran (W)
3,5	840,0	695,0
4,0	935,0	775,0
4,5	1060,0	875,0

#### 4.2.4 Perhitungan dan Analisis Hasil Pengujian

Efisiensi transformator dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-14).

- Efisiensi transformator pada saat arus beban 3,5 A.

$$\eta = \frac{695}{840} \times 100\% = 82,73 \%$$

- Efisiensi transformator pada saat arus beban 4,0 A.

$$\eta = \frac{775}{935} \times 100\% = 82,88 \%$$

- Efisiensi transformator pada saat arus beban 4,5 A.

$$\eta = \frac{875}{1060} \times 100\% = 82,54 \%$$

Dapat dilihat pada perhitungan diatas bahwa transformator memiliki efisiensi sebesar 82,73 % pada arus beban 3,5 A, 82,88 % pada arus beban 4,0 A, dan 82,54 % pada arus beban 4,5 A.

### 4.3 Pengujian Transformator Satu Fasa

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan keluaran pada setiap tap tegangan transformator satu fasa sebanyak 3 buah sebelum dihubung Y-Y. Pada pengujian ini besar tegangan keluaran pada ketiga transformator harus saling mendekati nilainya agar transformator dapat dihubung tiga fasa.

#### 4.3.1 Peralatan

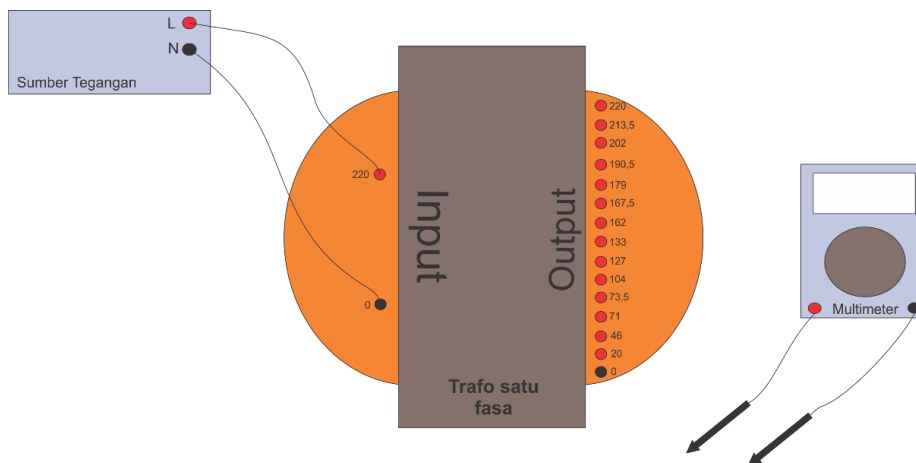
Peralatan pengujian yang diperlukan untuk pengujian transformator satu fasa adalah sebagai berikut:

1. Sumber tegangan jala-jala
2. Transformator satu fasa sebanyak 3 buah
3. Multimeter
4. Kabel Penghubung

#### 4.3.2 Prosedur Percobaan

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan transformator satu fasa dengan peralatan lain seperti pada gambar 4.3.
2. Ukur tegangan keluaran (L-N) pada setiap tap tegangan transformator satu fasa dengan menggunakan multimeter.
3. Catat besar tegangan pada setiap tap tegangan transformator satu fasa.
4. Lakukan kembali langkah-langkah sebelumnya untuk kedua transformator satu fasa yang lainnya.



Gambar 4.3 Rangkaian pengujian transformator satu fasa

#### 4.3.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian transformator satu fasa didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

*Tabel 4.4*  
**Hasil Pengujian Transformator Satu Fasa**

<b>Trafo A</b>	<b>Trafo B</b>	<b>Trafo C</b>
219,1	221,4	221,0
212,1	215,7	214,3
200,2	204,3	203,0
188,9	193,0	191,6
176,8	181,8	180,4
171,6	169,9	168,1
166,2	164,4	162,6
136,7	134,5	133,6
130,6	128,2	127,5
107,0	104,9	104,4
76,0	74,3	73,6
73,3	71,8	71,3
47,5	46,4	46,0
20,9	20,06	19,8

#### **4.3.4 Analisis Hasil Pengujian**

Pada tabel 4.3 diketahui bahwa besar nilai tegangan yang terukur pada setiap tap tegangan ketiga transformator satu fasa saling mendekati. Maka ketiga transformator satu fasa dapat dihubung tiga fasa (Y-Y).

#### **4.4 Pengujian Transformator Tiga Fasa**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran (L-L) dari transformator tiga fasa hub (Y-Y) yang akan digunakan. Tegangan keluaran (L-L) dari transformator tiga fasa hub (Y-Y) harus sesuai atau mendekati dengan tegangan (L-L) yang diperlukan untuk praktikum di laboratorium Mesin Elektrik.

##### **4.4.1 Peralatan**

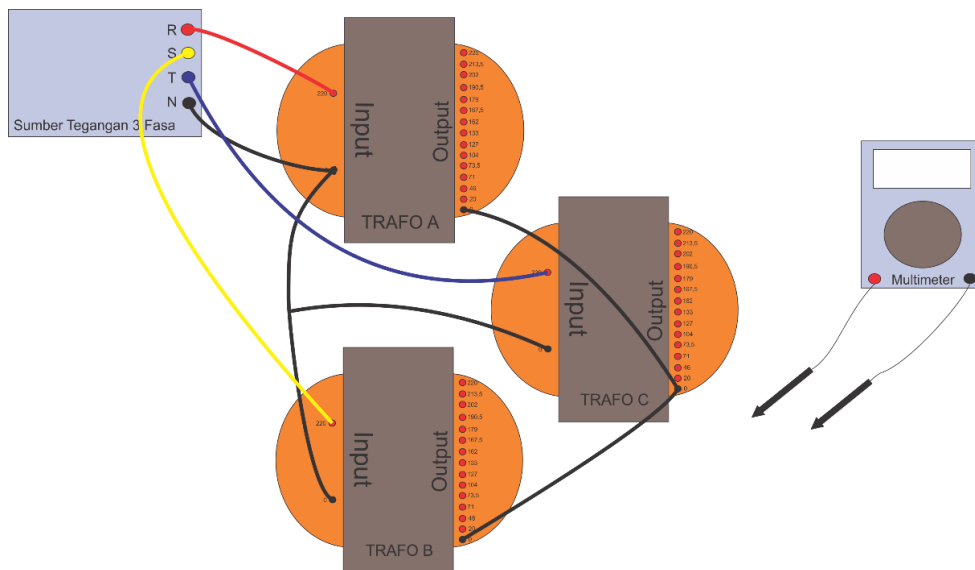
Peralatan pengujian yang diperlukan untuk pengujian transformator tiga fasa adalah sebagai berikut:

1. Sumber tegangan jala-jala tiga fasa
2. Transformator tiga fasa hub (Y-Y)
3. Multimeter
4. Kabel Penghubung

#### 4.4.2 Prosedur Percobaan

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan transformator tiga fasa hub (Y-Y) dengan peralatan lain seperti pada gambar 4.4.
2. Ukur tegangan keluaran (L-L) pada setiap tap tegangan transformator tiga fasa dengan menggunakan multimeter. Tegangan keluaran (L-L) akan diukur setiap tapnya antara fasa R dengan fasa S, fasa R dengan fasa T dan fasa S dengan fasa T.
3. Catat besar tegangan pada tiap-tiap tap transformator tiga fasa.



Gambar 4.4 Rangkaian Pengujian Transformator Tiga Fasa

#### 4.4.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian transformator tiga fasa didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5

Hasil Pengujian Transformator Tiga Fasa

Nomor Tap	Tegangan Keluaran (L-L) Transformator tiga fasa hub (Y-Y)		
	R – S	R – T	S – T
1	377,9	376,0	378,3
2	368,2	366,7	367,0
3	345,1	347,4	348,3
4	327,3	325	329,7
5	307,5	306,6	310,5
6	289,0	289,6	289,5
7	278,4	280,4	280,2



Nomor Tap	Tegangan Keluaran (L-L) Transformator tiga fasa hub (Y-Y)		
	R – S	R – T	S – T
8	228,0	230,8	230,0
9	217,9	220,8	219,8
10	178,7	180,7	179,8
11	126,7	128,2	127,5
12	122,3	123,4	122,7
13	79,1	80,0	79,3
14	34,5	34,8	34,2

#### 4.4.4 Analisis Hasil Pengujian

Pada tabel 4.5 diketahui bahwa besar nilai tegangan keluaran (L-L) transformator tiga fasa hub (Y-Y) mendekati dengan besar tegangan tiga fasa yang diperlukan untuk praktikum di laboratorium Mesin Elektrik. Maka transformator tiga fasa hub (Y-Y) dapat digunakan untuk pembuatan alat.

#### 4.5 Pengujian *Driver Relay*

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja relay yang akan digunakan. Adapun kinerja relay yang diinginkan yaitu kondisi relay sesuai dengan logika yang telah dibuat dalam *listing program*. Pengujian dilakukan pada 42 buah relay yang akan digunakan untuk pembuatan alat.

##### 4.5.1 Peralatan

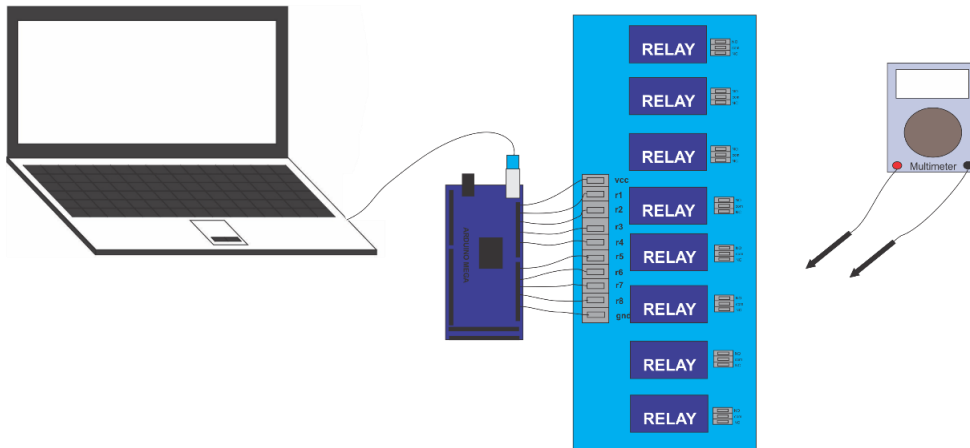
Peralatan yang diperlukan untuk pengujian driver relay adalah sebagai berikut:

1. Arduino
2. *Driver relay*
3. Multimeter
4. Kabel Penghubung
5. Laptop

##### 4.5.2 Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan pada pengujian *driver relay* adalah sebagai berikut:

1. Membuat listing program sederhana untuk relay.
2. Menghubungkan pin logika relay dengan pin arduino sesuai dengan program Arduino.
3. Memberikan logika HIGH atau LOW pada pin logika relay.
4. Menghubungkan relay dengan peralatan lain seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian Pengujian *Driver Relay*

Pada gambar 4.4 *driver relay* dihubungkan dengan pin logika arduino. Kemudian setiap relay diperiksa pin com dan NO menggunakan multimeter untuk mengetahui kondisi dari relay. Adapun laptop digunakan untuk membuat dan mengunggah listing program yang telah dibuat ke Arduino serta sebagai suplai tegangan Arduino dan *driver relay*.

#### 4.5.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian *driver relay* didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6

Hasil Pengujian *Driver Relay*

Relay	Logika	Kondisi	NO dan com
Relay 1	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 2	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 3	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 4	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak AKtif	Tidak Terhubung
Relay 5	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 6	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 7	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung

<b>Relay</b>	<b>Logika</b>	<b>Kondisi</b>	<b>NO dan com</b>
Relay 8	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 9	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 10	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 11	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 12	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 13	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 14	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 15	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 16	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 17	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 18	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 19	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 20	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 21	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 22	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 23	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung

<b>Relay</b>	<b>Logika</b>	<b>Kondisi</b>	<b>NO dan com</b>
Relay 24	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 25	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 26	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 27	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 28	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 29	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 30	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 31	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 32	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 33	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 34	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 35	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 36	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 37	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 38	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 39	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung

Relay	Logika	Kondisi	NO dan com
Relay 40	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 41	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung
Relay 42	LOW	Aktif	Terhubung
	HIGH	Tidak Aktif	Tidak Terhubung

#### 4.5.4 Analisis Hasil Pengujian

Pada tabel 4.6 diketahui bahwa relay akan aktif jika diberikan logika LOW dan tidak aktif jika diberikan logika HIGH. Saat Relay aktif maka pin NO dan com akan terhubung dan pin NC dan com akan terputus sedangkan saat Relay tidak aktif maka pin NC dan com akan terhubung dan pin NO dan com akan terputus.

#### 4.6 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengkalibrasi nilai pembacaan sensor dengan nilai pembacaan multimeter sehingga diperoleh hasil pembacaan yang sebenarnya. Kalibrasi ini bertujuan untuk menyamakan hasil pembacaan sensor tegangan yang berupa ADC dengan pembacaan multimeter.

##### 4.6.1 Peralatan

Peralatan pengujian yang diperlukan untuk pengujian sensor tegangan adalah sebagai berikut:

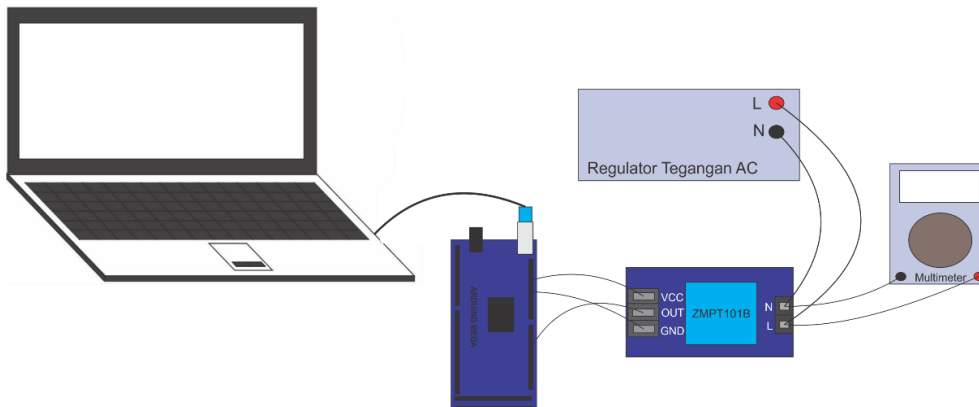
1. Sensor Tegangan ZMPT101B
2. Arduino
3. Laptop
4. Multimeter
5. Pengatur Tegangan
6. Kabel penghubung

##### 4.6.2 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat listing program untuk kalibrasi sensor tegangan.
2. Hubungkan sensor tegangan ZMPT101B pada pin VCC ke 5 V Arduino, pin GND pada GND ground arduino dan pin Out ke Analog A1 arduino seperti pada gambar
3. Hubungkan sensor tegangan dengan regulator tegangan AC dan Multimeter seperti pada gambar

4. Lihat hasil pembacaan sensor tegangan ZMPT101B pada serial monitor arduino dan bandingkan nilai pembacaannya dengan multimeter.



Gambar 4.6 Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B

Pada Gambar pin VCC, GND, dan *OUT* sensor tegangan ZMPT101B dihubungkan dengan Arduino untuk memasukkan data pembacaan sensor. Kemudian dihubungkan dengan regulator tegangan AC dan dihubungkan paralel dengan multimeter. Regulator tegangan AC berfungsi untuk mengatur besar tegangan yang akan dibaca sensor dan multimeter. Laptop berfungsi untuk mengunggah program dan mencau arduino serta menampilkan hasil pembacaan dari sensor tegangan.

#### 4.6.3 Hasil Pengujian

Dari pengujian sensor tegangan didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7

Hasil pembacaan ADC Sensor Tegangan ZMPT101B

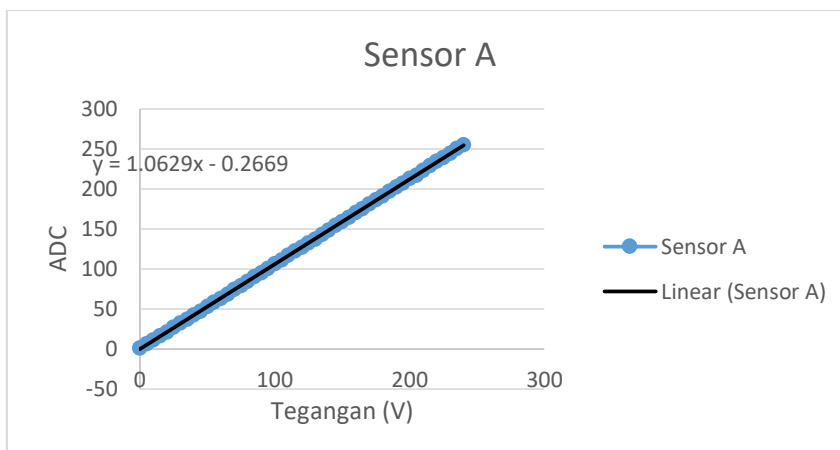
Tegangan (V)	ADC Sensor A	ADC Sensor B	ADC Sensor C
0	6	1	1
5	9	8	6
10	14	13	11
15	20	19	16
20	24	25	21
25	30	30	27
30	36	36	32
35	44	42	37
40	46	47	42
45	51	54	47
50	56	59	53

<b>Tegangan (V)</b>	<b>ADC Sensor A</b>	<b>ADC Sensor B</b>	<b>ADC Sensor C</b>
55	62	65	58
60	68	71	63
65	72	77	68
70	78	83	74
75	84	89	79
80	90	95	84
85	95	100	90
90	100	106	95
95	106	112	100
100	112	118	106
105	117	124	111
110	123	130	117
115	128	136	122
120	134	142	127
125	138	148	132
130	144	153	137
135	150	159	143
140	156	165	148
145	161	171	154
150	166	177	159
155	172	183	164
160	178	189	170
165	184	195	175
170	188	201	181
175	194	207	186
180	200	214	191
185	205	219	197
190	211	225	202
195	217	231	207
200	222	238	213
205	228	243	217
210	234	249	223

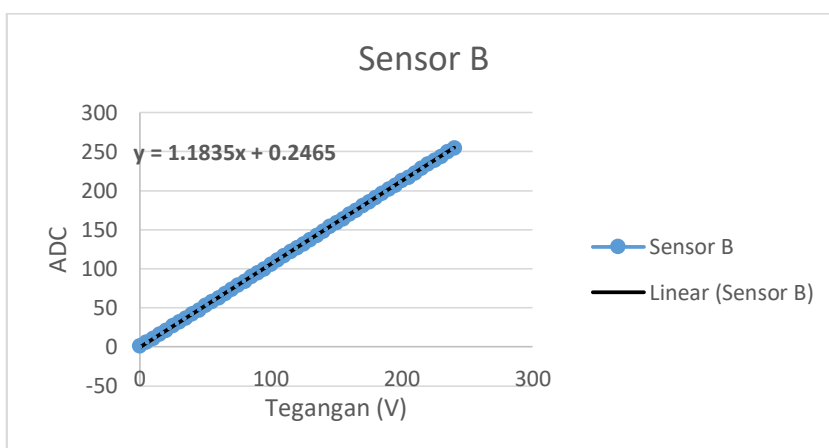
Tegangan (V)	ADC Sensor A	ADC Sensor B	ADC Sensor C
215	239	255	229
220	245	261	234
225	251	267	239
230	256	274	244
235	261	279	250
240	266	286	255

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pembacaan nilai ADC dari tiap sensor tegangan. Karena nilai ADC dari sensor tegangan selalu berubah-ubah maka nilai ADC yang dicatat merupakan nilai ADC dominan pada nilai tegangan tersebut.

Berdasarkan nilai selisih ADC tiap sensor, berikut gambar 4.7 dan gambar 4.8 dan gambar 4.9 merupakan grafik pembacaan ADC masing-masing sensor terhadap tegangan hasil regresi menggunakan metode regresi linier yang dilakukan menggunakan *microsoft excel* dengan metode *trendline*.

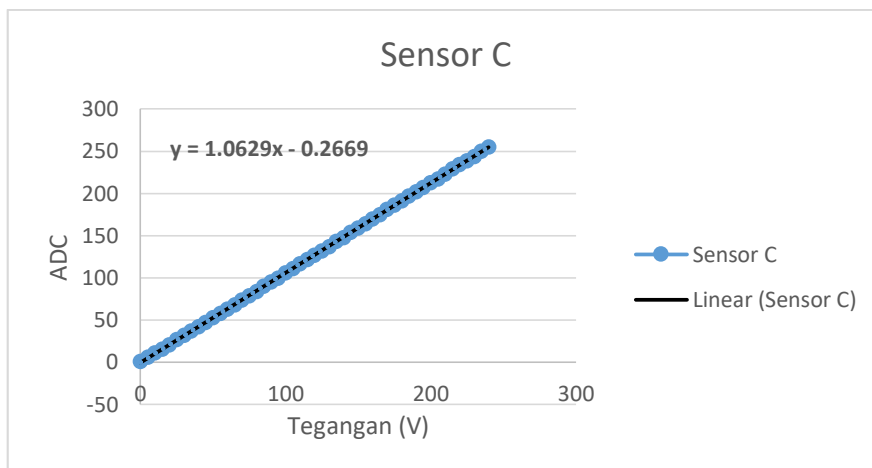


Gambar 4.7 Grafik Hasil Regresi Linier Sensor A



Gambar 4.8 Grafik Hasil Regresi Linier Sensor B





Gambar 4.9 Grafik Hasil Regresi Linier Sensor C

Ketiga grafik tersebut kemudian diregresi dengan menggunakan metode trendline hingga didapatkan persamaan garis lurusnya. Setelah didapatkan persamaan dari metode *trendline*, maka hasil pembacaan tegangan oleh sensor tegangan dan besarnya kesalahan pembacaan pada ketiga sensor tegangan dapat diketahui.

Tabel 4.8

Hasil Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B

Volt (V)	Sensor A		Sensor B		Sensor C	
	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)
0	0,55	55,00	0,79	79,00	1,22	122,00
5	6,16	23,20	6,88	37,60	7,48	49,60
10	11,39	13,90	12,30	23,00	10,57	5,70
15	15,62	4,13	16,75	11,60	17,18	14,53
20	19,72	1,40	21,35	6,75	21,21	6,05
25	26,66	6,64	25,87	3,48	25,56	2,24
30	31,85	6,16	31,55	6,16	30,78	2,60
35	36,92	5,48	36,56	4,45	35,98	2,80
40	41,00	2,50	41,29	3,25	40,78	1,95
45	46,08	2,40	44,65	0,77	46,56	3,46
50	51,15	2,30	52,85	5,70	51,23	2,46
55	56,38	2,51	57,66	4,83	55,87	1,58
60	61,30	2,16	61,80	3,00	60,87	1,45
65	66,38	2,12	64,90	0,15	65,87	1,33
70	71,61	2,30	71,35	1,92	70,67	0,95

Volt (V)	Sensor A		Sensor B		Sensor C	
	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)
75	74,68	0,42	76,90	2,53	75,74	0,98
80	81,76	2,20	81,22	1,52	81,21	1,51
85	86,84	2,16	87,20	2,58	85,54	0,63
90	91,76	1,95	90,92	1,02	90,23	0,25
95	94,38	0,65	96,27	1,33	95,65	0,68
100	100,91	0,91	101,20	1,20	100,67	0,67
105	104,98	0,02	106,53	1,45	106,32	1,25
110	111,06	0,96	110,60	0,54	110,98	0,89
115	115,14	0,12	116,32	1,14	115,78	0,67
120	121,21	1,08	120,54	0,45	120,98	0,81
125	126,29	1,03	125,74	0,59	125,45	0,36
130	131,36	1,04	130,52	0,40	131,78	1,36
135	136,44	1,06	135,73	0,54	136,23	0,91
140	141,36	0,97	140,87	0,62	140,45	0,32
145	144,44	0,38	146,23	0,84	146,32	0,91
150	149,51	0,32	150,79	0,52	151,98	1,32
155	155,59	0,38	155,87	0,56	154,67	0,21
160	161,66	1,03	160,23	0,14	161,51	0,94
165	166,74	1,05	165,65	0,39	166,27	0,76
170	171,97	1,15	170,42	0,24	171,45	0,85
175	176,89	1,08	174,87	0,07	175,97	0,55
180	181,12	0,62	180,76	0,42	180,32	0,17
185	186,04	0,56	185,65	0,35	186,23	0,66
190	191,27	0,66	190,45	0,23	190,37	0,19
195	196,19	0,61	195,43	0,22	195,88	0,45
200	201,27	0,63	200,87	0,43	201,53	0,76
205	206,19	0,58	205,45	0,21	205,98	0,47
210	211,57	0,74	210,78	0,37	210,12	0,05
215	216,50	0,69	215,65	0,30	216,25	0,58
220	219,57	0,19	220,39	0,17	221,53	0,69

Volt (V)	Sensor A		Sensor B		Sensor C	
	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)	Pembacaan (V)	Kesalahan (%)
225	226,49	0,66	226,22	0,54	226,22	0,54
230	231,57	0,68	231,21	0,52	230,53	0,23
235	236,49	0,63	235,45	0,19	235,98	0,41
240	241,88	0,78	242,40	1,00	243,09	1,20

#### 4.6.4 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pembacaan nilai ADC sensor tegangan ZMPT101B digunakan untuk melakukan perhitungan regresi linier pada masing – masing sensor dan didapatkan persamaan:

$$\text{Sensor A : } x = \frac{y+0,2669}{1,0629}$$

$$\text{Sensor B : } x = \frac{y-0,2465}{1,1835}$$

$$\text{Sensor C : } x = \frac{y+0,2669}{1,0629}$$

Di mana,  $x$  = arus hasil pembacaan sensor

$y$  = nilai ADC dari sensor

Berdasarkan hasil pengujian sensor tegangan didapatkan nilai kesalahan pembacaan sensor sesuai dengan tabel 4.8. Karena hasil pembacaan tegangan oleh sensor mendekati nilai aslinya maka kalibrasi sensor telah sesuai.

#### 4.7 Perancangan Penurun Tegangan Tiga Fasa dengan Transformator Tap berbasis Arduino

Perancangan penurun tegangan tiga fasa dengan transformator tap berbasis arduino bertujuan untuk menghubungkan perangkat lunak dengan perangkat keras alat. Sehingga didapatkan kerja alat yang sesuai dengan fungsinya. Adapun rancangan keseluruhan ini dirancang sesuai dengan gambar 3.9, sedangkan untuk pembuatan sistem disesuaikan dengan gambar 4.10.

Komponen dari penurun tegangan tiga fasa dengan tap transformator berbasis arduino untuk Laboratorium Mesin Elektrik terdiri dari adaptor 9 V yang berfungsi untuk memberi suplai tegangan pada mikrokontroler dan peralatan elektronik lainnya. Mikrokontroler terhubung pada *driver relay* dan LCD sebagai *output* dan *keypad* serta sensor arus sebagai *input*. Besar tegangan keluaran pada alat akan diatur dengan menekan tombol pada *keypad*.

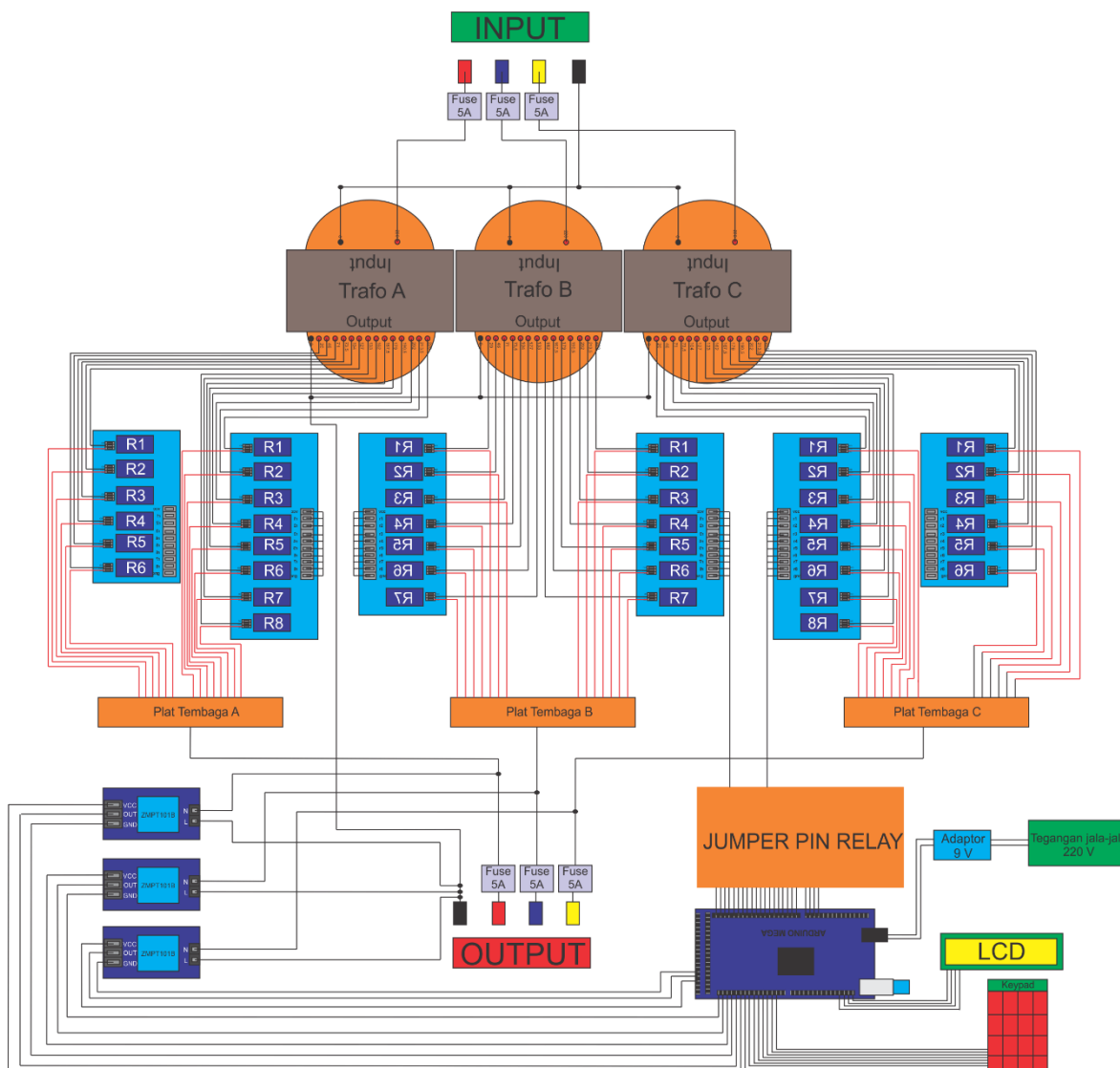
Dapat dilihat pada tabel 4.9 untuk pengaturan tegangan keluaran alat dengan menggunakan keypad.

Tabel 4.9

Pengaturan tegangan keluaran alat dengan menggunakan keypad

Tombol Keypad	Besar Tegangan Keluaran Alat (V)
1	35
2	80
3	123
A	127
4	180
5	220
6	230
B	280
7	290
8	310
9	330
C	350
*	370
0	380

Tabel 4.9 menunjukkan pengaturan tegangan dengan menggunakan keypad. Jika tombol “1” pada keypad ditekan maka tegangan keluaran alat sebesar 35 V dan seterusnya.



Gambar 4.10 Rancangan Keseluruhan Penurun Tegangan Tiga Fasa

Pada gambar 4.10 sumber tegangan jala-jala digunakan untuk mencatu arduino yang dihubungkan ke adaptor 9 V terlebih dahulu. Ketiga transformator dihubungkan wye-wye (Y-Y), lalu keluaran dari transformator tiga fasa sebanyak 42 macam tegangan (14 macam tegangan keluaran pada setiap transformator) dihubungkan dengan relay 5 V yaitu sebanyak 42 buah. Relay 5 V tersebut dikendalikan oleh arduino dengan menghubungkan ke pin digital 22 – 36. Pin digital yang dibutuhkan untuk rancangan ini sebanyak 14 buah karena pengatur tegangan ini memiliki 14 macam tegangan keluaran, sehingga relay sebanyak 42 buah tadi dihubung paralel menggunakan *Jumper Pin Relay* untuk setiap 3 buah relay yang tegangan keluarannya sama tetapi berbeda trafo agar ketiga relay bekerja secara bersamaan saat pergantian tap tegangan. Relay dicatu oleh arduino dengan menghubungkan pin VCC pada relay dengan pin 5 V pada arduino.

Keluaran dari relay dihubungkan ke plat tembaga, untuk keluaran relay dari Trafo A dihubungkan pada plat tembaga A, keluaran relay Trafo B dihubungkan pada plat tembaga B, dan keluaran relay Trafo C dihubungkan pada plat tembaga C. Selanjutnya Plat Tembaga A dihubungkan dengan sensor Tegangan A dan sisi output sebagai fasa R, plat tembaga B dihubungkan dengan sensor tegangan B dan sisi output sebagai fasa S, plat tembaga C dihubungkan dengan sensor tegangan C dan sisi *output* sebagai fasa T dan netral sisi sekunder trafo dihubungkan dengan ketiga sensor tegangan dan sisi output sebagai Netral.

Sensor tegangan berfungsi untuk memonitor besar tegangan keluaran pada setiap fasa apakah sesuai dengan tegangan yang diinginkan apabila tidak sesuai semua relay akan terputus. Sisi *input* dan *output* dihubungkan dengan fuse 5A yang berguna untuk proteksi.

#### **4.7.1 Pengujian Penurun Tegangan Tiga Fasa dengan Transformator Tap berbasis Arduino**

Pengujian Penurun Tegangan Tiga Fasa dengan Transformator Tap berbasis Arduino bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kesesuaian alat dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya. Adapun kesesuaian alat yang diharapkan yaitu alat dapat mengeluarkan tegangan sesuai dengan yang diperlukan untuk ppraktikum dan dapat digunakan untuk kepentingan praktikum di Laboratorium Mesin Elektrik.

#### **4.7.2 Peralatan**

Peralatan pengujian yang dibutuhkan untuk pengujian Penurun Tegangan Tiga Fasa dengan Transformator Tap berbasis Arduino ini yaitu:

1. Alat Penurun Tegangan Tiga Fasa dengan Transformator Tap berbasis Arduino
2. Motor Induksi tiga fasa 370 W
3. Power Analyzer 3 fasa
4. Kabel penghubung
5. Sumber jala-jala 3 fasa

#### **4.7.3 Prosedur Percobaan**

Pengujian yang pertama yaitu pengujian sistem proteksinya. Untuk prosedur pengujiannya yaitu:

1. Membuat listing program alat penurun tegangan tiga fasa.
2. Menghubungkan alat penurun tegangan tiga fasa dengan sumber jala-jala tiga fasa.
3. Mengatur besar tegangan keluaran alat penurun tegangan tiga fasa sebesar 35 V, lalu putuskan catu daya pada relay fasa R yang terhubung dengan tap 35 V sehingga relay akan dalam keadaan *open* dan tegangan yang terbaca oleh sensor bernilai 0 V.

4. Lakukan kembali prosedur nomor 3 dengan tegangan keluaran dan relay fasa yang lainnya

Pengujian yang kedua yaitu pengujian besar tegangan keluaran dari penurun tegangan tiga fasa setelah diberi beban. Beban yang digunakan yaitu motor induksi 3 fasa 370 W. Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat listing program alat penurun tegangan tiga fasa.
2. Menghubungkan alat penurun tegangan tiga fasa dengan sumber jala-jala tiga fasa, power analyzer tiga fasa dan motor induksi tiga fasa.
3. Naikkan tegangan secara berurutan sesuai tap tegangan yang tersedia dengan menekan keypad pada alat penurun tegangan tiga fasa.
4. Catat tegangan dan arus yang terukur pada power analyzer tiga fasa pada setiap besar tegangan.

#### 4.7.4 Hasil Pengujian

Dari pengujian alat penurun tegangan tiga fasa yang pertama didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.10, tabel 4.11 dan tabel 4.12.

Tabel 4.10

Tabel Hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat Relay A *open*

<b>Tegangan (V)</b>	<b>Relay A</b>	<b>Relay B</b>	<b>Relay C</b>	<b>Kondisi</b>
35	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
80	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
123	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
127	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
180	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
220	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
230	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
280	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
290	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
310	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
330	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
350	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
370	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
380	<i>Open</i>	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja

Dapat dilihat pada tabel 4.7 hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat relay A dalam keadaan *open* pada semua jenis besar tegangan proteksi bekerja.

Tabel 4.11

Hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat Relay B *open*

<b>Tegangan (V)</b>	<b>Relay A</b>	<b>Relay B</b>	<b>Relay C</b>	<b>Kondisi</b>
35	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
80	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
123	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
127	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
180	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
220	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
230	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
280	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
290	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
310	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
330	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
350	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
370	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja
380	<i>Close</i>	<i>Open</i>	<i>Close</i>	Proteksi bekerja

Dapat dilihat pada tabel 4.8 hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat relay B dalam keadaan *open* pada semua jenis besar tegangan proteksi bekerja.

Tabel 4.12

Hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat Relay C *open*

<b>Tegangan (V)</b>	<b>Relay A</b>	<b>Relay B</b>	<b>Relay C</b>	<b>Kondisi</b>
35	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
80	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
123	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
127	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
180	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
220	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
230	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja



Tegangan (V)	Relay A	Relay B	Relay C	Kondisi
280	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
290	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
310	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
330	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
350	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
370	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja
380	<i>Close</i>	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Proteksi bekerja

Dapat dilihat pada tabel 4.12 hasil pengujian sistem proteksi alat pada saat relay C dalam keadaan *open* pada semua jenis besar tegangan proteksi bekerja.



Gambar 4.11 Tampilan LCD saat terjadi gangguan

Gambar 4.11 menampilkan tampilan LCD saat terjadi gangguan pada relay. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa terjadi gangguan pada relay yang terhubung dengan tap tegangan 35 V.

Dari pengujian alat pengatur tegangan tiga fasa yang kedua didapatkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13

Hasil Pengujian Tegangan Keluaran saat Alat diberi Beban

Tap	Tegangan (V)		
	Fasa (R-S)	Fasa (S-T)	Fasa (T-R)
1	35,22	35,09	34,80
2	80,69	80,44	80,64
3	123,50	124,10	123,72
4	128,62	128,39	128,19
5	181,30	182,96	182,21

Tap	Tegangan (V)		
	Fasa (R-S)	Fasa (S-T)	Fasa (T-R)
6	222,30	221,17	222,90
7	232,82	231,55	232,26
8	282,06	281,01	282,04
9	290,42	292,25	292,91
10	310,42	316,09	308,08
11	330,58	332,57	329,26
12	349,72	352,58	349,56
13	369,06	371,79	368,99
14	380,60	382,34	379,50

Dapat dilihat pada tabel 4.12 bahwa nilai tegangan keluaran alat penurun tegangan tiga fasa pada saat diberi beban masih mendekati dengan yang diperlukan untuk praktikum.

#### 4.7.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian alat penurun tegangan tiga fasa dengan transformator tap berbasis arduino untuk kepentingan praktikum di Laboratorium Mesin Elektrik pada pengujian pertama dapat dilihat pada tabel 4.10, tabel 4.11, dan 4.12 diketahui bahwa proteksi alat untuk mengatasi apabila ada relay yang tidak berfungsi, proteksi tersebut bekerja dengan baik untuk semua relay yang digunakan pada alat.

Berdasarkan hasil pengujian tegangan keluaran dari alat pengatur tegangan tiga fasa dengan transformator tap berbasis arduino untuk kepentingan praktikum di Laboratorium Mesin Elektrik dapat dilihat pada tabel 4.13 bahwa tegangan keluaran tiga fasa pada saat alat diberi beban, tegangan tidak mengalami drop tegangan yang besar dan nilai tegangan keluar tersebut masih mendekati tegangan yang diperlukan untuk praktikum.

Berdasarkan hasil dari kedua pengujian alat penurun tegangan tiga fasa dengan transformator tap berbasis arduino untuk Laboratorium Mesin Elektrik menunjukkan sesuai dengan rancangan sebelumnya.