



**SIMULASI *SINGLE PHASE AUTOMATIC LOAD SHARING* DAN *PHASE SHIFTING* UNTUK PENYEIMBANG BEBAN SISTEM TRANSFORMATOR 3 FASA BERBASIS ARDUINO ATMEGA 2560**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Disusun oleh

Syahdun Nurzaqi

NIM. 40040619683053

**PROGRAM STUDI STR TEKNIK LISTRIK INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS SEKOLAH VOKASI  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2023**

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**SIMULASI *SINGLE PHASE AUTOMATIC LOAD SHARING* DAN *PHASE SHIFTING* UNTUK SISTEM PENYEIMBANG BEBAN TRANSFORMATOR 3 FASA BERBASIS ARDUINO ATMEGA 2560**

Diajukan oleh :  
Syahdun Nurzaqi  
NIM. 40040619683053

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



Yuniarto, S.T., M.T.

NIP. 197106151998021001

Tanggal : 10 Juli 2023

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

Departemen Teknik Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, S.T., M.Kom.

NIP. 197710012001121002

Tanggal : 28 Juli 2023

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**SIMULASI SINGLE PHASE AUTOMATIC LOAD SHARING DAN PHASE  
SHIFTING UNTUK PENYEIMBANG BEBAN SISTEM  
TRANSFORMATOR 3 FASA BERBASIS ARDUINO ATMEGA 2560**

Diajukan oleh :

Syahdun Nurzaqi


NIM. 40040619683053

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada,


Hari : Kamis

Tanggal : 20 Juli 2023


Penguji I

  
Priyo Sasmoko, S. T., M. Eng.  
NIP. 197009161998021001

Penguji II

  
Drs. Eko Ariyanto, M.T.  
NIP. 196004051986021001

Penguji III

  
Yuniarto, S.T., M.T.  
NIP. 197106151998021001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri  
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi  
Universitas Diponegoro

  
Arkhan Subari, S.T., M.Kom.

NIP. 197710012001121002

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syahdun Nurzaqi  
NIM : 40040619683053  
Program Studi : S.Tr. Teknik Listrik Industri  
Judul Tugas Akhir : **SIMULASI *SINGLE PHASE AUTOMATIC LOAD SHARING* DAN *PHASE SHIFTING* UNTUK PENYEIMBANG BEBAN SISTEM TRANSFORMATOR 3 FASA BERBASIS ARDUINO ATMEGA 2560**

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 05 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Syahdun Nurzaqi

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Simulasi *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa Berbasis Arduino ATmega 2560” dipersembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat serta motivasi selama menjalani proses perkuliahan dan dalam kehidupan.
2. Teman-teman Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang selalu memberikan dukungan.
3. Teman-teman Kelas Kerjasama PLN 2019, Alan Pungguh W., Athaya Laili F., Aulia Nurul Y., Dhika Pahleva K., Eka Ayu K., Firman Ardhyansyah K., Hafizh Dimas W., Hayun Saputri, Himatun Aufa U., Lalu Thariq Darlyn P., Lambang Galih W., Latiefa Achsani Y. S., Mahfudhoh Ulin N., M. Adam Hanif I., M. Khoirurrijal, Prawira Duta K., dan Rama Alya R. P.
4. Keluarga besar PT PLN Unit Layanan Pelanggan Purbalingga yang telah memberikan pandangan dan pengalaman baru selama melaksanakan magang.
5. Saudara saya Irfan Adhyansyah, A.Md. T. yang telah banyak membantu keberlangsungan dan kelancaran dalam tugas akhir.
6. Kepada Putri Aisyah Safitri yang telah banyak memberikan dorongan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.
7. Kepada semua pihak yang telah mendukung dan mendoakan saya dalam penyelesaian laporan ini.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Simulasi *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* Untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa Berbasis Arduino ATmega 2560**” ini dengan baik. Penulis dengan sekuat tenaga telah mencurahkan segala kemampuan yang dimiliki untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan harapan dapat menjadi bahan bacaan dan suatu karya yang memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr).

Penulis menyadari dalam menyusun proposal tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, yang selalu memberikan semangat, dukungan, saran, dan masukan yang sangat berarti hingga terselesaikannya skripsi ini, oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

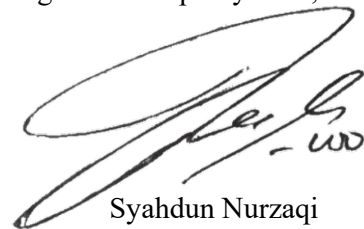
1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat serta motivasi selama menjalani proses perkuliahan dan dalam kehidupan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyono, M. Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Bapak Arkhan Subari, ST, M.Kom. selaku Ketua Program Studi STr Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Yuniarto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Drs. Eko Ariyanto, M.T. selaku Dosen Wali kelas PLN yang telah banyak membantu dan mengarahkan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

7. Keluarga besar Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
8. Saudara saya Irfan Adhyansyah, A.Md. T. yang telah banyak membantu keberlangsungan dan kelancaran dalam tugas akhir.
9. Kepada Putri Aisyah Safitri yang telah banyak memberikan dorongan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir.

Penulis menyadari di dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan baik dalam segi materi ataupun penulisan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini dapat berguna bagi penulis pada khususnya dan para pembaca umumnya.

Semarang, 05 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Syahdun Nurzaqi

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>20</b>
1.1 Latar Belakang.....	20
1.2 Rumusan Masalah.....	22
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	22
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	23
1.5 Batasan Masalah .....	24
1.6 Sistematika Penulisan .....	25
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>27</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	27
2.2 Landasan Teori .....	29



2.2.1 Transformator .....	29
2.2.2 Ketidakseimbangan Beban ( <i>Unbalance</i> ) .....	30
2.2.3 Dampak Ketidakseimbangan Beban.....	35
2.2.4 Persentase Pembebanan Transformator.....	35
2.2.5 Instrumentasi dan Pengukuran.....	36
2.2.6 Arduino ATmega 2560 <i>Built in Wifi</i> .....	37
2.2.7 Modul Sensor PZEM-004T .....	42
2.2.8 Modul Relai .....	43
2.2.9 Driver Relai .....	45
2.2.10 Catu Daya/ <i>Power Supply</i> .....	47
2.2.11 Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa .....	49
2.2.12 LCD ( <i>Liquid Crystal Display</i> ) dan Modul I2C LCD .....	49
2.2.13 Arduino IDE.....	50
2.2.14 <i>Thinger.io</i> .....	51
2.2.15 Protokol Komunikasi Serial UART .....	52
2.2.16 Protokol Komunikasi <i>Internet of Things</i> .....	53
<b>BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>56</b>
3.1 Perancangan <i>Hardware</i> .....	56
3.1.1 Perancangan Kerangka Alat .....	56
3.1.2 Perancangan Kerangka Modul Beban .....	57
3.1.3 Perancangan <i>Wiring</i> Sensor PZEM-004T .....	58
3.1.4 Perancangan <i>Wiring</i> Relai DC 5V.....	60
3.1.5 Perancangan <i>Wiring</i> Modul Beban.....	61
3.1.6 Perancangan <i>Wiring Push Button</i> .....	62
3.1.7 Perancangan <i>Wiring Keseluruhan</i> .....	63

3.2	Blok Diagram Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	63
3.2.1	Cara Kerja Rangkaian .....	64
3.3	Perancangan <i>Software</i> .....	70
3.3.1	IoT ( <i>Internet of Things</i> ) .....	70
3.3.2	Arduino ATmega2560 .....	71
3.3.3	<i>Flowchart</i> Program .....	72
3.3.4	Cara Kerja Berdasarkan <i>Flowchart</i> .....	73
<b>BAB IV PEMBUATAN ALAT .....</b>		<b>78</b>
4.1	Alat dan Bahan Pembuatan Alat .....	78
4.2	Pembuatan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	79
4.2.1	Pembuatan <i>Hardware</i> Modul Sistem Trafo .....	79
4.2.2	Pembuatan <i>Hardware</i> Modul Sistem .....	80
4.2.3	Pembuatan <i>Hardware</i> Modul Beban .....	85
4.3	Pembuatan <i>Software</i> .....	85
4.3.1	Program Arduino IDE .....	85
4.3.2	Program dan Interface Thinger.io .....	104
<b>BAB V PENGUKURAN DAN PENGUJIAN ALAT .....</b>		<b>111</b>
5.1	Pengukuran .....	111
5.1.1	Pengukuran Tegangan Kerja Komponen .....	112
5.1.2	Pengukuran Kalibrasi Sensor PZEM-004T .....	116
5.1.3	Analisis Kalibrasi <i>Error</i> Pembacaan Sensor PZEM-004T .....	119
5.2	Pengujian Kerja Sistem Prototipe .....	123
5.2.1	Langkah dan Prosedur Pengujian .....	123
5.2.2	Pengambilan Data Pengujian .....	125
5.3	Analisis Data Pengujian .....	132

5.3.1 Analisis Data dan Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan.....	132
5.3.1 Analisis Data dan Perhitungan Arus Netral.....	133
5.3.2 Analisis Data dan Perhitungan Rugi Daya .....	143
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>147</b>
6.1 Kesimpulan.....	147
6.2 Saran.....	148
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>149</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>151</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Skema Kerja Transformator .....	29
<b>Gambar 2. 2</b>	Vektor Beban Seimbang Sistem 3 Fasa.....	32
<b>Gambar 2. 3</b>	Vektor Ketidakseimbangan Beban Sistem 3 Fasa .....	34
<b>Gambar 2. 4</b>	Arduino Mega 2560.....	38
<b>Gambar 2. 5</b>	NodeMCU ESP8266.....	39
<b>Gambar 2. 6</b>	ATmega 2560 Built in ESP8266 .....	39
<b>Gambar 2. 7</b>	Dip Switching ATmega 2560 Built in ESP8266 .....	40
<b>Gambar 2. 8</b>	Switch Mode Komunikasi ATmega 2560 dan ESP8266.....	41
<b>Gambar 2. 9</b>	Tombol Mode Komunikasi ATmega 2560 dan ESP8266 .....	41
<b>Gambar 2. 12</b>	Rangkaian Driver Relai .....	45
<b>Gambar 3. 1</b>	Layout Desain Box Tampak Atas.....	56
<b>Gambar 3. 2</b>	Layout Desain Box Tampak Samping.....	57
<b>Gambar 3. 3</b>	Layout Modul Beban .....	57
<b>Gambar 3. 4</b>	Perancangan Wiring Sensor PZEM-004T .....	58
<b>Gambar 3. 5</b>	Perancangan Wiring Scheme Pin Software Serial.....	59
<b>Gambar 3. 6</b>	Perancangan Wiring Relai DC 5V.....	60
<b>Gambar 3. 7</b>	Perancangan Wiring Modul Beban.....	61
<b>Gambar 3. 8</b>	Perancangan Wiring Push Button.....	62
<b>Gambar 3. 9</b>	Perancangan Wiring Keseluruhan .....	63
<b>Gambar 3. 10</b>	Blok Diagram Perangkat Keras .....	64
<b>Gambar 3. 11</b>	Rancangan Dashboard Thinger.io .....	71
<b>Gambar 3. 12</b>	Flowchart Program .....	73
<b>Gambar 4. 1</b>	Pembuatan Wiring Modul Trafo.....	80
<b>Gambar 4. 2</b>	Pembuatan Lubang Box.....	81
<b>Gambar 4. 3</b>	Penataan dan Layouting Komponen.....	82
<b>Gambar 4. 4</b>	Pemasangan dan Wiring PZEM-004T.....	83
<b>Gambar 4. 5</b>	Penataan dan Pemasangan Wiring Modul Relai.....	84
<b>Gambar 4. 6</b>	Pemasangan Wiring LCD I2C .....	84

<b>Gambar 4. 7</b> Pembuatan Modul Beban.....	85
<b>Gambar 4. 8</b> Deklarasi Library Arduino IDE .....	86
<b>Gambar 4. 9</b> Deklarasi Pin Software Serial.....	86
<b>Gambar 4. 10</b> Addressing Sensor PZEM-004T.....	87
<b>Gambar 4. 11</b> Deklarasi Address Modul LCD I2C .....	87
<b>Gambar 4. 12</b> Deklarasi Penggunaan Pin Setiap Komponen .....	88
<b>Gambar 4. 13</b> Mendeklarasikan Kondisi State Relai dan Push Button .....	88
<b>Gambar 4. 14</b> Mendeklarasikan Variabel Perhitungan Unbalance.....	89
<b>Gambar 4. 15</b> Mendeklarasikan Variabel Penyimpan dan Interval Fungsi Millis .....	89
<b>Gambar 4. 16</b> Memberikan Fungsi Void Setup .....	90
<b>Gambar 4. 17</b> Memberikan Fungsi Void Loop Pengaturan LCD dan Push Button (a), (b) dan (c) .....	92
<b>Gambar 4. 18</b> Pendeklarasian Program Pembacaan Sensor PZEM-004T (a) dan (b).....	93
<b>Gambar 4. 19</b> Mendeklarasikan Sending Data Parsing ke-ESP8266 .....	94
<b>Gambar 4. 20</b> Pemberian Perintah Perhitungan Ketidakseimbangan Beban .....	95
<b>Gambar 4. 21</b> Pemberian Kondisi Kontrol Relai Fasa R Dari Push Button.....	96
<b>Gambar 4. 22</b> Deklarasi Fungsi Pemindahan Beban Fasa S.....	96
<b>Gambar 4. 23</b> Deklarasi Fungsi Pemindahan Beban Fasa T .....	97
<b>Gambar 4. 24</b> Deklarasi Library Thingier dan ESP8266WiFi .....	98
<b>Gambar 4. 25</b> Deklarasi Parameter Thingier.io dan Jaringan WiFi .....	99
<b>Gambar 4. 26</b> Pendeklarasian Variabel Penyimpan dan Interval Fungsi Millis ESP8266.....	100
<b>Gambar 4. 27</b> Mendeklarasikan Variabel Penerima dan Pengirim Data Parsing .....	100
<b>Gambar 4. 28</b> Pemberian Fungsi Void Setup Variabel Kirim Data .....	101
<b>Gambar 4. 29</b> Pemberian Fungsi Void Loop Perlakuan Parsing Data .....	102
<b>Gambar 4. 30</b> Fungsi Serial Print Pengecekan Hasil Parsing Data .....	103
<b>Gambar 4. 31</b> Deklarasi Interval Koneksi ESP8266 dengan Thingier.io .....	104
<b>Gambar 4. 32</b> Deklarasi Fungsi Pemanggilan dan Pengiriman Data Endpoints	104

<b>Gambar 4. 33</b> Penambahan Device Thinger.io.....	104
<b>Gambar 4. 34</b> Konfigurasi Device Thinger.io .....	105
<b>Gambar 4. 35</b> Status Device Terkoneksi dengan Server .....	106
<b>Gambar 4. 36</b> Pembuatan ID Dashboard Thinger.io .....	106
<b>Gambar 4. 37</b> Pembuatan Widget Pada Dashboard Thinger.io.....	107
<b>Gambar 4. 38</b> Pengaturan Pengambilan Data dan Interval Sampling Widget... 107	
<b>Gambar 4. 39</b> Tampilan Dashboard Thinger.io untuk Sistem.....	108
<b>Gambar 4. 40</b> Pembuatan Fungsi Endpoints Email Pada Thinger.io .....	109
<b>Gambar 4. 41</b> Pembuatan Pesan Kirim Email Menggunakan Data Aktual.....	109
<b>Gambar 5. 1</b> Pembebanan Sistem Beban A.....	125
<b>Gambar 5. 2</b> Pembebanan Sistem Beban B .....	126
<b>Gambar 5. 3</b> Pembebanan Sistem Beban C .....	126
<b>Gambar 5. 4</b> Penampil Data Dashboard Thinger.io .....	127
<b>Gambar 5. 5</b> Penentuan Titik Koordinat Kartesian .....	137
<b>Gambar 5. 6</b> Grafik Kondisi Unbalance 1 .....	139
<b>Gambar 5. 7</b> Grafik Kondisi Unbalance 2 .....	140
<b>Gambar 5. 8</b> Grafik Kondisi Unbalance 3 .....	140
<b>Gambar 5. 9</b> Grafik Kondisi Unbalance 4 .....	141
<b>Gambar 5. 10</b> Grafik Kondisi Balance .....	141
<b>Gambar 5. 11</b> Grafik Perbandingan $I_N$ , %Unbalance dan Rugi Daya .....	146

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Tabel Spesifikasi Arduino ATmega2560.....	38
<b>Tabel 2. 2</b> Tabel Spesifikasi Modul ESP8266.....	39
<b>Tabel 2. 3</b> Spesifikasi ATmega 2560 Built in ESP8266 .....	42
<b>Tabel 4. 1</b> Peralatan Pendukung Pembuatan Alat .....	78
<b>Tabel 4. 2</b> Bahan dan Komponen Pembuatan Alat .....	78
<b>Tabel 5. 1</b> Hasil Pengukuran Tegangan Kerja Komponen.....	113
<b>Tabel 5. 2</b> Hasil Pengukuran Tegangan Tanpa Beban .....	116
<b>Tabel 5. 3</b> Hasil Pengukuran Arus Kondisi Tanpa Beban.....	117
<b>Tabel 5. 4</b> Hasil Pengukuran Beban Kondisi Pembebanan A .....	117
<b>Tabel 5. 5</b> Hasil Pengukuran Beban Kondisi Pembebanan B Sebelum Seimbang .....	118
<b>Tabel 5. 6</b> Hasil Pengukuran Kondisi Pembebanan B Setelah Diseimbangkan.	118
<b>Tabel 5. 7</b> Hasil Pengukuran Beban Kondisi Pembebanan C Sebelum Seimbang .....	118
<b>Tabel 5. 8</b> Hasil Pengukuran Beban Kondisi Pembebanan C Setelah Diseimbangkan.....	119
<b>Tabel 5. 9</b> Perhitungan Error Pembacaan Tegangan PZEM-004T.....	119
<b>Tabel 5. 10</b> Perhitungan Error Pembacaan Arus PZEM-004T.....	121
<b>Tabel 5. 11</b> Langkah dan Prosedur Pengujian .....	123
<b>Tabel 5. 12</b> Hasil Penampil Data Pengujian Tiap Kondisi.....	127
<b>Tabel 5. 13</b> Perbandingan Penampil LCD dengan Dashboard Thinger.io .....	128
<b>Tabel 5. 14</b> Selisih Penampil LCD dengan Dashboard Thinger.io .....	129
<b>Tabel 5. 15</b> Nilai Error Penampil LCD Berbanding Dashboard Thinger.io.....	130
<b>Tabel 5. 16</b> Data Hasil Pembacaan Sensor Pengujian Keseluruhan.....	132
<b>Tabel 5. 17</b> Perbandingan Data Perhitungan Mikrokontroler dengan Perhitungan .....	133
<b>Tabel 5. 18</b> Perhitungan $I_N$ dengan Penjumlahan Bilangan Kompleks .....	136
<b>Tabel 5. 19</b> Perhitungan $I_N$ Sebagai Resultan Koordinat Kartesian .....	139

<b>Tabel 5. 20</b>	Perbandingan Error Pembacaan Sensor PZEM-004T untuk $I_N$ .....	142
<b>Tabel 5. 21</b>	Hasil Perhitungan Rugi Daya ( $P_N - \text{Losses}$ ) .....	145
<b>Tabel 5. 22</b>	Data Perbandingan Dampak Kondisi Unbalance .....	145



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Desain dan Gambaran Umum Alat.....	151
<b>Lampiran 2</b> Sketch Program.....	153
<b>Lampiran 3</b> Datasheet Kelengkapan Alat.....	163
<b>Lampiran 4</b> Bukti Fisik Laporan Tugas Akhir .....	188
<b>Lampiran 5</b> <i>Logbook</i> Bimbingan Tugas Akhir.....	190

## ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari sistem ketenagalistrikan yang menyalurkan tenaga listrik hingga sampai ke konsumen. Dalam sistem distribusi tenaga listrik terjadi penurunan tegangan yang dilakukan oleh transformator distribusi. Transformator distribusi disini akan bekerja menurunkan besar tegangan sehingga dapat digunakan oleh pelanggan. Dalam kinerjanya, transformator distribusi dapat mengalami berbagai macam kondisi yang dapat berdampak pada kerusakan ataupun mengurangi efisiensi penyaluran. Salah satu penyebab kerusakan dan pengurangan efisiensi transformator adalah terjadinya ketidakseimbangan beban. Dimana hal tersebut dapat terjadi karena karakteristik pembebanan pelanggan mayoritas adalah pelanggan dengan beban 1 fasa. Se jauh ini upaya penanganan ketidakseimbangan beban dilakukan secara manual dalam kondisi beban yang sifatnya berubah-ubah, sehingga perlu inovasi agar proses pemindahan beban dapat berjalan secara *real-time* dan terotomatisasi. Sistem yang dimaksudkan adalah berupa sistem monitoring ketidakseimbangan beban dan pemindahan beban melalui skema *open-close* sebuah relai. Sebagai contoh di lapangan petugas menyeimbangkan beban hanya berdasarkan kondisi gangguan atau berdasarkan data pengukuran saja. Hal tersebut tentunya akan lebih mudah jika skema pemindahannya dapat diotomatisasikan dengan pantauan monitoring melalui perangkat dengan bantuan IoT (*Internet of Things*) untuk mendapatkan semua data parameter yang dibutuhkan secara *real-time*.

**Kata kunci:** Transformator, Ketidakseimbangan Beban, Pemindahan Beban

## ABSTRACT

*The electric power distribution system is one part of the electricity system that distributes electric power to consumers. In the electric power distribution system there is a voltage drop carried out by the distribution transformer. The distribution transformer here will work to reduce the voltage so that it can be used by customers. In its performance, distribution transformers can experience various conditions that can have an impact on damage or reduce distribution efficiency. One of the causes of damage and reduction of transformer efficiency is the occurrence of unbalanced load. Where this can happen because the majority of customer loading characteristics are customers with single phase load. So far, efforts to handle unbalance load have been carried out manually in changing load conditions, so innovation is needed so that the load shifting process can run in real-time and automated. The intended system is in the form of a unbalanced load monitoring system and load transfer through an open-close relai scheme. For example, in the field, officers balance loads based only on fault conditions or based on measurement data only. This will certainly be easier if the transfer scheme can be automated by monitoring through devices with the help of IoT (Internet of Things) to get all the required parameter data in real-time.*

**Keywords:** *Transformers, Unbalanced Load, Load Shifiting*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan peralatan penunjang utama penyaluran distribusi tenaga listrik hingga bisa sampai ke sisi pelanggan. Keberadaan transformator sebagai pengkonversi tegangan dari sistem jaringan menuju ke pelanggan tentunya perlu untuk dijaga kualitas dan keandalannya. Dengan demikian, kondisi-kondisi yang dapat mengakibatkan rusaknya atau tidak optimalnya kerja suatu trafo perlu untuk diminimalisir dan dikurangi. Adapun kondisi yang dimaksudkan adalah berupa gangguan yang berasal dari luar (eksternal) seperti sambaran petir, tertimpa pohon, dll ataupun gangguan yang berasal dari dalam (internal) sistem. Gangguan internal sistem biasanya diakibatkan oleh kondisi *unbalance* atau ketidakseimbangan beban, dan juga pembebanan berlebih pada trafo. Kedua kondisi tersebut akan berdampak langsung pada kinerja trafo, baik kemungkinan timbulnya rugi-rugi, maupun kerusakan pada komponen trafo.

Dengan kemungkinan-kemungkinan gangguan yang dialami oleh transformator, khususnya kondisi beban lebih dan ketidakseimbangan beban, sehingga diperlukan adanya suatu langkah pemeliharaan. Langkah yang diambil biasanya adalah berupa penaikan kapasitas trafo ataupun *sharing* beban dengan cara melakukan omset saluran rumah. Akan tetapi, kedua langkah tersebut tidak serta merta langsung dilakukan saat terdapat trafo yang mengalami *overload* dan atau *unbalance*, sehingga menyebabkan kerusakan trafo dan rugi-rugi sistem sebelum langkah preventif diambil. Alasan utama tidak langsung ditangani biasanya adalah karena *monitoring* kondisi beban dilakukan tidak secara *real-time*. Selain itu, ketersediaan tenaga kerja juga terbatas dalam mendeteksi dan melakukan pekerjaan pemeliharaan preventif pemindahan beban secara manual.

Dari sebab dan akibat yang telah dijelaskan diatas, untuk mengatasi terjadinya kerusakan dan rugi-rugi yang timbul, maka dapat dilakukan dengan

mengotomatisasi kegiatan omset/*sharing* beban yang tadinya dilakukan secara manual. Opsi ini dipilih karena upaya pencegahan lain seperti kegiatan *uprating* memerlukan kondisi bongkar dan pasang trafo, sehingga tidak memungkinkan untuk diotomatisasikan. Dengan dilakukannya *sharing* beban yang dilakukan otomatis, secara tidak langsung juga akan membutuhkan sistem *monitoring* dan pendeteksian beban secara otomatis. Sehingga pada saat trafo mengalami *overload* maupun beban yang tidak seimbang, sistem akan otomatis memindahkan pembebanan dari satu fasa ke fasa lainnya. Tujuannya adalah supaya salah satu fasa trafo yang mengalami beban lebih dan mengakibatkan beban tidak seimbang menjadi seimbang.

Dari uraian diatas, diperlukan adanya suatu inovasi peralatan untuk mendeteksi kondisi pembebanan trafo. Dimana hasil deteksi tersebut digunakan sebagai masukan untuk eksekusi *sharing* beban dengan skema *open-close* relai pada ketiga fasa trafo yang saling terhubung secara parallel terhadap beban. Pendeteksian nilai arus sebagai parameter eksekusinya menggunakan sensor arus PZEM-004T yang akan memberikan nilai besaran beban pada tiap fasa trafo. Dimana saat terjadi beban yang berlebih pada salah satu fasa yang mengakibatkan beban tidak seimbang, maka mikrokontroller akan memberikan perintah eksekusi pada relai untuk memindahkan pembebanan dengan bantuan skema buka tutup relai.

Berdasarkan latar belakang dan juga sekilas kinerja yang telah diberikan, penulis tertarik untuk mengimplementasikan dan membuat suatu alat yang berupa perancangan simulasi dengan judul, “**Simulasi *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa Berbasis Arduino Atmega 2560**”. Dimana alat yang nantinya dihasilkan dapat digunakan sebagai *pilot project* dari solusi permasalahan dalam pemindahan dan monitoring beban. Sehingga utamanya dapat mengatasi *overload* dan *unbalance* pada transformator 3 phasa dengan jenis pembebanan 1 fasa. Selain itu, hasil penelitian ini juga sebagai salah satu pemenuhan syarat Tugas Akhir STR. Teknik Listrik Industri serta dapat menjadi salah satu media pembelajaran dan pengembangan khususnya dalam perihal transformator daya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, pelaksanaan kegiatan pemeliharaan terhadap kondisi *overload* dan *unbalance* pada trafo yang dilakukan secara manual akan berdampak kurang cepatnya pengambilan langkah preventif, sehingga trafo menjadi rusak dan pada sistem timbul rugi-rugi. Kendala tersebut dapat diatasi dengan memberikan perlakuan pemeliharaan dengan melakukan pembagian beban atau pemindahan beban secara otomatis dan dapat dimonitoring melalui suatu perangkat kepada masing-masing fasa.

Berdasarkan permasalahan yang dijabarkan, maka rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah meliputi:

1. Skema penyeimbangan beban yang masih dilakukan dengan memotong penghantar dan menyambunginya secara manual oleh petugas serta belum adanya otomatisasi dalam pemindahannya secara *real-time*.
2. Belum adanya monitoring beban transformator terkait ketidakseimbangan bebannya yang memonitoring hasil penyeimbangannya secara *real-time*.
3. Proses pengambilan data ukur beban transformator yang masih dilakukan secara manual dengan mengukur beban setiap penghantarnya.

## 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian ini bertujuan untuk mempermudah proses pemeliharaan preventif transformator 3 fasa, dengan memberikan perlakuan pemindahan, serta pembagian beban antar fasa untuk memperoleh hasil sistem yang tidak *overload* dan juga *unbalance*. Dimana secara terperinci, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Memenuhi persyaratan dalam pemenuhan SKS Tugas Akhir sebagai salah satu syarat menyelesaikan mata kuliah dan syarat kelulusan.
2. Mendapat *pilot project* untuk proses pemeliharaan akibat ketidakseimbangan beban yang dilakukan secara preventif dengan menggunakan alat simulasi *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa.
3. Mengetahui dampak dari kondisi *unbalance* pada sistem terkait perhitungan kondisi *unbalance* dan susut daya yang terjadi pada sistem.

4. Mendapatkan suatu alat untuk kinerja sistem pemindahan beban berdasarkan syarat presentase pembebanan untuk trafo 750W dan untuk mengurangi persentase ketidakseimbangan beban.

#### **1.4 Manfaat Tugas Akhir**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini akan terfokus pada hasil dari kinerja pembagian beban pada tiap fasanya yang dilakukan secara otomatis. Adapun secara rinci manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **1) Bagi Penulis**

1. Digunakan sebagai penerapan ilmu yang diperoleh dan linear dengan mata kuliah pada perkuliahan.
2. Supaya dapat memahami persoalan *overload* dan *unbalance* dengan didaptkannya suatu inovasi alat yang mensimulasikan kinerja sistem prototipe *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa.
3. Mengembangkan sistem kinerja *load sharing* dan *phase shifting* yang dilakukan secara otomatis sehingga pembaca dapat lebih memahami konfigurasi dan kinerja dari prototipe *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting* untuk Penyeimbang Beban Sistem Transformator 3 Fasa.
4. Memenuhi salah satu persyaratan perkuliahan dalam perkuliahan untuk menempuh gelar STr. Teknik Listrik Industri.

##### **2) Bagi Masyarakat**

1. Diharapkan alat ini dapat bermanfaat bagi petugas dalam melaksanakan penyeimbangan beban trafo serta memonitoring pembebanannya.
2. Menjadi salah satu referensi atau gambaran pengembangan sistem otomatisasi untuk kegiatan pembelajaran.

##### **3) Bagi Pembaca**

1. Dengan penelitian lebih lanjut diharapkan topik dari penelitian ini dapat untuk lebih dikembangkan, sehingga dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dijadikan suatu landasan dalam pengembangan media pembelajaran

atau penerapan secara lebih lanjut mengenai prototipe *Single Phase Automatic Load Sharing* dan *Phase Shifting*.

2. Serta diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan ajar dan bahan penelitian yang lebih lanjut bagi mahasiswa ataupun pembaca dalam melakukan pengembangan penelitian pada bidang yang relevan.
3. Pembaca dapat memperoleh dan memahami sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

### 1.5 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian atau batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Dalam penelitian ini mikrokontroler Arduino ATmega 2560 digunakan sebagai pemrosesan dan IC Wifi ESP8266 sebagai *clients* yang terintegrasi dan bertugas untuk mengirimkan data ke *software* IoT (Thingier.io).
2. Penulis menggunakan bantuan *software* Arduino IDE untuk menyusun dan mengunggah program ke Arduino ATmega 2560.
3. Hasil pembacaan arus dari sensor PZEM-004T digunakan untuk mengetahui nilai besaran arus tiap penghantar fasa akan dikirimkan ke *software* IoT (Thingier.io) untuk dimonitoring dan skema pengiriman email dengan bantuan IC ESP8266.
4. Sistem ini membahas pengendalian pemindahan beban dengan skema *open-close* relai secara otomatis dan tidak membahas terkait pengendaliannya oleh operator atau secara manual.
5. Pemindahan beban dilakukan dengan pemberian nilai *setpoint* untuk besaran ketidakseimbangan beban dan juga persentase pembebanan (60%) menurut aturan yang berlaku serta disesuaikan untuk trafo 750W.
6. Beban yang digunakan berupa lampu 100 Watt sejumlah 6 buah dan terpasang paralel 3 pasang lampu (2 lampu tiap pasang) untuk nilai karakteristik ketidakseimbangan beban berdasarkan *setpoint* persen pembebanan yang diizinkan.



7. Pengujian dilakukan berdasarkan kondisi pembebanan beban A, B dan C dengan skema *unbalance 1*, *unbalance 2*, *unbalance 3*, *unbalance 4* dan *balance*.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Demi terwujudnya penyusunan tugas akhir yang baik, maka diperlukan adanya sistematika penulisan, sebagai berikut:

**HALAMAN JUDUL**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN**

**HALAMAN PERSEMBAHAN**

**KATA PENGANTAR**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR TABEL**

**DAFTAR LAMPIRAN**

**ABSTRAK**

***ABSTRACT***

### **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini membahas tentang hal-hal yang melatar belakangi topik pengambilan tugas akhir, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada bab ini membahas mengenai tinjauan pustaka yang diambil sekaligus sebagai dasar teori dari pembuatan alat tugas akhir. Dasar teori dan tinjauan pustaka yang didapatkan ini akan menjadi pedoman pelaksanaan tugas akhir.

### **BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR**

Pada bab ini berisi tentang blok diagram, flowchart cara kerja sistem dan proses perancangan alat. Diikuti dengan proses perancangan sistem berdasarkan flowchart dan diagram blok tersebut.

#### **BAB IV      PEMBUATAN ALAT**

Pada bab ini membahas mengenai pelaksanaan pembuatan alat tugas akhir mulai dari pemrograman *software*, perakitan komponen *hardware* dan juga skema pengoperasian.

#### **BAB V        PENGUKURAN DAN PENGUJIAN**

Pada bab ini membahas mengenai hasil pengukuran dan eksekusi berdasarkan kemampuan alat. Selain itu juga memuat pengujian terhadap sistem dan hasil pembacaan sensornya.

#### **BAB VI        PENUTUP**

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembuatan tugas akhir beserta penyusunan laporannya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**