



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SKRIPSI

**KOMPARASI ZERO CROSSING UNTUK PENYEARAH
TERKENDALI TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER**



**Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV
Politeknik Negeri Jakarta**

Disusun oleh:

Septian Jodie Patriatama

NIM : 2203411046

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JUNI 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SKRIPSI

**KOMPARASI ZERO CROSSING UNTUK PENYEARAH
TERKENDALI TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER**



**Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV
Politeknik Negeri Jakarta**

**Disusun oleh:
Septian Jodie Patriatama**

NIM : 2203411046

**PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JUNI 2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir ini

Ini telah saya kutip dan rujuk saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Nama : Septian Jodie Patriatama

NIM : 2203411046

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Septian Jodie Patriatama

NIM : 2203411046

Program Studi : Teknik Otomasi Listrik Industri

Judul Skripsi : Komparasi ZeroCrossing Untuk Penyearah Terkendali Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler.

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada, 01 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I: Dezetty Monika, S.T., M.T.
199112082018032002

Pembimbing II: Hatib Setiana, S.T., M.T.
199204212022031007

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**
Depok,
Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T.
NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat rahmat, kekuatan dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat terselesaikannya Laporan Skripsi yang berjudul **“KOMPARASI ZERO CROSSING UNTUK PENYEARAH TERKENDALI TIGA FASA BERBASIS MIKROKONTROLER”** yang berlangsung di Politeknik Negeri Jakarta.

Banyak hambatan yang penulis temukan ketika pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini. Dengan adanya bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Skripsi. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

Dezetty Monika, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing sekaligus Kepala Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri Politeknik Negeri Jakarta.

2. Bapak Hatib Setiana, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Seluruh tim saya yang telah banyak membantu.
4. Serta berbagai pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis menyadari banyak sekali kekurangan yang ada pada laporan ini, sehingga diharapkan adanya kritik dan saran untuk membangun penulis kedepannya. Besar harapan bahwa Skripsi ini dapat berguna bagi banyak pihak yang membutuhkannya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Depok, 15 Juni 2026

Penulis,

Septian Jodie Patriatama

NIM. 2203411046





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Penyearah terkendali tiga fasa merupakan topologi penting pada sistem elektronika daya industri seperti tahap awal Variable Frequency Drive (VFD) dan penggunaan lainnya. Penelitian ini bertujuan merancang modul trainer penyearah terkendali fasa fasa berbasis mikrokontroler untuk mengatasi keterbatasan alat praktikum serta meningkatkan kualitas pembelajaran. Metode yang digunakan melibatkan enam unit SCR dalam konfigurasi jembatan dengan sinkronisasi fasa melalui sirkuit Zero Crossing Detection (ZCD) berbasis Op-AMP yang dinilai memiliki kecepatan respon yang lebih cepat sebesar 37uS dibandingkan Zero Crossing Detetion berbasis Optocoupler sebesar 241.5uS.

Kata kunci: Mikrokontroler , Op-AMP, Optocoupler, Penyearah Terkendali Tiga Fasa, SCR, Trainer Elektronika Daya, ZCD.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

The three-phase controlled rectifier is a crucial topology in industrial power electronics systems, such as the input stage of Variable Frequency Drives (VFDs) and other applications. This research aims to design a microcontroller-based three-phase controlled rectifier trainer module to address the limitations of existing laboratory equipment and enhance the quality of learning. The method involves the use of six SCR units in a bridge configuration, with phase synchronization achieved through an Op-AMP-based Zero Crossing Detection (ZCD) circuit. This approach is evaluated to have a faster response time of 37 μ s compared to the 241.5 μ s response time of an optocoupler-based Zero Crossing Detection circuit.

Keywords: *Microcontroller, Op-Amp, Optocoupler, Three-Phase Controlled Rectifier, SCR, Power Electronics Trainer, ZCD.*





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	19
1.1. LATAR BELAKANG	19
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	19
1.3. PEMBATAAN MASALAH.....	19
1.4. TUJUAN.....	20
1.5. LUARAN.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	21
2.1. LISTRIK AC.....	21
2.1.1. Sudut.....	21
2.1.2. Konfigurasi.....	22
2.2. PENYEARAH (RECTIFIER).....	23
2.2.1. Polaritas	23
2.2.2. Dioda	24
2.2.3. Aktif / pasif	25
2.3. ELEKTROMAGNETISME	28



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

2.3.1.	Faraday dan Kerapatan Fluks	28
2.3.2.	Gaya Gerak Magnet dan Kekuatan Medan Magnet	29
2.3.3.	Permeabilitas dan Kurva Magnetisasi	30
2.4.	INDUKSI	31
2.4.1.	Faraday dan Lenz	31
2.4.2.	Transformator	33
2.5.	KAPASITOR DAN KAPASITANSI	35
2.5.1.	Electrostatic Field	35
2.5.2.	Electric Field Strength	36
2.5.3.	Kapasitansi	37
2.5.4.	Kapasitor	38
2.6.	TRANSISTOR	38
2.6.1.	Material	38
2.6.2.	Struktur Kelas	39
2.6.3.	Aplikasi	40
2.7.	OPAMP	40
2.7.1.	Pin Fisik	40
2.7.2.	Loop Terbuka	41
2.7.3.	Loop Tertutup	42
	BAB III METODE	43
3.1	RANCANGAN ALAT	43
3.1.1.	Deskripsi Alat	43
3.1.2.	Cara Kerja Alat	44
3.1.3.	Spesifikasi Alat	44
3.1.4.	Spesifikasi Modul	46
3.1.5.	Diagram Blok	48
3.1.6.	Diagram Alir	49
3.1.7.	Desain Modul Blok	50
3.1.8.	Diagram Pengawatan	56
3.2	STRUKTUR ALAT	63



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

3.2.1.	<i>Zero crossing detector</i>	63
3.2.2.	<i>MicroController</i>	71
3.2.3.	<i>Logic Gate</i>	79
3.2.4.	<i>Rectifier</i>	85
BAB IV PEMBAHASAN		92
4.1.	KOMPARASI VISUAL OUTPUT	92
4.1.1.	Deskripsi Pengujian	92
4.1.2.	Prosedur Pengujian	92
4.1.3.	Data Pengujian	94
4.1.4.	Hasil Pengujian	95
4.2.	KOMPARASI RESPON STARTING TERHADAP ZONA ZERO	96
4.2.1.	Deskripsi Pengujian	96
4.2.2.	Prosedur Pengujian	96
4.2.3.	Data Pengujian	97
4.2.4.	Hasil Pengujian	101
4.3.	KOMPARASI RESPON RISING PEAK KOMPONEN	102
4.3.1.	Deskripsi Pengujian	102
4.3.2.	Prosedur Pengujian	102
4.3.3.	Data Pengujian	102
4.3.4.	Hasil Pengujian	109
4.4.	KOMPARASI RESPON RECOVERY PADA OPAMP	111
4.4.1.	Deskripsi Pengujian	111
4.4.2.	Prosedur Pengujian	112
4.4.3.	Data Pengujian	112
4.4.4.	Hasil Pengujian	123
4.5.	PENGARUH ZCD PADA OUTPUT SCR	126
4.5.1.	Deskripsi pengujian	126
4.5.2.	Prosedur Pengujian	126
4.5.3.	Data Pengujian	128
4.5.4.	Hasil Pengujian	131
BAB V PENUTUP		133



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

5.1 KESIMPULAN.....	133
DAFTAR PUSTAKA	134
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	136
LAMPIRAN.....	137



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep Dasar Listrik AC	21
Gambar 2.2 Konsep Dasar Sudut 3 Fasa.....	22
Gambar 2.3 Konfigurasi Rangkaian Star (Y).....	22
Gambar 2.4 Konfigurasi Rangkaian Delta (Δ).....	23
Gambar 2.5 Komparasi Antara Bentuk Kurva Listrik DC Dengan Listrik AC	24
Gambar 2.6 Ilustrasi Penyearahan.....	24
Gambar 2.7 Ilustrasi Penyusun Dioda.....	25
Gambar 2.8 Contoh Single Phase Full Wave Rectifier Pasif	26
Gambar 2.9 Contoh Diagram Active Controlled Rectifier.	27
Gambar 2.10 Contoh Waveform Active Controlled Rectifier.	28
Gambar 2.11 Ilustrasi Medan Magnet Memotong/Menembus Lilitan.....	32
Gambar 2.12. Ilustrasi Arah Gelombang Berdasarkan Prinsip Lenz	34
Gambar 2.13. Ilustrasi Prinsip bentuk Transformator.....	35
Gambar 2.14. Konsep garis medan	36
Gambar 2.15 menunjukkan dua pelat konduktor sejajar yang dipisahkan satu sama lain oleh udara	37
Gambar 2.16. Bipolar Junction Transistor	39
Gambar 2.17. Insulated Gate Field Effect Transistor.....	40
Gambar 2.18 koneksi dari sebuah OpAmp	41
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Penyearah Tiga Fasa Terkendali Berbasis Mikrokontroler Dengan ZeroCrossing	49
Gambar 3.2 Diagram Alir Utama	50
Gambar 3.3 Konsep Visual Modul Blok.....	52
Gambar 3.4 Visual Modul ZCD.....	53
Gambar 3.5 Visual Modul MCU Beserta Penguatan Pulsa	54
Gambar 3.6 Visual Jembatan Penyearah Tiga Fasa	55
Gambar 3.7 Diagram Pengawatan ZCD Optocoupler.....	57
Gambar 3.8 Diagram Pengawatan ZCD LM393.....	58
Gambar 3.9 Diagram Pengawatan ZCD LM311.....	59
Gambar 3.10 Diagram Pengawatan FET Driver	60
Gambar 3.11 Diagram Pengawatan Push Pull	61

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.12 Diagram Pengawatan Jembatan SCR.....	62
Gambar 3.13. Simulasi Zero Crossing dari Output Comparator.....	63
Gambar 3.14. Modul Zero Crossing Detector.....	64
Gambar 3.15. Diagram Zero Crossing Detector Per Channel.....	64
Gambar 3.16. Cara Kerja Transformator Pada ZCD.....	65
Gambar 3.17. Cara Kerja Dioda Anti Parallel.	65
Gambar 3.18. Cara Kerja Opamp Voltage Comparator.	66
Gambar 3.19. Input Non-Invert & Output Opamp LM393.....	66
Gambar 3.20. Diagram LM393	67
Gambar 3.21. Diagram LM393 Penjelasan-1	68
Gambar 3.22. Diagram LM393 Penjelasan-2.....	68
Gambar 3.23. Diagram LM393 Penjelasan-3.....	69
Gambar 3.24. Diagram LM393 Penjelasan-4.....	70
Gambar 3.25. Diagram LM393 Penjelasan-5.....	70
Gambar 3.26. Hasil sinyal ZCD pada CH1(R) dan CH2(S).....	71
Gambar 3.27. Tampilan MCU Arduino UNO.....	72
Gambar 3.28. Tampilan Sinyal MCU Terhadap CH2 Dan Sinyal Input Transformator Terhadap CH1 Oscilloscope.	73
Gambar 3.30. Diagram Phasor Full 3-Phase.....	77
Gambar 3.31. Bentuk Gelombang Output Rectifier di Oscilloscope	77
Gambar 3.32. Bentuk Gelombang Output Rectifier di Oscilloscope Beserta Sinyal Input ZCD R Sebagai Referensi.....	78
Gambar 3.33. Bentuk Grafik Curva Delay L Output Rectifier Versi Awal.....	78
Gambar 3.34. Bentuk Grafik Curva Delay L Output Rectifier Versi 2 Setelah Ditambahkan Gerbang Penguatan Kondisi High Terhadap Buffer Terbalik	79
Gambar 3.35. Bentuk Grafik Curva Delay L Output Rectifier Versi 3 Setelah Digantinya Unit Buffer Dengan Model Yang Lain.....	79
Gambar 3.36 Gambar Modul Gerbang Penguatan.	80
Gambar 3.37. Diagram Gerbang Penguatan Per-Channel.....	80
Gambar 3.38. Diagram Gerbang Penguatan Penjelasan-1.	80
Gambar 3.39. Diagram Gerbang Penguatan Penjelasan-2.	81
Gambar 3.40. Diagram Gerbang Penguatan Penjelasan-3.	82

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.41. Diagram Gerbang Penguatan Penjelasan-4.	82
Gambar 3.42. Diagram Gerbang Penguatan Buffer ULN2003.....	83
Gambar 3.43. Diagram Gerbang Penguatan Buffer ULN2003 Penjelasan-1.	83
Gambar 3.44. Diagram Gerbang Penguatan Buffer ULN2003 Penjelasan-2.	84
Gambar 3.45. Diagram Gerbang Penguatan Buffer ULN2003 Penjelasan-3.	84
Gambar 3.46. Diagram FET Driver TC4427.	85
Gambar 3.47. Tampilan Diagram Modul Rectifier Pertama.	85
Gambar 3.48. Tampilan Penambahan Modul RC Snubber.	86
Gambar 3.49. Diagram Penambahan Modul RC Snubber Pada Modul SCR.	86
Gambar 3.50. Contoh Fungsi Nyata RC Snubber Pada Modul SCR.	87
Gambar 3.51. Tampilan Penambahan Filter Freewheel Diode (Flyback Diode)...87	
Gambar 3.52. Filter Freewheel Diode (Flyback Diode).....	88
Gambar 3.53. Tampilan Sinyal Oscilloscope Terhadap Gate SCR2.....	88
Gambar 3.54. Diagram full Modul Firing SCR.	89
Gambar 3.55. Diagram Modul Firing SCR Penjelasan-1.....	89
Gambar 3.56. Diagram Modul Firing SCR Penjelasan-2.....	90
Gambar 3.57. Diagram Modul Firing SCR Penjelasan-3.....	90
Gambar 3.58. Diagram Modul Firing SCR Penjelasan-4.....	91
Gambar 4.1 Titik Koneksi Pengujian ZCD OpAmp.....	93
Gambar 4.2 Titik Koneksi Pengujian ZCD Optocoupler.....	93
Gambar 4.3 Wujud Visual Dari Output Zerocrossing Berbasis OpAmp (5mS/div)	94
Gambar 4.4 Wujud Visual Dari Output Zerocrossing Berbasis Optocoupler (5mS/div).....	94
Gambar 4.5 Titik Koneksi Pengujian Respon ZCD Optocoupler Terhadap Masukan ZCD.....	97
Gambar 4.6 Titik Koneksi Pengujian ZCD OpAmp Terhadap Masukan ZCD	97
Gambar 4.7 Delay Modul ZCD Optocoupler P521 Line R Terhadap Zona Zero (200us/div)	98
Gambar 4.8 Delay Modul ZCD Opamp LM311 Saturasi Line R Terhadap Zona Zero (20us/div).....	98

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.9 Modul ZCD Opamp LM311 Rcol 1k Line S Terhadap Zona Zero (10us/div)	99
Gambar 4.10 Delay Modul ZCD Opto PC817 Line R Terhadap Zona Zero (200us/div)	99
Gambar 4.11 Delay Modul ZCD Opamp LM393 Line R Terhadap Zona Zero (5us/div)	99
Gambar 4.12 Delay Modul ZCD Optocoupler PC817 27K Terhadap Zona Zero (100us/div)	100
Gambar 4.13 Delay Modul ZCD Optocoupler P521 27K Terhadap Zona Zero (50us/div)	100
Gambar 4.14 Delay Rising Peak P512 Remiter 4k (200us/div).....	103
Gambar 4.15. Delay Rising Peak PC817 Remit 4k (200us/div)	103
Gambar 4.16. Delay Rising Peak P512 Remit 27k (50us/div).....	104
Gambar 4.17. Delay Rising Peak PC817 Remit 27k (100us/div)	104
Gambar 4.18. Delay Rising Peak LM311 Saturated Line R (20us/div).....	105
Gambar 4.19. Delay Rising Peak LM311 Saturated Line S (20us/div)	105
Gambar 4.20. Delay Rising Peak LM311 Saturated Line T (20us/div)	105
Gambar 4.21. Delay Rising Peak LM311 Line R (10us/div).....	106
Gambar 4.22. Delay Rising Peak LM311 Line S (5us/div)	106
Gambar 4.23. Delay Rising Peak LM311 Line T (5us/div)	106
Gambar 4.24. Delay Rising Peak LM393 Line R (5us/div).....	107
Gambar 4.25. Delay Rising Peak LM393 Line S (5us/div).....	107
Gambar 4.26. Delay Rising Peak LM393 Line T (5us/div)	107
Gambar 4.23. Visual Recovery Delay LM393 non feedback (kuning) dengan LM311 non feedback (hijau).....	111
Gambar 4.27. Visual Overshoot LM311 R	113
Gambar 4.28. Visual Overshoot LM311 S.....	113
Gambar 4.29. Visual Overshoot LM311 T	114
Gambar 4.30. Visual Overshoot LM393 R	114
Gambar 4.31. Visual Overshoot LM393 S.....	115
Gambar 4.32. Visual Overshoot LM393 T	115
Gambar 4.33. Visual Undershoot LM311 R	116



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.34. Visual Undershoot LM311 S.....	116
Gambar 4.35. Visual Undershoot LM311 T	116
Gambar 4.36. Visual Undershoot LM393 R	117
Gambar 4.37. Visual Undershoot LM393 S	117
Gambar 4.38. Visual Undershoot LM393 T	117
Gambar 4.39. Durasi Overshoot LM311 R	118
Gambar 4.40. Durasi Overshoot LM311 S	118
Gambar 4.41. Durasi Overshoot LM311 T	118
Gambar 4.42. Durasi Overshoot LM393 R	119
Gambar 4.43. Durasi Overshoot LM393 S	119
Gambar 4.44. Durasi Overshoot LM393 T	119
Gambar 4.45. Durasi Undershoot LM311 R.....	120
Gambar 4.46. Durasi Undershoot LM311 S	120
Gambar 4.47. Durasi Undershoot LM311 T	121
Gambar 4.48. Durasi Undershoot LM393 R.....	121
Gambar 4.49. Durasi Undershoot LM393 S	121
Gambar 4.50. Durasi Undershoot LM393 T	122
Gambar 4.52. Titik Koneksi Pengujian ZCD Terhadap Keluaran Sudut SCR	128
Gambar 4.53. Titik Koneksi ZCD R Terhadap Keluaran Sudut 0 Derajat SCR..	128
Gambar 4.54. Titik Koneksi ZCD R Terhadap Keluaran Sudut 30 Derajat SCR	129
Gambar 4.55. Titik Koneksi ZCD R Terhadap Keluaran Sudut 60 Derajat SCR	129
Gambar 4.56. Titik Koneksi ZCD R Terhadap Keluaran Sudut 90 Derajat SCR	130
Gambar 4.57. Titik Koneksi ZCD R Terhadap Keluaran Sudut 120 Derajat SCR	130



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar Spesifikasi Alat	45
Tabel 3.2: Daftar Spesifikasi Modul	46
Tabel 3.3: Pin IO Yang Digunakan MCU.....	75
Tabel 4.1: Respon Starting Terhadap Zona Zero	100
Tabel 4.2 :Rata Rata Respon Starting Komponen Terhadap Zona Zero.....	101
Tabel 4.3: Delay Firing to Peak Komponen.....	108
Tabel 4.4: Rata Rata Delay Firing to Peak Komponen	108
Tabel 4.5: Delay Firing to 3V Komponen.....	108
Tabel 4.6: Rata Rata Delay Firing to 3V Komponen.....	108
Tabel 4.7: Nilai Besarnya Overshoot	122
Tabel 4.8: Rata Rata Overshoot Komponen.....	122
Tabel 4.9: Nilai Besarnya Undershoot	122
Tabel 4.10: Rata Rata Undershoot Komponen.....	122
Tabel 4.11: Durasi Overshoot	123
Tabel 4.12: Rata Rata Durasi Overshoot Komponen.....	123
Tabel 4.13: Durasi Undershoot	123
Tabel 4.14: Rata Rata Durasi Undershoot Komponen.....	123
Tabel 4.15: Durasi Pergeseran Sudut SCR Terhadap ZCD	130

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Penyearah terkendali tiga fasa gelombang penuh adalah salah satu topologi penting dalam elektronika daya industri sehingga krusial untuk dipelajari khususnya pada pembelajaran elektronika daya. Alat pembelajaran pada kampus memiliki keterbatasan seperti kurangnya penjelasan bagaimana alat tersebut bekerja secara bertahap, hal tersebut disebabkan pada desain modul trainer kampus menggunakan konsep all in one pada satu modul, sehingga para praktikan tidak cukup paham bagaimana modul tersebut bekerja.

Elektronika daya merupakan mata kuliah yang mengajarkan mahasiswa untuk dapat memahami konsep teoritis, praktis, dan aplikasi dari alat instrument daya, serta menjembatani pemahaman transisi status semikonduktor daya (Putra Yanto et al., 2019).

Dengan alat trainer ini diharapkan para praktikan bisa lebih mengetahui dan mengenal lebih dalam bagaimana cara kerja secara menyeluruh dan komprehensif mulai dari tahap awal hingga akhir. Penggunaan modul secara terpisah diharapkan praktikan dapat dengan mudah mengenali mekanisme alat mulai dari alat sinkronisasi tiga fasa Zero Crossing Detection, modul pulsa penguatan, dan lainnya (Azis et al., 2017).

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Adapun perumusan masalah dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana sistem penyearah terkendali tiga fasa bekerja.
- b. Bagaimana sistem ZeroCrossing mempengaruhi performa sistem penyearah terkendali tiga fasa bekerja.
- c. Bagaimana tampilan dan fungsi Zerocrossing terhadap sistem.

1.3. PEMBATAAN MASALAH

Pembatasan Masalah yang tidak didalami penelitian ini:

1. Untuk Skripsi ini hanya akan fokus seputar ZeroCrossing.
2. Pembahasan mengenai modul PulseAmp dan modul lainnya tidak dibahas secara mendalam.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4. TUJUAN

Pelaksanaan penelitian ini direncanakan untuk:

- a. Merancang sistem penyearah terkendali tiga fasa.
- b. Mengembangkan sistem yang memudahkan pengguna dalam belajar elektronika.
- c. Memahami fungsi Zerocrossing terhadap sistem.

1.5. LUARAN

Luaran yang diharapkan dari hasil penelitian tugas akhir ini diantaranya:

- a. Alat yang digunakan untuk praktikum elektronika daya yang diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam melakukan kegiatan praktikum.
- b. Laporan skripsi dengan judul "Komparasi Zerocrossing Untuk Penyearah Terkendali Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroller".



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, realisasi perangkat keras, hingga analisis data eksperimental yang telah dilakukan pada proyek akhir ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa Superioritas Akurasi ZCD Berbasis Op-Amp:

- Pengujian komparatif membuktikan bahwa sirkuit Zero Crossing Detection (ZCD) berbasis Op-Amp lebih presisi 6us (lag) – 8us (lag) dibandingkan topologi berbasis Optocoupler yang bisa mencapai 300us (lead) – 850us (lead).
- ZCD berbasis Op-Amp (baik LM393 maupun LM311) menghasilkan transisi naik (rising edge) yang sangat minimal yaitu 3us – 17us (near-zero delay), sedangkan Optocoupler (PC817 dan P521) memiliki keterbatasan mekanis berupa delay time berkisar 89us – 190us (setara pergeseran 1/50 lembah atau bukit gelombang) sebelum mencapai ambang logika MCU 3V.
- Kecepatan recovery terbaik dicapai oleh IC LM311 karena arsitekturnya yang masuk dalam kategori High-Speed Voltage Comparator, tetapi perbedaannya secara maginal tidak terlalu berdampak pada sistem dimana LM311 rata-rata hanya 128.5us undershoot dan 144us overshoot, dibandingkan LM393 yang memiliki waktu rata-rata undershoot sebesar 213.7us dan 215.7us untuk overshootnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, F., Wirana, A., & Habibuddin, R. (2017). *Perancangan dan Pembuatan Trainer Penyearah Terkendali 3 Fasa*. 5(1), 26–35.
- Bird, J. (2007). *Electrical and Electronic Principles and Technology 3rd Ed.*
- Bird, J. (2022). *Electrical & Electronic Principles & Technology Bird's 7th Ed.*
- Bose, B. K. (2002). Modern Power Electronics and AC Drives. In *Modern Power Electronics and AC Drives* (pp. 301–332).
- Gordan, I. M. (2004). *Mircea Gordan "Design and Microcontroller Implementation of a Three Phase SCR Power Converter", Vol45, No. 6, 2004.* 45(6).
- K. R. Parker, ed. (1997). *K. R. Parker, ed., "Applied Electrostatic Precipitation", 520 pages, 1997.* (1980).
- Microchip Technology. (2014). *TC4427,4426, 4428 MOSFET Driver.*
- Microchip Technology. (2015). *"ATmega328P DATASHEET", No. 7810D-AVR-01/15, 2015 Atmel Corporation.* 1–294.
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. R. (2007). "Power Electronics Converters, Applications, and Design." In *Cardiac Arrest: The Science and Practice of Resuscitation Medicine*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511544828.039>
- Putra Yanto, D. T., Astrid, E., Hidayat, R., & Islami, S. (2019). Analisis Uji Kelayakan Trainer Kit Elektronika Daya: 3 Phase Half-Wave and Full-Wave Uncontrolled Rectifier. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 5(1.1), 121.
<https://doi.org/10.24036/jtev.v5i1.1.106215>
- Rashid, M. H. . (2014). *Power electronics : devices, circuits, and applications.* Pearson.
- Robertson, C. R. (2008). *Fundamental Electrical and Electronic Principles, Third Edition.*
- SHARP. (1995). *"Datasheet PC817A", UL, No. E64380.* 3(1), 10–27.
- SHARP. (2003). *PC817X Series. Current,* 1–16.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

STMicroelectronics. (2014). *Datasheet - TN2540, TXN625, TYN625, TYN825, TYN12 ref. E81734*. (August), 1–11.

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/tn2540.pdf>

STMicroelectronics. (2021). *ULN2003, Seven Darlington arrays*. (November), 1–21. www.st.com

Texas Instrument. (2017). *“LM111, LM211, LM311 Differential Comparators datasheet”, (Rev. K), SLCS007K –SEPTEMBER 1973–REVISED MARCH 2017*.

Texas Instrument. (2020). *“LM393B, LM2903B, LM193, LM293, LM393 and LM2903 Dual Comparators datasheet”, (Rev. AH), SLCS005AH – OCTOBER 1979 – REVISED APRIL 2025*. (January). www.ti.com

Toshiba. (2007). *“Datasheet TLP521–1, TLP521–2, TLP521–4”, UL1577, No. E67349, 2007-10-01*. 1–9.

Toshiba. (2010). *2SA965 Bipolar Small Signal Transistor*. 1–73.

Verhaevert, J. (2024). *Fundamental Electrical and Electronic Principles: Fourth Edition*.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Septian Jodie Patriatama

Lulus dari Yayasan SD Tugu Ibu 1 tahun 2016, SMPN 4 Kota Depok tahun 2019, dan Yayasan SMA Tugu Ibu 1 tahun 2022. Penulis menjalani pendidikan lanjut di Politeknik Negeri Jakarta dengan Program Studi D4 Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

LAMPIRAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERNYATAAN PENGEMBANGAN ALAT

PERNYATAAN PENGEMBANGAN ALAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Septian Jodie Patriatama (Ketua Kelompok Tugas Akhir).
Nomor Induk Mahasiswa	: 2203411046.
Program Studi	: Teknik Otomasi Listrik Industri
Projek Tugas Akhir	: Perancangan Sistem Penyearah Terkendali 3 Fasa Berbasis Mikrokontroler.
Anggota	: 1. Muhammad Bagas Saputra (2203411032) 2. Satriyo Wibowo (2203411017)

Melalui surat ini, saya menyatakan kesanggupan dan tanggung jawab penuh atas pembuatan peralatan di Laboratorium Elektronika Daya yang terdiri dari: modul pembelajaran *Zero Crossing Detector*, Pengutan Pulsa, Mikrokontroler, *Power Supply*, *FET Driver*, Transformator *Step-down Y-Δ split-phase* 380 VAC ke 45 VAC, serta modul *Rectifier* 3 Fasa 100 VDC. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan alat belajar praktikum sebagaimana mestinya.

Ketua Kelompok TA



Septian Jodie Patriatama

Kepala Laboratorium Listrik

Dezetty Monika, S.T., M.T.

Pembimbing 1

Dezetty Monika, S.T., M.T.

Pembimbing 2

Hatib Setiana, S.T., M.T.

Depok, 30 Januari 2026
Kepala Program Studi
Teknik Otomasi Listrik Industri

Nuha Nadhiroh, S.T., M.T.



UJIAN CARA KERJA KOMPONEN-KOMPONEN ZERO CROSSING

1. TUJUAN

1. Memahami fundamental komponen elektronika.
2. Menganalisis rangkaian internal ZCD terhadap tegangan keluaran ZCD.
3. Menganalisis pengaruh respon waktu ZCD terhadap tegangan keluaran ZCD.

2. DAFTAR PERALATAN

Jumlah	Nama Peralatan / Komponen	Keterangan / Spesifikasi
1 Set	Power Supply	15 VDC
1 Set	Modul ZCD	ZCD 3 fasa
1 Unit	Osiloskop	Pengukuran sudut tegangan dan tegangan
1 Set	Jumper	Jembatan jumper warna putih
1 Set	Kabel Penghubung Daya (<i>Banana Plug</i>)	Rating isolasi tinggi
3 Unit	Transformator CT 1A	Step down tegangan dan insulasi tegangan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. DASAR TEORI

Arus Bolak-Balik (AC - Alternating Current) dari listrik memiliki karakteristik gelombang sinusoida kontinu yang nilainya berubah terhadap fungsi waktu t .

$$V(t) = V_{\text{peak}} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

Dimana V_{peak} adalah tegangan puncak $\sqrt{2} \cdot V_{\text{rms}}$, ω adalah frekuensi sudut $2\pi f$ dan ϕ adalah fase awal gelombang. Dalam satu siklus penuh 360° atau 2π radian, gelombang sinusoida akan melewati titik tegangan 0 Volt sebanyak dua kali, yaitu pada sudut fase 0° atau 180° dan 360° . Titik transisi ketika tegangan berganti polaritas dari positif ke negatif, atau sebaliknya dari negatif ke positif, disebut sebagai Titik Lintasan Nol (Zero Crossing Point).

Mengoperasikan perangkat keras ZCD yang terhubung langsung ke PLN 220V AC sangat berbahaya karena tidak adanya batasan arus yang mengisolasi manusia maupun instrumen ukur (seperti osiloskop) dari *Ground* bumi. Untuk mencapai pengoperasian yang aman, sistem masukan ZCD wajib diturunkan tegangannya menggunakan teknik penurunan tegangan terisolasi.

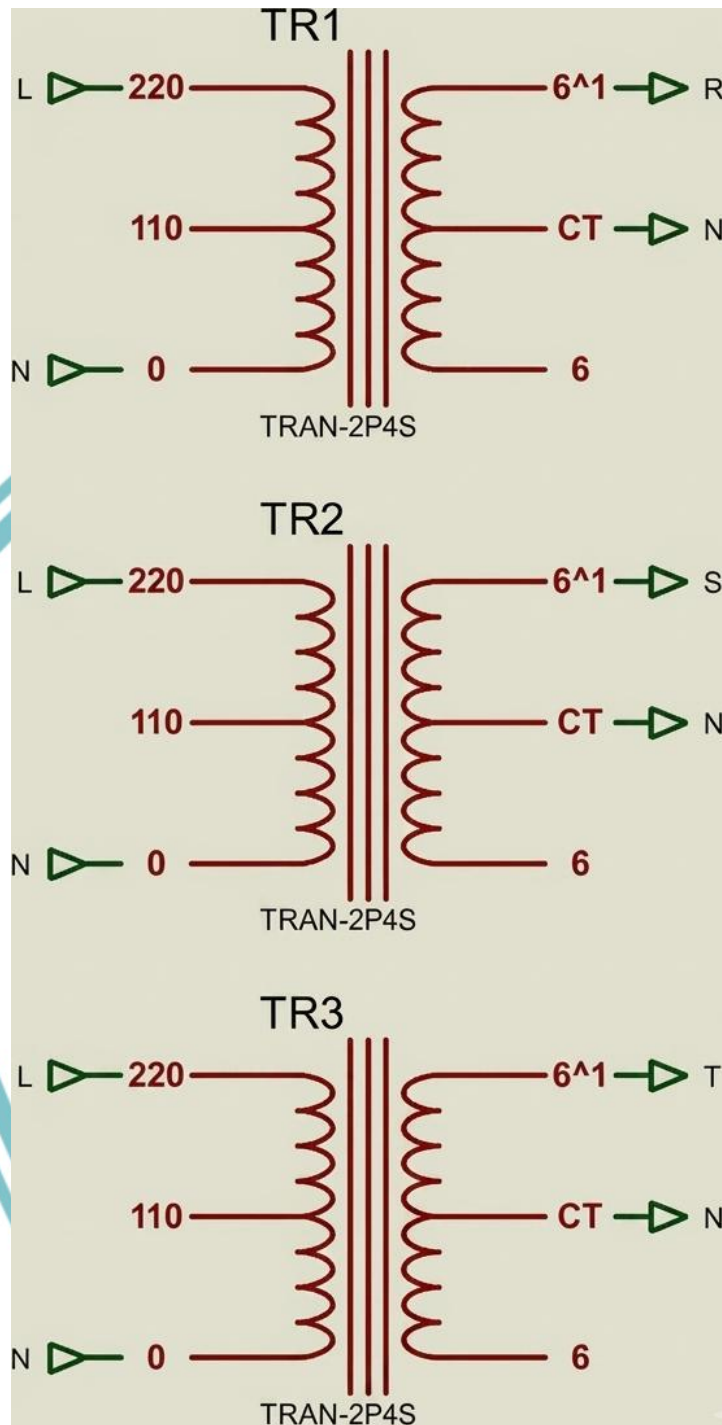
Fungsi utama sebuah Op-Amp adalah mengukur selisih (diferensial) tegangan antara input non-inverting V_+ dan input inverting V_- , kemudian mengalikannya dengan faktor penguatan terbuka yang disebut Open-Loop Gain A_{OL} .

$$V_{\text{out}} = A_{OL} \times (V_+ - V_-)$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

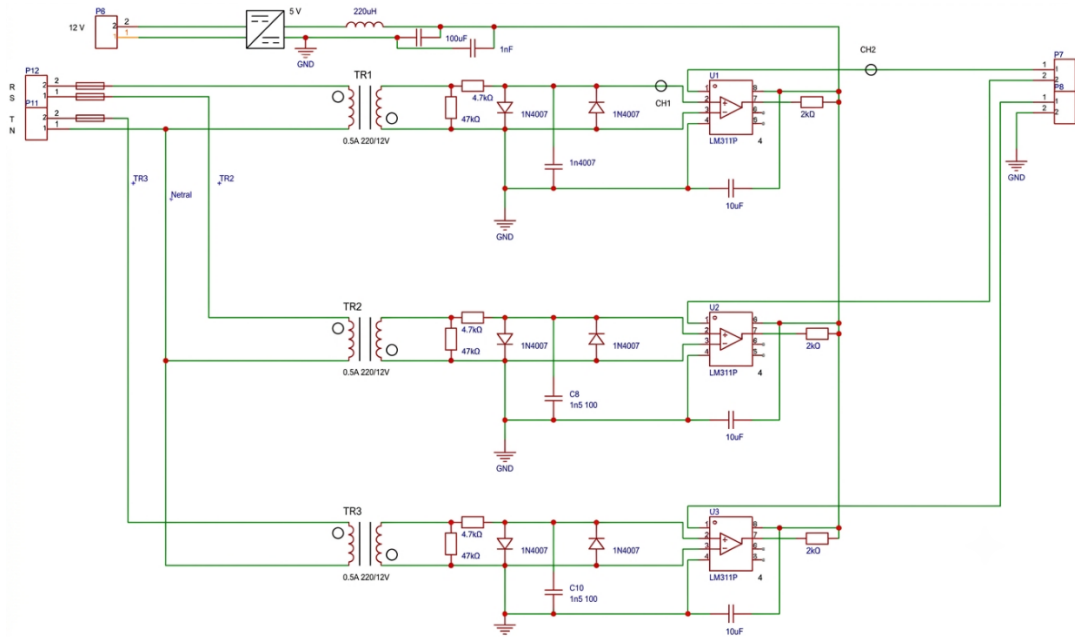
4. DIAGRAM RANGKAIAN



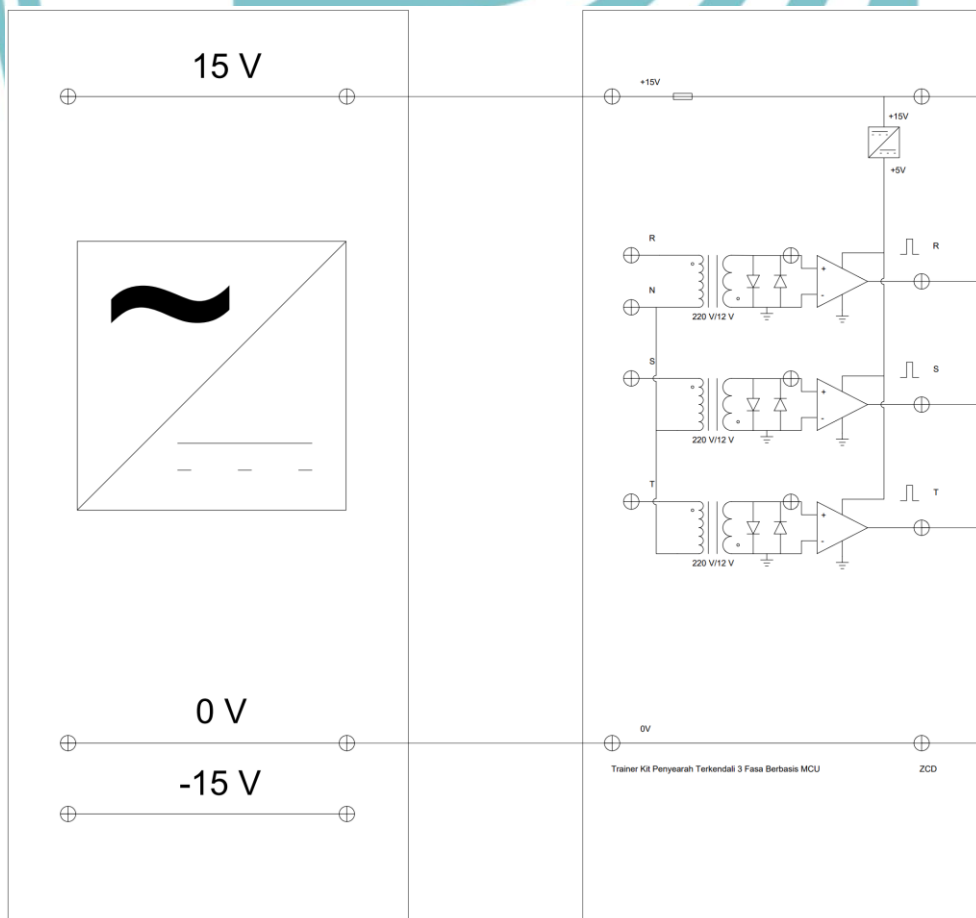
Gambar 1.1 Diagram Rangkaian Transformator

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



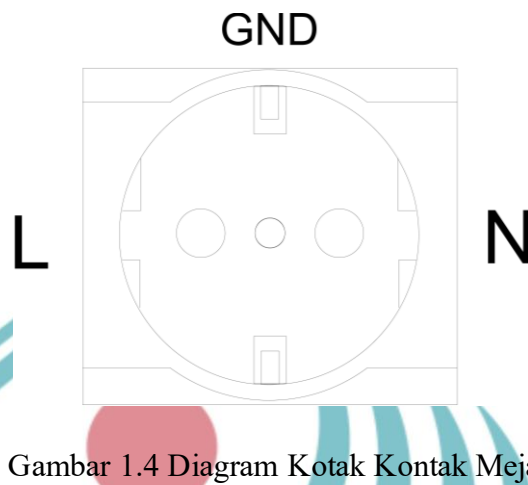
Gambar 1.2 Diagram Rangkaian Internal ZCD



Gambar 1.3 Diagram Rangkaian Modul ZCD

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



5. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Hubungkan terminal keluaran positif (+) dan negatif (-) dari PSU ke terminal daya ZCD.
2. Hubungkan tiga transformator pada terminal keluaran 6V (6¹) dari fasa R, S, dan T ke terminal masukan (input) R, S, dan T pada ZCD, serta terminal netral (CT) transformator ke terminal N pada ZCD.
3. Pasang dua probe osiloskop dan atur (set) pelemahan ke 10x pada probe dan osiloskop.
4. Hubungkan probe 1 ke terminal keluaran (output) R Trafo, dan probe 2 ke terminal masukan (input) R ZCD.
5. Hubungkan probe ground (GND) osiloskop ke terminal GND ZCD.
6. Pasang sekering (fuse) pada terminal L (220V) transformator, lalu hubungkan sekering tersebut ke terminal L (kiri) pada kotak kontak (kotak kontak 1 pada meja merupakan fasa R, kotak kontak 2 fasa S, dan kotak kontak 3 fasa T).
7. Hubungkan terminal netral (0) transformator ke terminal netral (kanan) pada kotak kontak.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Nyalakan sumber daya tegangan tiga fasa pada meja kerja, lalu ubah saklar PSU ke posisi ON.
9. Amati dan catat bentuk gelombang pada keluaran (output) jalur R Trafo terhadap masukan (input) non invert OpAmp R, jika sudah probe 1 dan 2 bisa dipindahkan ke jalur S dan catat bentuk gelombang jalur S Trafo terhadap masukan (input) non invert OpAmp S, lanjutkan pengukuran hingga data dari semua jalur R, S, dan T sudah didapatkan.
10. Setelah pengamatan 1 selesai, lanjutkan pengamatan 2 dengan pindahkan probe1 ke masukan (input) non invert OpAmp dan probe2 ke keluaran (output) ZCD, lanjutkan pengukuran hingga data dari semua jalur R, S, dan T sudah didapatkan.
11. Setelah pengamatan selesai, matikan saklar modul PSU, matikan sumber daya tegangan 3 fasa pada meja, dan lepas seluruh rangkaian kabel.

6. TUGAS DAN PERTANYAAN

1. Foto dan tampilkan hasil pengamatan 1 dan pengamatan 2 dari gambar osiloskop.
2. Buatlah tabel pengukuran yang mencakup hasil jarak waktu (uS) antara probe 1 dan 2 (pengukuran diukur dari kapan probe1 menunjukkan tegangan memasuki zona zero dan kapan probe2 menunjukkan tegangan ZCD mulai merespon) dan jelaskan apakah posisi dari probe2 itu leading atau lagging terhadap zona zero pada probe1 berdasarkan data yang Anda peroleh dari pengamatan 2!
3. Jelaskan kenapa anda tidak dapat tersetrum saat menyentuh keluaran trafo.
4. Jelaskan kenapa alat ukur osiloskop yang anda pakai tidak rusak saat mengukur tegangan gabungan AC-DC dan mengapa alat ukur osiloskopnya tetap bisa presisi membaca jenis keluaran tegangan yang berbeda AC-DC.
5. Jelaskan kenapa tegangan menurun setelah melewati rangkaian dioda, rangkaian apa itu, dan biasa dipakai untuk apa konfigurasi rangkaian dioda tersebut?
6. Jelaskan kenapa rangkaian OpAmp ini disebut penguatan saturasi, coba buktikan dengan rumus penguatan OpAmp.



PENGUJIAN ZERO CROSSING TERHADAP SUDUT FASA TRANSFORMATOR

1. TUJUAN

4. Mengoperasikan perangkat keras ZCD dengan masukan AC tiga fasa yang sudah di turunkan secara aman.
5. Menganalisis pengaruh koneksi transformator terhadap tegangan keluaran transformator.
6. Menganalisis pengaruh perubahan sudut fasa transformator terhadap tegangan keluaran ZCD.

2. DAFTAR PERALATAN

Jumlah	Nama Peralatan / Komponen	Keterangan / Spesifikasi
1 Set	Power Supply	15 VDC
1 Set	Modul ZCD	ZCD 3 fasa
1 Unit	Osiloskop	Pengukuran sudut tegangan dan tegangan
1 Set	Jumper	Jembatan jumper warna putih
1 Set	Kabel Penghubung Daya (<i>Banana Plug</i>)	Rating isolasi tinggi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Jumlah	Nama Peralatan / Komponen	Keterangan / Spesifikasi
3 Unit	Transformator CT 1A	Step down tegangan dan insulasi tegangan

3. DASAR TEORI

Transformator bekerja berdasarkan Hukum Induksi Elektromagnetik Faraday, di mana perubahan fluks magnetik pada kumparan primer menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi pada kumparan sekunder.

Ketika mengalirkan arus bolak-balik $i_p(t)$ ke kumparan primer yang memiliki jumlah lilitan N_p , arus tersebut akan memaksa elektron bergerak memutar. Berdasarkan Hukum Ampere, arus yang mengalir dalam lintasan melingkar akan menghasilkan Gaya Gerak Magnet (F): $F = N_p \cdot i_p(t)$ GGM inilah yang menjadi "tekanan" awal untuk memompa medan magnet ke dalam inti besi.

Tepat ketika fluks magnetik yang berubah-ubah $\frac{d\Phi}{dt}$ tersebut memotong kawat-kawat pada kumparan sekunder (N_s), atom-atom tembaga di kumparan sekunder mendadak merasakan perubahan medan magnet. Berdasarkan Hukum Induksi Faraday, perubahan fluks magnetik ini memaksa elektron-elektron bebas di kumparan sekunder untuk bergerak. Gaya yang memaksa elektron bergerak inilah yang disebut Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi (e_s):

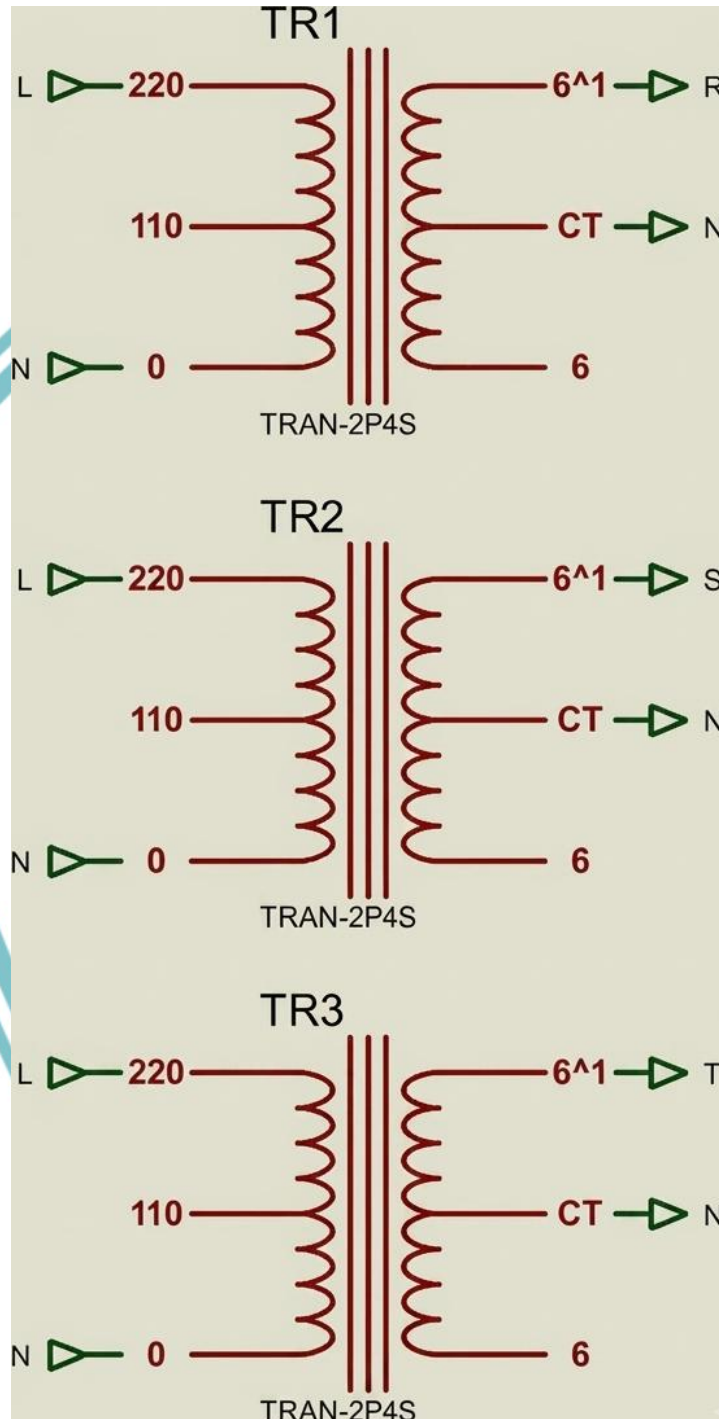
$$e_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt}$$

Arus dan tegangan bolak-balik (AC) secara periodik berubah arah dan magnitudo mengikuti fungsi sinusoida, di mana titik pergantian polaritas tersebut dikenal sebagai titik lintas nol (zero crossing). Secara matematis, idealnya gelombang tegangan AC dinyatakan sebagai $V(t) = V_m \sin(\omega t)$, di mana *zero crossing* terjadi tepat saat $t = n\pi/\omega$ atau ketika nilai tegangan sama dengan nol volt.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

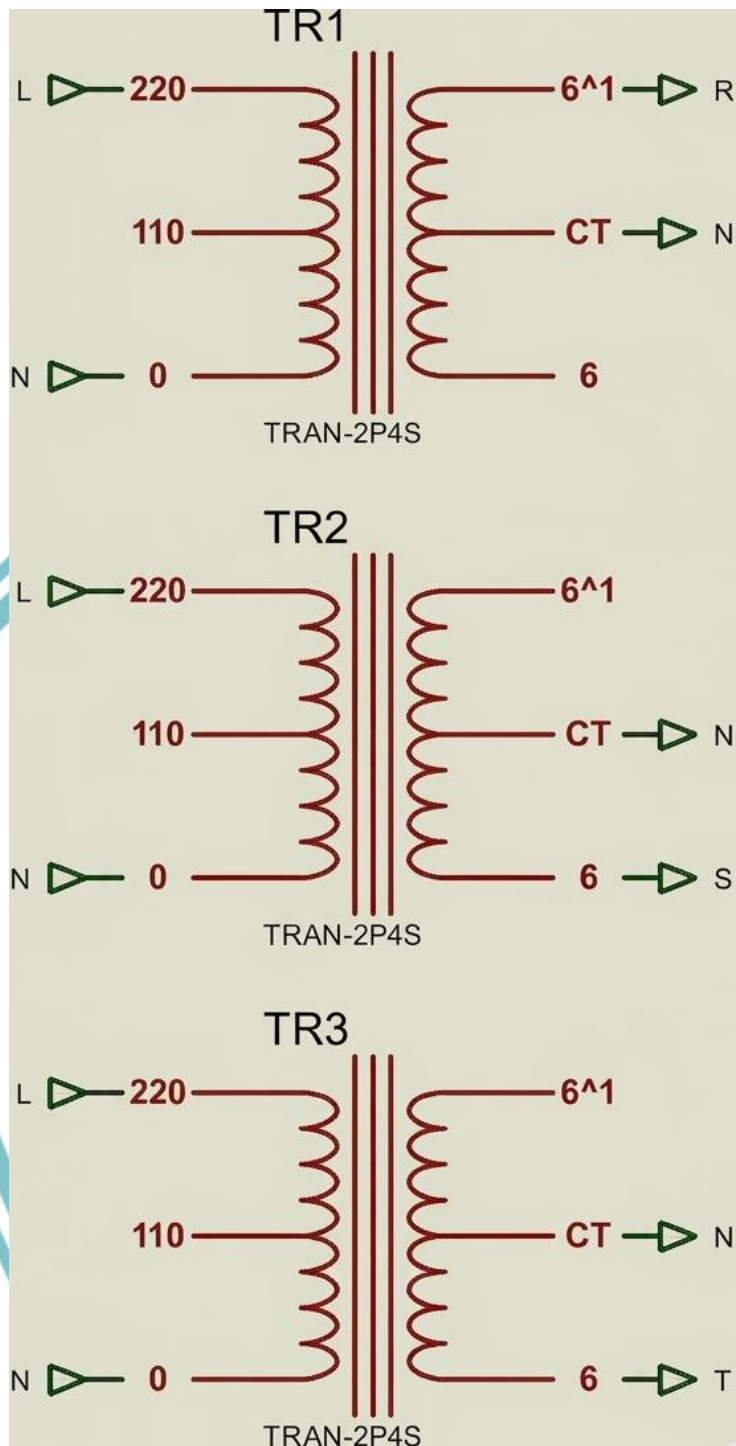
4. DIAGRAM RANGKAIAN



Gambar 1.1 Diagram Rangkaian 1a

Hak Cipta :

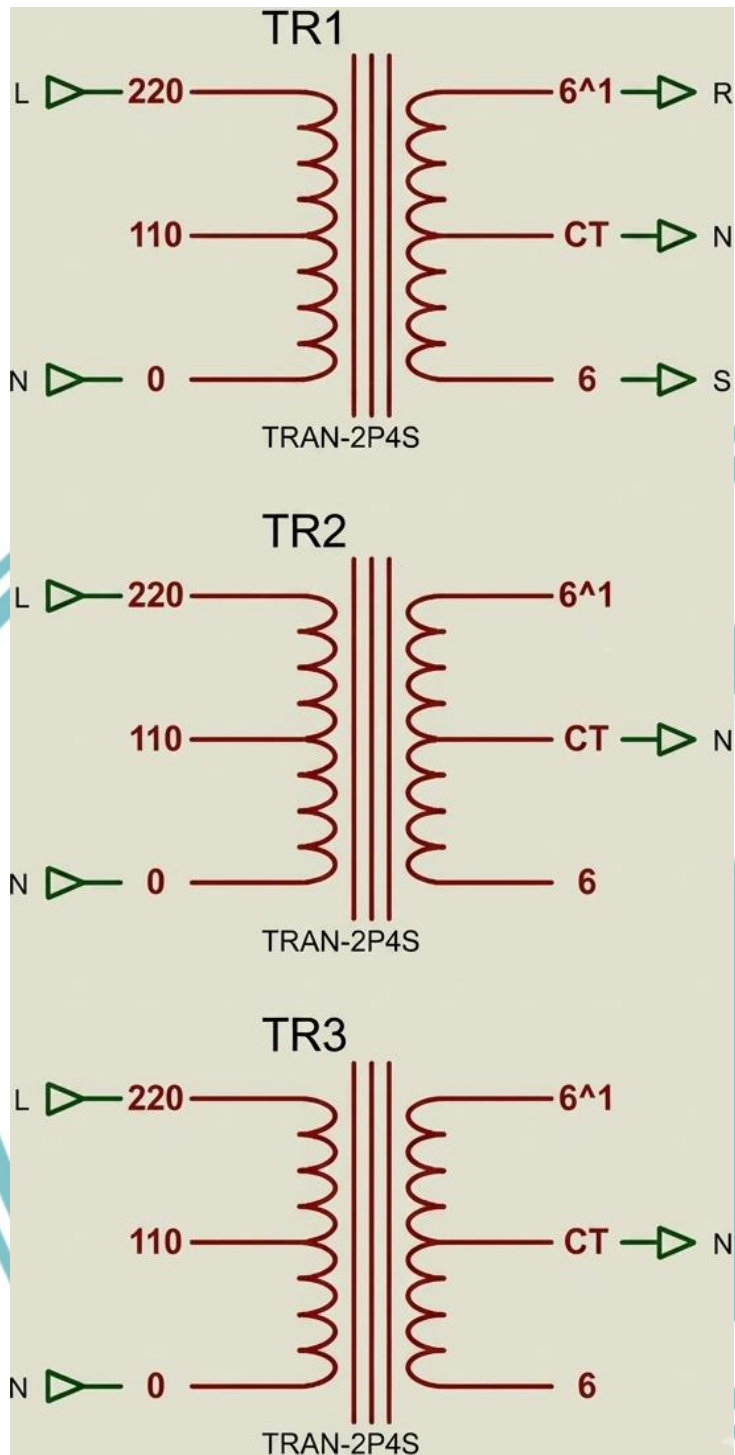
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1.2 Diagram Rangkaian 1b

Hak Cipta :

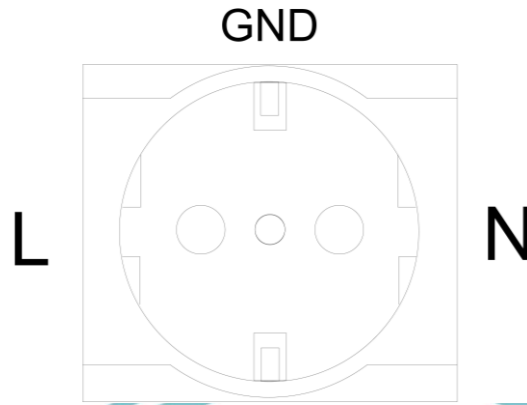
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1.3 Diagram Rangkaian 2

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1.4 Diagram Kotak Kontak Meja

5. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Hubungkan terminal keluaran positif (+) dan negatif (-) dari PSU ke terminal daya ZCD.
2. Hubungkan tiga transformator pada terminal keluaran 6V (6¹) dari fasa R, S, dan T ke terminal masukan (input) R, S, dan T pada ZCD, serta terminal netral (CT) transformator ke terminal N pada ZCD.
3. Pasang dua probe osiloskop dan atur (set) pelemahan ke 10x pada probe dan osiloskop.
4. Hubungkan probe 1 ke terminal keluaran (output) R ZCD, dan probe 2 ke terminal keluaran (output) S ZCD.
5. Hubungkan probe ground (GND) osiloskop ke terminal GND ZCD.
6. Pasang sekering (fuse) pada terminal L (220V) transformator, lalu hubungkan sekering tersebut ke terminal L (kiri) pada kotak kontak (kotak kontak 1 pada meja merupakan fasa R, kotak kontak 2 fasa S, dan kotak kontak 3 fasa T).
7. Hubungkan terminal netral (0) transformator ke terminal netral (kanan) pada kotak kontak.
8. Nyalakan sumber daya tegangan tiga fasa pada meja kerja, lalu ubah saklar PSU ke posisi ON.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9. Amati dan catat bentuk pulse pada setiap output ZCD jalur line R terhadap S, jika sudah probe2 bisa dipindahkan menjadi output T dan catat bentuk pulse jalur R terhadap T.

10. Setelah pengamatan rangkaian 1a selesai, rangkailah rangkaian 1b dan catat setiap output ZCD seperti no 9.

11. Setelah pengamatan rangkaian 1b selesai, rangkailah rangkaian 2 dan catat output ZCD R terhadap S.

12. Setelah pengamatan selesai, matikan saklar modul PSU, matikan sumber daya tegangan 3 fasa pada meja, dan lepas seluruh rangkaian kabel.

6. TUGAS DAN PERTANYAAN

1. Foto dan tampilkan hasil pengujian dari gambar osiloskop.
2. Buatlah tabel pengukuran yang mencakup hasil jarak waktu antar fasa (uS) berdasarkan data yang Anda peroleh!
3. Hitunglah selisih antara nilai waktu (uS) output fasa R sebagai referensi dengan output fasa lainnya dari hasil pengukuran osiloskop.
4. Analisis faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya selisih tersebut!

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**