

**ANALISIS UJI KELAYAKAN TRANSFORMATOR ARUS PENYULANG  
SURABAYA BERDASARKAN UJI RASIO GARDU INDUK  
TALANG RATU**



**LAPORAN AKHIR**

**Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan  
Pendidikan Diploma III pada Jurusan Teknik Elektro  
Program Studi DIII Teknik Listrik**

**OLEH  
MUHAMMAD YASIR  
062230310465**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA  
PALEMBANG  
2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS UJI KELAYAKAN TRANSFORMATOR ARUS PENYULANG**  
**SURABAYA BERDASARKAN UJI RASIO GARDU INDUK**  
**TALANG RATU**



**OLEH**  
**MUHAMMAD YASIR**  
**062230310465**

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**

**Ir. Siswandi, M.T.**

**NIP. 196409011993031002**

**Pembimbing II**

**Yessi Marniati, S.T., M.T.**

**NIP. 197603022008122001**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Dr. H. Solahat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM**

**NIP. 197907222008011007**

**Koordinator Program Studi  
D III Teknik Listrik**

**Yessi Marniati, S.T., M.T.**

**NIP. 197603022008122001**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN  
TEKNOLOGI  
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp. 0711 353414  
Laman : <http://polsri.ac.id>, Pos El : [info@polsri.ac.id](mailto:info@polsri.ac.id)

**BERITA ACARA  
PELAKSANAAN UJIAN LAPORAN AKHIR**

Pada hari ini, Rabu tanggal 16 bulan Juli tahun 2025 telah dilaksanakan Ujian Laporan Akhir kepada mahasiswa Program Studi DIII Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya :

Nama : Muhammad Yasir  
Tempat/Tgl Lahir : Palembang / 02 April 2004  
NPM : 062230310465  
Ruang Ujian : 2  
Judul Laporan Akhir : UJI KELAYAKAN TRANSFORMATOR ARUS  
PENYULANG SURBAYA BERDASARKAN UJI RASIO  
GARDU INDUK TALANG RATU

Team Penguji :

| NO | NAMA                      | JABATAN | TANDA TANGAN |
|----|---------------------------|---------|--------------|
| 1  | YESSI MARHATE, S.T., M.T. | Ketua   |              |
| 2  | MUTIAR, S.T., M.T.        | Anggota |              |
| 3  | HASRUL, S.T., M.T.        | Anggota |              |
| 4  | JUDAH SUSANTI, S.T., M.T. | Anggota |              |

Mengetahui  
Koordinator Program Studi

Yessi Marniati, S.T., M.T.  
NIP. 197603022008122001

## MOTTO

Keberhasilan Bukan Milik Mereka yang Bermain Aman, Tetapi Milik Mereka yang Berusaha untuk Melampaui Batasannya

---

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT., Laporan Akhir ini saya persembahkan kepada:

- ❖ Ayah dan Ibu saya:  
Khairul Bahrin dan Susi widiyanti  
yang selalu memberikan doa serta dukungan moral dan materi
- ❖ Saudara/I saya  
Kgs. Imam Mahadi, Kholidawaty, Achmad Fajrin, Irdillah Yusnita, dan Muslimah.  
yang selalu memberikan support berupa moril dan materil.
- ❖ Dosen Pembimbing yang terhormat,  
Bapak Ir. Siswandi, M.T. dan Ibu Yessi Marniati, S.T., M.T.  
yang telah memberikan arahan dan ilmu yang bermanfaat.
- ❖ Diri saya yang telah berjuang hingga titik ini.
- ❖ Rekan-rekan seperjuangan Jurusan Teknik Elektro:  
Willy Dozen, Akbar Bagaskara, Zaidan Hafizh, Khalid Wibis, Ragil Alfarizi, M. Iqbal, Karel Sinurat, Yudha Harya, Zenadine Zidane, serta Rekan-rekan HMJ Teknik Elektro
- ❖ Vina Rahmadiany, Seseorang yang mencintai saya tanpa ada ikatan darah yang selalu sukarela membantu saya baik dalam materi maupun doa
- ❖ Almamater kebanggaan, Politeknik Negeri Sriwijaya tempat saya menyematkan gelar ini.

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan:

Nama : Muhammad Yasir  
Jenis Kelamin : Laki – Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 02 April 2004  
Alamat : Jl. Gagak 4 No.2862 Rt.053 Rw.021 Kel. Sako  
Kec. Sako, Palembang  
NPM : 062230310465  
Jurusan / Program Studi : Teknik Elektro / Diploma III Teknik Listrik  
Judul Laporan Akhir : Analisis Uji Kelayakan Transformator Arus  
Penyulang Surabaya Berdasarkan Uji Rasio Gardu  
Induk Talang Ratu

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Laporan Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri serta bebas dari tindakan plagiasi, dan semua sumber baik yang dikutip maupun di rujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Laporan Akhir yang disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah ujian Laporan Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah ujian Laporan akhir.

Apabila dikemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggungjawab dan menerima sanksi tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh Jurusan Teknik Elektro sehingga berdampak tertundanya pengambilan Ijazah dan Transkrip (ASLI dan COPY). Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan tanpa paksaan.

Palembang, Juli 2025

  
METRA  
TEMPERATUR  
22AMX446872819  
Muhammad Yasir

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis hanturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta kuarunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir yang berjudul **“ANALISIS UJI KELAYAKAN TRANSFORMATOR ARUS PENYULANG SURABAYA BERDASARKAN UJI RASIO GARDU INDUK TALANG RATU”** dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Laporan Akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Diploma III pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi DIII Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.

Dalam laporan akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak sehingga dapat menyelesaikan laporan ini mulai dari pengambilan data sampai proses penyusunan laporan ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T. selaku direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya
4. Ibu Yessi Marniati, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya dan selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan dan pengerjaan laporan akhir ini.
5. Bapak Ir. Siswandi, M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan dan pengerjaan laporan akhir ini.
6. Bapak Sodikin selaku Manager ULTG Boom Baru.
7. Bapak Arief Nugroho Dienarto selaku Supervisor HAR GI di ULTG Boom Baru.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Laporan Akhir ini sangat berguna dan bermanfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Program Studi DIII Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya

Palembang, Juli 2025

Penulis

## ABSTRAK

### ANALISIS UJI KELAYAKAN TRANSFORMATOR ARUS PENYULANG SURABAYA BERDASARKAN UJI RASIO GARDU INDUK TALANG RATU

(2025: xvi + 58 Halaman + Daftar Gambar + Daftar Tabel + Daftar Lampiran)

---

**MUHAMMAD YASIR****062230310465****JURUSAN TEKNIK ELEKTRO****PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK****POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA**

Transformator Arus merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik yang berskala besar dengan melakukan transformasi menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Untuk menunjukkan seberapa banyak arus berkurang saat melewati transformator memerlukan pengujian *error* rasio dan eksitasi pada transformator arus, dengan melakukan pengujian ini serta menganalisis hasil pengujian maka dapat dilakukan pencegahan dan perbaikan terhadap kerusakan transformator arus. Berdasarkan pengujian, perhitungan dan analisis pada Transformator Arus 20kV pada Penyulang Surabaya di Gardu Induk Talang Ratu, didapatkan hasil nilai *error* pada tahun 2024 berada pada *range* 0,002% - 0,610% dengan maksimal *error* 5% untuk *core* 1 dengan kelas 5P20 dan 0,5% untuk *core* 2 dengan kelas 0,5FS10. Serta, Tegangan Jenuh berada pada *range* 75V – 154V untuk *core* 1 dan 8V – 17V untuk *core* 2 dimana nilai tersebut ada diatas batas tegangan jenuh minimum pada masing-masing tap. Artinya, Transformator Arus 20kV Penyulang Surabaya di Gardu Induk Talang Ratu memiliki kondisi yang baik dan masih layak beroperasi berdasarkan SPLN T3.003-1: 2011.

**Kata kunci :** Transformator, Rasio, Eksitasi, Arus, Layak

## **ABSTRACT**

### ***ANALYSIS OF THE FEASIBILITY TEST OF SURABAYA FEED CURRENT TRANSFORMER BASED ON THE RATIO TEST OF THE TALANG RATU SUBSTATION***

*(2025: xvi + 58 Pages + List of Figures + List of Tables + List of Appendices)*

---

**MUHAMMAD YASIR**

**062230310465**

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING***

***DIPLOMA III PROGRAM IN ELECTRICAL ENGINEERING***

***STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA***

*Current Transformer is a device used to measure current in large-scale electrical power installations by transforming the high primary current into a smaller, accurate, and precise secondary current for measurement and protection purposes. To determine how much current decreases when passing through the transformer—due to factors such as load, connection, or core characteristics—it is necessary to perform ratio error testing and excitation testing on the current transformer. By conducting these tests and analyzing the results, preventive and corrective actions can be taken to avoid potential damage to the transformer. Based on the testing, calculation, and analysis performed on the 20 kV Current Transformer at Penyulang Surabaya in Talang Ratu Substation, the error values in 2024 were found to range from 0.002% to 0.610%, with a maximum allowable error of 5% for core 1 (class 5P20) and 0.5% for core 2 (class 0.5FS10). In addition, the knee-point voltage ranged from 75 V to 154 V for core 1 and 8 V to 17 V for core 2, which are above the minimum required values at each tap. Therefore, the current transformer is considered to be in good condition and remains suitable for operation based on SPLN T3.003-1:2011.*

**Keyword :** *Transformer, Ratio, Excitation, Current, Worthy*

## DAFTAR ISI

|                                              | Hal         |
|----------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL.....</b>                    | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>              | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN BERITA ACARA.....</b>             | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN SURAT PERNYATAAN .....</b>        | <b>iv</b>   |
| <b>MOTTO.....</b>                            | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK.....</b>                          | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                        | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                   | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                      | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                   | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                    | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>                  | <b>xvi</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>               | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                     | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                    | 3           |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat .....                 | 3           |
| 1.3.1 Tujuan .....                           | 3           |
| 1.3.2 Manfaat .....                          | 4           |
| 1.4 Batasan Masalah .....                    | 4           |
| 1.5 Metode Penelitian .....                  | 4           |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....              | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>         | <b>7</b>    |
| 2.1 Transformator.....                       | 7           |
| 2.1.1 Prinsip Kerja Transformator .....      | 7           |
| 2.1.2 Jenis-Jenis Transformator .....        | 8           |
| 2.2 Transformator Ukur.....                  | 10          |
| 2.2.1 Prinsip Kerja Transformator Ukur ..... | 10          |
| 2.2.2 Jenis-Jenis Transformator Ukur .....   | 10          |

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3 Transformator Arus .....                                                                                | 11        |
| 2.3.1 Fungsi Transformator Arus .....                                                                       | 11        |
| 2.3.2 Jenis-Jenis Transformator Arus .....                                                                  | 13        |
| 2.3.3 Spesifikasi Transformator Arus.....                                                                   | 18        |
| 2.3.4 Kesalahan Perbandingan/Rasio .....                                                                    | 21        |
| 2.3.5 Kelas Ketelitian Transformator Arus Metering.....                                                     | 21        |
| 2.3.6 Kelas Ketelitian Transformator Arus Proteksi .....                                                    | 22        |
| 2.3.7 Eksitasi.....                                                                                         | 23        |
| 2.4 <i>Shutdown Testing/Measurement</i> .....                                                               | 24        |
| 2.4.1 Pengukuran Eksitasi dan $V_{Knee}$ .....                                                              | 24        |
| 2.4.2 Pengukuran Rasio .....                                                                                | 26        |
| <b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>                                                                  | <b>29</b> |
| 3.1 Metode Penelitian .....                                                                                 | 29        |
| 3.2 Objek Penelitian.....                                                                                   | 29        |
| 3.3 Spesifikasi Transformator Arus.....                                                                     | 31        |
| 3.4 Peralatan yang Digunakan .....                                                                          | 32        |
| 3.5 Prosedur Pengujian .....                                                                                | 33        |
| 3.6 Diagram Alir Penelitian .....                                                                           | 37        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>                                                                              | <b>38</b> |
| 4.1 Analisis Pengukuran dan Perhitungan <i>Error</i> Rasio .....                                            | 38        |
| 4.1.1 Hasil Pengukuran <i>Error</i> Rasio.....                                                              | 38        |
| 4.1.2 Hasil Perhitungan <i>Error</i> Rasio.....                                                             | 40        |
| 4.1.3 Analisis Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan<br>.....                                | 42        |
| 4.1.4 Analisis Kondisi Kelayakan Transformator Arus Berdasarkan<br>Hasil Pengukuran <i>Error</i> Rasio..... | 45        |
| 4.2 Analisis Pengukuran Eksitasi dan Perhitungan $V_{Knee}$ .....                                           | 48        |
| 4.2.1 Hasil Pengukuran Eksitasi .....                                                                       | 48        |
| 4.2.2 Perhitungan Nilai $V_{Knee}$ Minimum Transformator arus.....                                          | 52        |
| 4.2.3 Analisis Perbandingan $V_{Knee}$ Aktual dan $V_{Knee}$ Minimum .....                                  | 53        |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b> | <b>57</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                   | 57        |
| 5.2 Saran .....                        | 58        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                  |           |
| <b>LAMPIRAN</b>                        |           |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                         | Hal |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 2.1</b> Elektromagnetik pada Transformator.....                                               | 7   |
| <b>Gambar 2.2</b> Prinsip Kerja Transformator.....                                                      | 8   |
| <b>Gambar 2.3</b> Prinsip kerja Transformator Arus .....                                                | 11  |
| <b>Gambar 2.4</b> Rangkaian Ekuivalen Transformator Arus .....                                          | 11  |
| <b>Gambar 2.5</b> Perbandingan Kurva Eksitasi Transformator arus untuk Pengukuran<br>dan Proteksi ..... | 13  |
| <b>Gambar 2.6</b> Luas Penampang Inti Transformator Arus .....                                          | 13  |
| <b>Gambar 2.7</b> Bar Primary .....                                                                     | 14  |
| <b>Gambar 2.8</b> Wound Primary .....                                                                   | 14  |
| <b>Gambar 2.9</b> Transformator Arus Pemasangan Luar Ruangan.....                                       | 16  |
| <b>Gambar 2.10</b> Transformator Arus Pemasangan Indoor (a) Tipe Busbar, (b) Tipe<br>Cincin .....       | 16  |
| <b>Gambar 2.11</b> Transformator Arus dengan 2 Inti .....                                               | 17  |
| <b>Gambar 2.12</b> Transformator Arus dengan 4 Inti .....                                               | 18  |
| <b>Gambar 2.13</b> Transformator Arus Hubung Seri Sisi Primer .....                                     | 18  |
| <b>Gambar 2.14</b> Transformator Arus Hubung Paralel Sisi Primer .....                                  | 19  |
| <b>Gambar 2.15</b> Transformator Arus Sekunder 2 Tap .....                                              | 19  |
| <b>Gambar 2.16</b> Transformator Arus Sekunder 3 Tap .....                                              | 19  |
| <b>Gambar 2.17</b> Kurva Eksitasi Transformator Arus.....                                               | 25  |
| <b>Gambar 2.18</b> Rangkaian Pengujian Eksitasi .....                                                   | 26  |
| <b>Gambar 2.19</b> Kurva Karakteristik Eksitasi .....                                                   | 26  |
| <b>Gambar 2.20</b> Pengujian Rasio dengan Metode Tegangan .....                                         | 28  |
| <b>Gambar 3.1</b> Penyulang Surabaya 20 KV di Gardu Induk Talang Ratu .....                             | 31  |
| <b>Gambar 3.2</b> Transformator Arus pada Penyulang Surabaya 20 KV di Gardu Induk<br>Talang Ratu.....   | 32  |
| <b>Gambar 3.3</b> Nameplate Transformator arus.....                                                     | 32  |
| <b>Gambar 3.4</b> Alat uji Rasio MRCT .....                                                             | 34  |
| <b>Gambar 3.5</b> Diagram Koneksi .....                                                                 | 35  |

|                    |                                                                            |    |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 3.6</b>  | Titik Core Sekunder .....                                                  | 36 |
| <b>Gambar 3.7</b>  | Port STVI pada MRCT .....                                                  | 36 |
| <b>Gambar 3.8</b>  | Layar Beranda .....                                                        | 37 |
| <b>Gambar 3.9</b>  | Simbol “Device Setting” dan Layar Pengaturan .....                         | 37 |
| <b>Gambar 3.10</b> | Tampilan data Nameplate CT .....                                           | 37 |
| <b>Gambar 3.11</b> | Layar Uji Rasio .....                                                      | 38 |
| <b>Gambar 3.12</b> | Tombol ketukan tidak resentak dan pilihan ketukan.....                     | 38 |
| <b>Gambar 3.13</b> | Tombol Inject .....                                                        | 38 |
| <b>Gambar 3.14</b> | Diagram Alir Penelitian .....                                              | 39 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Pengukuran Tahun 2024 Phasa R.....               | 42 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Perhitungan Tahun 2024 Phasa R.....              | 42 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Pengukuran Tahun 2024 Phasa S.....               | 43 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Perhitungan Tahun 2024 Phasa S .....             | 43 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Pengukuran Tahun 2024 Phasa T .....              | 44 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Grafik <i>Error</i> Rasio Perhitungan Tahun 2024 Phasa T .....             | 44 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Error Rasio Phasa R.....             | 45 |
| <b>Gambar 4.8</b>  | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Error Rasio Phasa S .....            | 46 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Error Rasio Phasa T .....            | 47 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Kurva Eksitasi Phasa R Core 1 .....                                        | 48 |
| <b>Gambar 4.11</b> | Kurva Eksitasi Phasa R Core 2 .....                                        | 48 |
| <b>Gambar 4.12</b> | Kurva Eksitasi Phasa S Core 1.....                                         | 49 |
| <b>Gambar 4.13</b> | Kurva Eksitasi Phasa S Core 2.....                                         | 49 |
| <b>Gambar 4.14</b> | Kurva Eksitasi Phasa T Core 1.....                                         | 50 |
| <b>Gambar 4.15</b> | Kurva Eksitasi Phasa T Core 2.....                                         | 50 |
| <b>Gambar 4.16</b> | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Eksitasi Phasa R Tahun<br>2024 ..... | 53 |
| <b>Gambar 4.17</b> | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Eksitasi Phasa S Tahun<br>2024 ..... | 54 |
| <b>Gambar 4.18</b> | Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Eksitasi Phasa T Tahun<br>2024 ..... | 55 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                         | Hal |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabel 2.1</b> Batas Kesalahan Transformator Arus Metering .....                      | 23  |
| <b>Tabel 2.2</b> Batas Kesalahan Transformator Arus Metering Spesial.....               | 23  |
| <b>Tabel 2.3</b> Kesalahan Rasio dan Pergeseran Fasa Transformator Arus Proteksi....    | 24  |
| <b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Transformator Arus.....                                    | 33  |
| <b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengukuran <i>Error</i> Rasio Tahun 2022 .....                   | 38  |
| <b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengukuran <i>Error</i> Rasio Tahun 2024 .....                   | 39  |
| <b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan <i>Error</i> Rasio Tahun 2022 dan 2024 .....         | 40  |
| <b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengukuran $V_{Knee}$ Tahun 2024.....                            | 50  |
| <b>Tabel 4.5</b> Hasil Pengukuran $V_{Knee}$ Aktual Perhitungan $V_{Knee}$ Minimum..... | 51  |

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Lembar Rekomendasi Sidang Laporan Akhir
- Lampiran 2.** Lembar Bimbingan Laporan Akhir (Pembimbing 1)
- Lampiran 3.** Lembar Bimbingan Laporan Akhir (Pembimbing 2)
- Lampiran 4.** Lembar Kesepakatan Bimbingan Laporan Akhir (Pembimbing 1)
- Lampiran 5.** Lembar Kesepakatan Bimbingan Laporan Akhir (Pembimbing 2)
- Lampiran 6.** Surat Pengajuan Pengambilan Data
- Lampiran 7.** Surat Balasan Pengajuan Pengambilan Data
- Lampiran 8.** Data Pengukuran *Error* Rasio dan Eksitasi Tahun 2024
- Lampiran 9.** Data Pengukuran *Error* Rasio dan Eksitasi beserta Kurva Eksitasi Tahun 2024
- Lampiran 10.** Data Pengukuran *Error* Rasio dan Eksitasi Tahun 2022
- Lampiran 11.** Perhitungan *Error* Rasio Tahun 2024
- Lampiran 12.** Perhitungan Tegangan Jenuh Minimum
- Lampiran 13.** Dokumentasi Pengambilan Data