

RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM
SEMIKONVERTER TIGA-FASA



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma tiga (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NUR HAJAR ASWAD 342 17 002
YOSRA GALLARAN 342 17 016

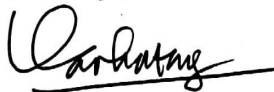
PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa” oleh Nur Hajar Aswad NIM 34217002 dan Yosra Gallaran NIM 34217016 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 23 Desember 2020

Pembimbing I,



Marhatang, S.ST., M.T.
NIP. 19741117 200212 1 002

Pembimbing II,



Ir. Remigius Tandioga, M.Eng. Sc.
NIP. 19621210 199003 1 005

Mengetahui

Koordinator Program Studi,



Sri Suwasti, S.ST., M.T.
NIP. 19741123 200112 2 001

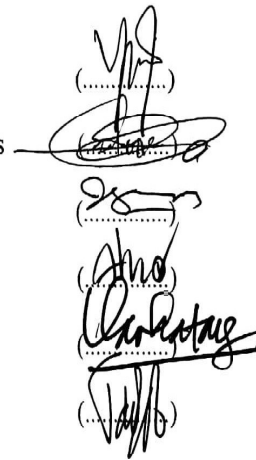
HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, 2 OKTOBER 2020, Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa: Nur Hajar Aswad NIM 34217002 dan Yosra Gallaran NIM 34217016 dengan judul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semi Konverter Tiga Fasa”.

Makassar, 23 Desember 2020

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir :

- | | | |
|---------------------------------------------|------------|---------|
| 1. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T | Ketua | (.....) |
| 2. Sukma Abadi, S.T., M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. A.M. Shiddiq Yunus, S.T.,M.Eng.Sc.,Ph.D. | Anggota | (.....) |
| 4. Dr.Eng.Ahmad Taufik, S.T., M.T | Anggota | (.....) |
| 5. Marhatang, S.ST., M.T. | Anggota | (.....) |
| 6. Ir. Remigius Tandioga, M.Eng. Sc. | Anggota | (.....) |



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa” dapat diselesaikan dengan baik.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudari penulis yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Marhatang, S.ST., M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Remigius Tandioga, M.Eng. Sc selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
6. Bapak Musrady Mulyadi, S.ST., M.T., selaku Wali Kelas.

7. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Konversi Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas dan sarana dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2017 yang telah menjadi saudara-saudari serta banyak memberikan motivasi, bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
9. Buat semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih kurang sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, Desember 2020

Penulis

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2.1 Spesifikasi dari Arduino Nano dengan mikrokontroler Atmega328..	19
Tabel 2.2 Kesalahan pengukuran pada alat ukur elektronik berbasis satu dioda dalam mengukur tegangan keluaran beberapa penyearah dan catu daya.....	55
Tabel 4.1 Spesifikasi Motor <i>dc</i>	65
Tabel 4.2 Spesifikasi SCR yang dipilih	66
Tabel 4.3 Spesifikasi Dioda yang dipilih	66
Tabel 4.4 Hasil pengujian catu daya 5 volt <i>dc</i>	74
Tabel 4.5 Hasil pengujian berbeban resistif	81
Tabel 4.6 Hasil perhitungan sudut penyalaan <i>thyristor</i> (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk berbeban resistif, $V_s = 90$ V, berdasarkan nilai V_{dc} ..	91
Tabel 4.7 Hasil perhitungan sudut penyalaan <i>thyristor</i> (α) pada semikonverter tiga- fasa untuk berbeban resistif, $V_s = 90$ V, berdasarkan bentuk gelombang tegangan keluaran	95
Tabel 4.8 Hasil pengujian berbeban induktif	97
Tabel 4.9 Hasil perhitungan sudut penyalaan <i>thyristor</i> (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk berbeban induktif, $V_s = 120$ V, berdasarkan nilai V_{dc}	116
Tabel 4.10 Hasil perhitungan sudut penyalaan <i>thyristor</i> (α) pada semikonverter tiga- fasa untuk berbeban induktif, $V_s = 120$ V, berdasarkan bentuk gelombang tegangan keluaran.....	119
Tabel 4.11 Persentase potensiogeser dan sudut penyalaan terhitung berdasarkan bentuk gelombang dari semikonverter tiga-fasa	120

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 (a) <i>Thyristor</i> . (a) Simbol. (b) Susunan Sebagai keping 4-lapis. (c) Susunan sebagai ekuivalensi 2 buah transistor.....	6
Gambar 2.2 Karakteristik v-i dari suatu <i>thyristor</i>	7
Gambar 2.3 Model 2-transistor dari suatu <i>thyristor</i> . (a) Susunan dasar (b) Rangkaian ekuivalen	9
Gambar 2.4 Dioda (a) Bentuk fisik (b) Simbol	12
Gambar 2.5 Rangkaian prategangan dioda. (a) Sambungan- <i>pn</i> terpanjar maju (b) Prategangan maju secara simbolik.....	13
Gambar 2.6 Rangkaian prategangan dioda. (a) Sambungan- <i>pn</i> terpanjar mundur. (b) Prategangan balik secara simbolik.....	14
Gambar 2.7 Transformator	15
Gambar 2.8 Resistor.....	16
Gambar 2.9 Kapasitor.....	17
Gambar 2.10 IC Regulator.....	17
Gambar 2.11 Potensiogeser.....	18
Gambar 2.12 Arduino Nano.....	19
Gambar 2.13 Konfigurasi <i>optocoupler</i>	20
Gambar 2.14 <i>Optocoupler</i>	21
Gambar 2.15 <i>Zero crossing detector</i> . (a) Titik nol yang dideteksi (b) Bentuk gelombang.....	22

Gambar 2.16 Konverter satu-fasa terkendali setengah gelombang berbeban resistif.....	24
Gambar 2.17 Konverter jembatan satu-fasa terkontrol penuh dengan beban resistif.....	25
Gambar 2.18 Konverter satu-fasa semiterkendali beban resistif.....	26
Gambar 2.19 Konverter tiga-fasa setengah gelombang (a) Diagram rangkaian. (b) Bentuk gelombang tegangan keluaran pada $\alpha = 0^\circ$	27
Gambar 2.20 Rangkaian konverter jembatan tiga-fasa terkontrol penuh.....	28
Gambar 2.21 Semikonverter tiga-fasa. (a) Diagram rangkaian (b) Bentuk gelombang tegangan masukan.....	29
Gambar 2.22 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif dan beban induktif (a) $\alpha = 0^\circ$. (b) $\alpha = 15^\circ$	31
Gambar 2.23 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif dan beban induktif. (a) $\alpha = 30^\circ$. (b) $\alpha = 45^\circ$. (c) $\alpha = 60^\circ$	32
Gambar 2.24 Bentuk gelombang keluaran $\alpha = 75^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	33
Gambar 2.25 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 90^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	34
Gambar 2.26 Bentuk gelombang keluaran $\alpha = 105^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	35
Gambar 2.27 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 120^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	36

Gambar 2.28 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 135^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	37
Gambar 2.29 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 150^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	38
Gambar 2.30 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 165^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda <i>freewheeling</i>	39
Gambar 2.31 Bentuk gelombang keluaran pada beban induktif dengan $X_L \gg R$ untuk $\alpha = 180^\circ$	40
Gambar 2.32 Diagram blok catu daya <i>dc</i> berbasis IC LMXXXX	48
Gambar 2.33 Bentuk-bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah satu-fasa gelombang-penuh	49
Gambar 2.34 Diagram blok alat ukur elektronik. (PMMC = <i>permanen magnet moving coil</i>)	53
Gambar 3.1 Diagram alir kegiatan	63
Gambar 4.1 Diagram blok catu daya <i>dc</i> 5 volt	66
Gambar 4.2 Rangkaian catu daya <i>dc</i> 5 volt	67
Gambar 4.3 Penyearah jembatan satu-fasa tanpa beban yang dipasang filter kapasitor pada keluarannya	67
Gambar 4.4 Diagram blok rangkaian kontrol per fasa	70

Gambar 4.5 Rancangan kotak semikonverter tiga-fasa.....	70
Gambar 4.6 Hasil Perancangan bodi modul penyearah tiga-fasa. (a) Tampak depan (b) Tampak belakang (c) Tampak samping kiri (d) Tampak samping kanan (e) Tampak atas (f) Tampak dalam	71
Gambar 4.7 Rangkaian daya semikonverter tiga-fasa.....	73
Gambar 4.8 Diagram blok dari rangkaian daya.....	73
Gambar 4.9 Rangkaian pengujian catu daya 5 volt <i>dc</i>	74
Gambar 4.10 Diagram rangkaian pengujian semikonverter tiga-fasa berbeban resistif.....	80
Gambar 4.11 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 63 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$].....	82
Gambar 4.12 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 115,5 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$].....	83
Gambar 4.13 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 165 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$].....	84
Gambar 4.14 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 205,5 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$].....	85
Gambar 4.15 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 225 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$].....	86
Gambar 4.16 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif. (a) $\alpha = 60^\circ$ (b) Untuk $60^\circ < \alpha < 180^\circ$	91

Gambar 4.17 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif untuk $0^\circ < \alpha < 60^\circ$	94
Gambar 4.18 Diagram rangkaian pengujian semikonverter tiga-fasa berbeban induktif.....	96
Gambar 4.19 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 294 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	98
Gambar 4.20 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,78 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	99
Gambar 4.21 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,78 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	100
Gambar 4.22 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 285 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	101
Gambar 4.23 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,72 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	102
Gambar 4.24 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,72 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	103
Gambar 4.25 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 264 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	104
Gambar 4.26 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,64 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].....	105

Gambar 4.27 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,64 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5$ ms/div , $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	106
Gambar 4.28 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 234 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x =$ 5 ms/div , $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	107
Gambar 4.29 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga- fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,58 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5$ ms/div , $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	108
Gambar 4.30 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,58 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5$ ms/div , $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	109
Gambar 4.31 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga- fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 81 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5$ ms/div , $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	110
Gambar 4.32 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,22 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5$ ms/div , $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$].	111
Gambar 4.33 Sudut penyalan <i>thyristor</i> (α) sebagai fungsi dari persentase potensiogeser (p) untuk semikonverter berbeban resistif. (Pendekatan linear: $\alpha = -1,655p + 147,353$).	122
Gambar 4.34 Sudut penyalan <i>thyristor</i> (α) sebagai fungsi dari persentase potensiogeser (p) untuk semikonverter berbeban induktif. (Pendekatan linear: $\alpha = -1,647p + 137,113$).	123

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1 Listing Pemrograman	128
Lampiran 2 Rangkaian Kontrol.....	130
Lampiran 3 Foto Kegiatan	131



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
V_{dc}	Volt	Nilai rata-rata tegangan keluaran
V_{rms}	Volt	Nilai efektif tegangan keluaran
V_m	Volt	Nilai maksimum tegangan masukan
V_s	Volt	Nilai efektif tegangan masukan per fasa
I_{dc}	Ampere	Nilai rata-rata arus beban
I_{rms}	Ampere	Nilai efektif arus beban
V_{RRM}	Volt	Nilai maksimum tegangan balik berulang ulang yang dapat ditanggung oleh <i>thyristor</i> dan dioda
$I_{T(av)}$	Ampere	Nilai rata-rata arus <i>thyristor</i>
$I_{T(rms)}$	Ampere	Nilai efektif arus <i>thyristor</i>
I_{GT}	Ampere	Nilai minimum Arus gerbang yang dibutuhkan <i>thyristor</i> agar dapat konduksi
V_{GT}	Volt	Nilai maksimum Arus gerbang yang dibutuhkan <i>thyristor</i> agar dapat konduksi
I_{GD}	Ampere	Nilai minimum Arus gerbang yang membuat <i>thyristor</i> masih bisa konduksi
V_{GD}	Volt	Tegangan gerbang <i>thyristor</i> tidak bisa ditrigger

DAFTAR ISI

	Hal.
SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xv
SURAT PERYATAAN	xviii
RINGKASAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan	3
1.4 Tujuan Kegiatan.....	3
1.5 Manfaat Kegiatan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan.....	5
2.2 <i>Thyristor</i>	5

2.2.1	Susunan <i>Thyristor</i>	6
2.2.2	Prinsip Kerja dan Karakteristik <i>Thyristor</i>	7
2.2.3	Pengaruh Penyulutan pada <i>Thyristor</i>	8
2.3	Dioda	12
2.4	Transformator	14
2.5	Resistor	15
2.6	Kapasitor	16
2.7	IC Regulator	17
2.8	Potensiogeser	17
2.9	Mikrokontroler Arduino Nano	18
2.10	<i>Optocoupler</i>	19
2.11	<i>Zero Crossing Detector</i>	21
2.12	Penyearah	22
2.12.1	Penyearah Tak Terkendali	22
2.12.2	Penyearah Terkendali	23
2.13	Catu Daya <i>dc</i> sebagai Aplikasi Elektronika Daya	48
2.14	Alat Ukur Asas Elektronik dan Kesalahan yang Ditimbulkan..	52

BAB III METODE KEGIATAN

3.1	Tempat dan Waktu Kegiatan	56
3.2	Alat dan Bahan	56
3.2.1	Alat	56
3.2.2	Bahan	57
3.3	Prosedur Kegiatan	58
3.3.1	Studi Literatur	58
3.3.2	Tahap Perancangan	58
3.3.3	Tahap Pembuatan dan Perakitan	60
3.4	Pengujian Alat	61
3.5	Teknik Pengolahan/Analisis Data	61

3.6	Pembuatan Penuntun Praktikum/ <i>Job Sheet</i>	62
3.7	Diagram Kegiatan	63
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN		
4.1	Hasil Perancangan	64
4.1.1	Hasil Pemilihan <i>Thyristor</i> dan Dioda	64
4.1.2	Hasil Perancangan Catu Daya <i>dc</i> 5 Volt.....	66
4.1.3	Hasil Perancangan Rangkaian Kontrol	70
4.1.4	Hasil Perancangan Mekanik	70
4.1.5	Hasil Perancangan Rangkaian Daya	73
4.2	Hasil Pengujian dan Pembahasan	74
4.2.1	Hasil Pengujian Catu Daya 5 Volt <i>dc</i> dan Pembahasan.....	74
4.2.2	Hasil Pengujian Semikonverter Tiga-Fasa Berbeban Resistif dan Pembahasan	80
4.2.3	Hasil Pengujian Semikonverter Tiga-Fasa Berbeban Induktif dan Pembahasan.....	96
4.2.4	Menentukan Hubungan antara Persentase potensiogeser dengan Sudut Penyalaan (α) <i>Thyristor</i>	120
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	124
5.2	Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA		126
LAMPIRAN		

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Hajar Aswad

NIM : 34217002

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam laporan Tugas Akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Desember 2020

Nur Hajar Aswad
NIM 34217002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosra Gallaran

NIM : 34217016

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam laporan Tugas Akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Desember 2020

Yosra Gallaran
NIM 34217016

RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM SEMIKONVERTER TIGA-FASA

RINGKASAN

Praktikum Elektronika Daya di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang terdiri atas beberapa percobaan yang membutuhkan alat bantu untuk bisa mengkonkritkannya. Namun beberapa percobaan belum dapat dilaksanakan karena belum adanya modul-modul praktikum untuk job terkait. Sehubungan dengan itu, maka penelitian ini bertujuan membuat modul praktikum semikonverter tiga-fasa di Laboratorium Elektronika Teknik Konversi Energi yang juga dilengkapi dengan penuntun praktikum/*Job Sheet*.

Dalam penelitian ini *thyristor* dan dioda yang digunakan ialah dengan tipe 25RIA120 dan 40HF120. Perancangan dalam penelitian ini dimulai dari pemilihan *thyristor* dan dioda, perancangan catu daya *dc* 5 V, perancangan rangkaian kontrol, perancangan mekanik dan perancangan rangkaian daya. Setelah perancangan selesai maka dilanjutkan dengan pembuatan dan perakitan, pengujian alat, analisis data dan pembuatan penuntun praktikum/*Job Sheet*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul yang dibuat dapat beroperasi dengan baik dan menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang dapat dikatakan sesuai dengan teori. Didapati pula bahwa alat kontrol *thyristor* (*trigger*) membutuhkan tegangan minimum per fasa sebesar 90 V pada sekunder transformator tiga-fasa untuk dapat memicu *thyristor*. Selain itu, alat kontrol dari modul yang dibuat mampu memicu *thyristor* pada jangkauan $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ untuk persentase potensiogeser pada alat kontrol yang lebih kecil dari 9 % atau lebih besar dari 76 %, penangkapan bentuk gelombang keluaran semikonverter ini menjadi kurang stabil sehingga pengujian dilakukan dalam jangkauan $9\% \leq p \leq 76\%$ untuk beban induktif, dimana p adalah persentase resistansi potensiogeser pada alat kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut penyalan *thyristor* (α) merupakan fungsi linear-invers dari p . Untuk beban resistif diperoleh persamaan $\alpha = -1,655 p + 147,353$ dan untuk beban induktif diperoleh persamaan $\alpha = -1,647 p + 137,113$. Di samping untuk percobaan semikonverter tiga-fasa, modul praktikum yang dibuat dapat juga dipakai untuk percobaan Konverter Tiga-Fasa Setengah Gelombang, karena telah dilengkapi dengan penyaklaran yang sesuai.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Elektronika Daya merupakan bidang elektronika yang sangat luas dan cepat perkembangannya. Seiring dengan perkembangan teknologi, banyak komponen elektronika modern yang telah ditemukan dan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Di sisi lain manusia dituntut untuk beradaptasi dan menguasai masing-masing fungsi, karakteristik dan cara kerja serta pengoperasian dari suatu komponen elektronika tersebut. Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang, menjadikan Elektronika Daya sebagai salah satu mata kuliah dan sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Untuk lebih memahami tentang elektronika daya maka mata kuliah Elektronika Daya ini dijadikan salah satu mata kuliah praktikum, mengingat bahwa Politeknik Negeri Ujung Pandang adalah pendidikan vokasi yang lebih menitik beratkan pembelajaran pada kegiatan praktikum.

Praktikum Elektronika Daya merupakan salah satu proses pembelajaran yang harus diikuti oleh setiap mahasiswa Teknik Konversi Energi. Proses pembelajaran ini merupakan proses pembelajaran lanjutan dari pembelajaran teori Elektronika Daya. Materi yang terkandung di dalam proses pembelajaran ini banyak yang bersifat abstrak dan sulit dikonkritkan jika hanya menggunakan media papan tulis atau media presentasi lainnya. Proses pembelajaran ini membutuhkan proses praktikum untuk

pengujian dan pembuktian teori yang abstrak. Ada banyak percobaan yang bisa dilakukan dalam praktikum ini, namun pembelajaran praktikum pada pelaksanaannya sering tidak optimal diakibatkan oleh kurangnya modul praktikum serta pelaksanaan praktikum yang tidak praktis. Proses pembelajaran elektronika daya di Laboratorium membutuhkan alat bantu untuk mengkonkritkannya supaya membuat mahasiswa lebih mudah mengerti dan bisa mengikuti proses pembelajaran dengan baik.

Ada lima bidang atau kategori yang dapat dilakukan dalam Praktikum Elektronika Daya, yaitu: konversi *ac-dc*, konversi *dc-ac*, konversi *dc-dc*, konversi *ac-ac*, dan aplikasi elektronika daya. Percobaan konversi *ac-dc* secara terkendali baik satu-fasa maupun tiga-fasa, serta beberapa percobaan lainnya belum dapat dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya program studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Hal ini disebabkan oleh belum adanya modul-modul Praktikum untuk job terkait seperti yang telah disebutkan diatas.

Untuk mewujudkan proses pembelajaran praktikum yang lengkap dan memadai, maka penulis bermaksud untuk menambah modul praktikum elektronika daya di Laboratorium Teknik Konversi Energi. Oleh karena itu, penulis mengangkat sebuah judul “Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam hal ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melengkapi job konversi *ac-dc* terkendali pada mata kuliah Praktikum Elektronika Daya di Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bagaimana mengoperasikan modul semikonverter tiga-fasa pada Praktikum Elektronika Daya di Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Untuk memperjelas masalah yang akan dibahas dan agar tidak terjadi permasalahan yang meluas, maka dibuatlah suatu batasan masalah yaitu penggunaan modul Semikonverter tiga-fasa untuk melengkapi sarana pada Laboratorium Elektronika Daya Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

1.4 Tujuan Kegiatan

Adapun yang menjadi tujuan kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Membuat Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa di Laboratorium Elektronika Daya Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Membuat Penuntun (*Job Sheet*) Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa.

1.5 Manfaat Kegiatan

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan penulis dan mahasiswa pada umumnya tentang semikonverter tiga-fasa.
2. Menjadi referensi tambahan untuk pengembangan semikonverter tiga-fasa.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Telah dibuat suatu penelitian rangkaian penyearah setengah terkendali tiga-fasa dengan tujuan untuk mengamati karakteristik motor *dc shunt* (Adam, 2011). Dalam penelitian tersebut, Adam (2011) menggunakan metode eksperimental yaitu dengan cara membuat rangkaian penyearah setengah terkendali tiga-fasa dan kemudian menguji apakah rangkaian tersebut dapat menampilkan karakteristik motor arus searah *shunt* dengan baik. Performansi secara umum dari rangkaian penyearah tersebut cukup baik untuk menguji karakteristik dari motor arus searah *shunt*.

Penelitian selanjutnya adalah tentang perancangan dan pembuatan *trainer* penyearah terkendali tiga-fasa dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah *trainer* praktikum penyearah tiga-fasa terkendali, dimana parameter-parameter penyearahannya mendekati nilai yang dihitung secara teori (Usman dkk, 2017). Dalam penelitian tersebut, Usman dkk (2017) menggunakan metode eksperimen yaitu dengan cara merancang, membuat dan menguji alat (pengukuran) yang dilakukan di Laboratorium *Power Electronic*.

2.2 Thyristor

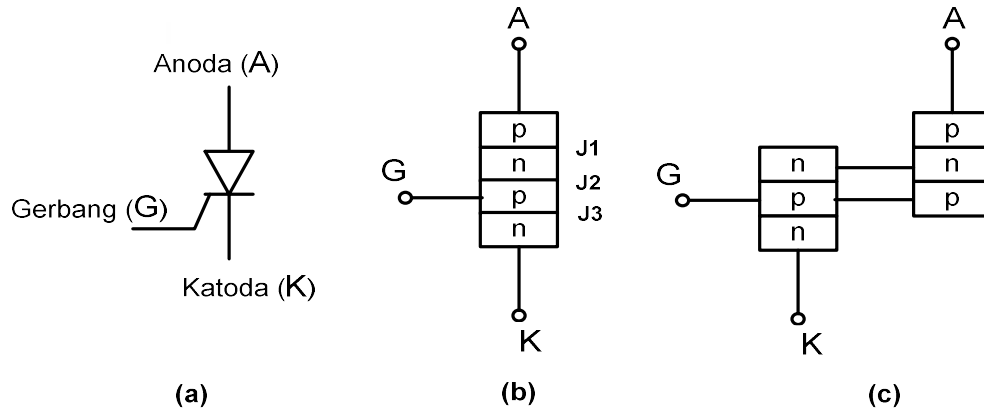
Thyristor merupakan piranti semikonduktor dwistabil (*bistable*) yang mempunyai susunan 4 lapisan (*pnpn*) dengan 3 sambungan *p-n*. Dwistabil artinya dapat di-on-kan dari keadaan off dan di-off-kan dari keadaan on. Istilah "*thyristor*" seringkali dipakai untuk apa yang disebut SCR (*silicon controlled rectifier*) yaitu *thyristor* berkaki-3

yang memblok dalam arah balik (*reverse blocking triode*). Jadi sebenarnya SCR adalah salah satu anggota keluarga *thyristor*. Untuk selanjutnya, jika terdapat kata “*thyristor*” maka yang dimaksud adalah SCR, kecuali jika diberi keterangan lain.

2.2.1 Susunan Thyristor

Thyristor mempunyai 3 buah terminal yaitu anoda (A), katoda (K) dan gerbang (G). Terminal A dan K disebut terminal daya (*power terminal*) dan terminal G biasanya disebut terminal kontrol.

Gambar 2.1 memperlihatkan simbol dan struktur *thyristor*. Pada Gambar 2.1(b), sambungan *p-n* yang pertama di dekat anoda dapat disebut J1, sambungan *n-p* di tengah disebut J2 dan sambungan *p-n* di dekat katoda dapat disebut J3.

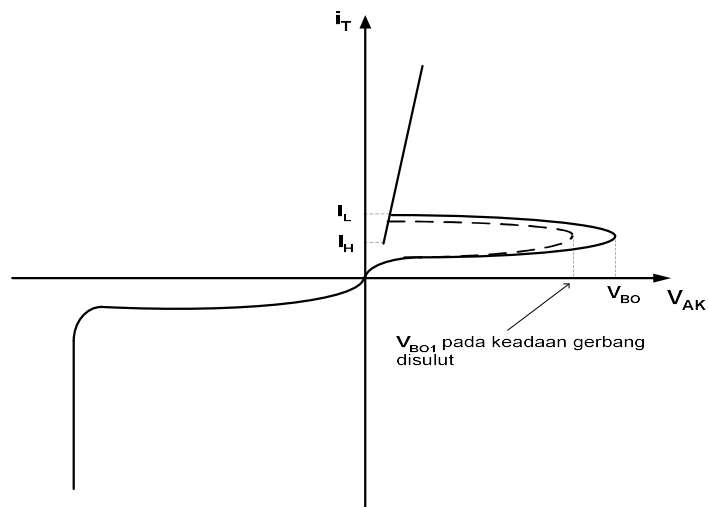


Gambar 2.1 *Thyristor*. (a) Simbol. (b) Susunan sebagai keping 4-lapis. (c) Susunan sebagai ekuivalensi 2 buah transistor.

Pada saat pembuatannya yang pertama kali dalam sekitar tahun 1957 oleh *General Electric*, *thyristor* mempunyai kapasitas sekitar 10 A dan beberapa ratus volt saja. Namun belakangan kapasitas tersebut sudah meningkat misalnya dengan arus 3000 A pada tegangan 4 kV sampai 8 kV.

2.2.2 Prinsip Kerja dan Karakteristik *Thyristor*

Jika *thyristor* diberi tegangan yang menyebabkan anoda lebih positif dari katoda maka sambungan J1 dan J3 terbias maju sedangkan sambungan J2 mendapat prategangan balik, sehingga hanya ada arus bocor yang kecil yang mengalir dari anoda ke katoda. Pada keadaan seperti ini, dikatakan bahwa *thyristor* berada dalam keadaan *off* atau “memblok maju” (*forward blocking*), dan arus bocor yang mengalir itu disebut arus keadaan *off* dan disimbolkan dengan I_F . Karakteristik $v-i$ dari suatu tiristor dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik $v-i$ dari suatu *thyristor*.

Persyaratan “arus gerendel” perlu sebab jika *thyristor* berada dalam rangkaian dan terhubung dengan suatu beban, meskipun V_{AK} telah mencapai nilai V_{BO} maka kemungkinan arus yang mengalir lebih kecil dari I_L dikarenakan pengaruh beban tadi, sehingga *thyristor* tetap berada dalam keadaan memblok maju. Disinilah perlunya gerbang *thyristor* disuplai dengan arus. Dengan adanya arus gerbang, maka V_{AK} tidak

perlu mencapai V_{BO} untuk menghasilkan arus yang sekurang-kurangnya sama dengan I_L . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Arus “gerendel” dapat didefinisikan sebagai arus anoda minimum yang dibutuhkan untuk mempertahankan *thyristor* berada dalam keadaan *on* segera setelah *thyristor* diberi tegangan dan signal gerbang telah ditiadakan. Sekali *thyristor* konduksi dengan arus yang lebih besar dari I_L maka ia akan tetap konduksi meskipun arus gerbang telah ditiadakan.

Jika *thyristor* yang sedang konduksi akan dipadamkan maka arusnya dikurangi sampai berada di bawah suatu harga yang disebut “arus genggam” (*holding current*, I_H). “Arus genggam” dapat didefinisikan sebagai arus anoda minimum yang diperlukan untuk mempertahankan *thyristor* tetap berada dalam keadaan konduksi. Nyatalah disini bahwa :

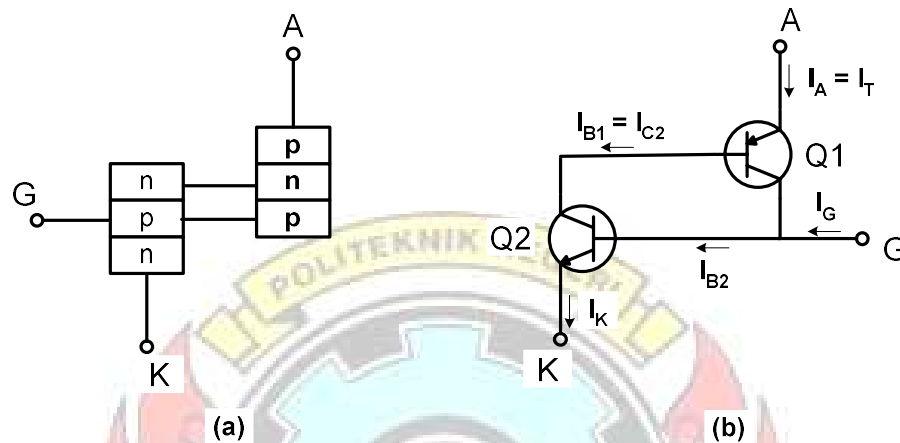
$$I_H < I_L \dots\dots\dots (2-1)$$

Jika *thyristor* diberi tegangan yang menyebabkan katoda lebih positif dari anoda maka sambungan J2 terbias maju sedangkan sambungan J1 dan J3 terpanjar mundur. Pada keadaan seperti ini, dikatakan bahwa *thyristor* berada dalam keadaan “memblok balik” (*reverse blocking*), dan akan mengalir arus bocor yang sangat kecil yang disebut arus balik (*reverse current*) dan disimbolkan dengan I_R .

2.2.3 Pengaruh Penyulutan pada *Thyristor*

Aksi regeneratif atau “penggerendelan” (*latching action*) yang disebabkan oleh pemberian tegangan maju ke *thyristor* dapat dijelaskan dengan menggunakan model ekivalensi *thyristor* sebagai 2-transistor. Susunan *thyristor* sebagai ekivalensi 2-

transistor dapat dilihat pada Gambar 2.3. Kedua transistor pada Gambar 2.3 mempunyai penguatan arus basis-sekutu (*common-base current gain*, α) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara arus kolektor terhadap arus emiter.



Gambar 2.3 Model 2-transistor dari suatu *thyristor*. (a) Susunan dasar. (b) Rangkaian ekuivalen.

Secara umum dapat ditulis untuk kedua transistor :

$$I_{C1} = \alpha_1 I_{E1} + I_{CBO1} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I_{E2} + I_{CBO2} \dots\dots\dots (2-3)$$

dalam hal ini :

I_{C1}, I_{C2} = arus kolektor berturut-turut pada transistor Q1 dan Q2

I_{E1}, I_{E2} = arus emiter berturut-turut pada transistor Q1 dan Q2

I_{CBO1}, I_{CBO2} = arus bocor di sambungan kolektor-basis pada transistor Q1 dan Q2

Dari Gambar 2-3 (b) jelas terlihat bahwa :

$$I_{E1} = I_A \dots\dots\dots (2-4)$$

$$I_{E2} = I_K \dots\dots\dots (2-5)$$

dalam hal ini :

I_A = arus anoda

I_K = arus katoda

Jika gerbang *thyristor* tidak mendapat arus atau tidak di *trigger* atau tidak disulut (I_G

= 0) maka :

$$I_A = I_K \dots\dots\dots (2-6)$$

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} \dots\dots\dots (2-7)$$

Substitusikan persamaan (2-2) dan (2-3) pada (2-7) untuk mendapatkan :

$$I_A = \alpha_1 I_{E1} + I_{CBO1} + \alpha_2 I_{E2} + I_{CBO2} \dots\dots\dots (2-8)$$

Substitusikan persamaan (2-4) dan (2-5) kedalam (2-8) sehingga diperoleh :

$$I_A = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \dots\dots\dots (2-9)$$

Substitusikan persamaan (2-6) kedalam (2-9) untuk memperoleh :

$$I_A = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_A + I_{CBO2} = (\alpha_1 + \alpha_2) I_A + I_{CBO1} + I_{CBO2}$$

$$I_A (1 - (\alpha_1 + \alpha_2)) = I_{CBO1} + I_{CBO2} \dots\dots\dots (2-10)$$

Akhirnya diperoleh :

$$I_A = \frac{I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (2-11)$$

Akan tetapi, jika gerbang *thyristor* mendapat arus penyulutan maka :

$$I_{E1} = I_A \dots\dots\dots (2-12)$$

$$I_{E2} = I_K = I_A + I_G \dots\dots\dots (2-13)$$

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} \dots\dots\dots (2-14)$$

Ini menyebabkan persamaan (2-2) dan (2-3) menjadi :

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \dots \dots \dots (2-15)$$

$$I_{C2} = \alpha_2 (I_A + I_G) + I_{CBO2} \dots \dots \dots (2-16)$$

Dengan demikian akan diperoleh :

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \dots \dots \dots (2-17)$$

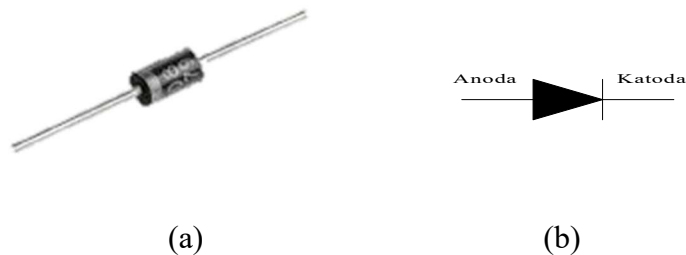
Nilai maksimum dari α adalah 1 (satu), dan sifatnya adalah apabila I_E bertambah maka ia juga akan bertambah. Jika suatu tegangan yang kecil saja diterapkan pada anoda (A) dan katoda (K) pada Gambar 2.3 (b) maka tanpa arus gerbang berlaku persamaan (2-11). Dalam keadaan ini I_{CBO1} dan I_{CBO2} sangat kecil serta α_1 dan α_2 juga cukup kecil sehingga arus *thyristor* (I_A) juga cukup kecil.

Lain halnya jika gerbang diberi arus (disulut) yaitu $I_G \neq 0$ maka berlaku persamaan (2-17). Penambahan I_G menyebabkan I_{E2} bertambah sehingga α_2 juga akan bertambah. Tetapi bertambah besarnya α_2 juga menyebabkan bertambahnya I_{C2} sehingga akan memperbesar I_{C1} yang pada gilirannya memperbesar α_1 . Pada kondisi ini faktor $(\alpha_1 + \alpha_2)$ akan mendekati nilai satu (*unity*). Jadi dengan I_G yang tidak terlalu besar, sementara penyebut dalam ruas kanan persamaan (2-17) akan mendekati nol sehingga diperoleh I_A yang cukup besar. Inilah fungsi dan peranan arus gerbang (arus penyulutan) pada *thyristor*. Makin besar arus gerbang yang diberikan maka makin mudah *thyristor* konduksi karena dibutuhkan V_{BO} yang kecil saja untuk membawa *thyristor* masuk ke dalam keadaan konduksi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang mana kurva penyulutan ditandai dengan garis putus-putus. Terlihat

bahwa V_{BO1} pada keadaan gerbang tersulut lebih kecil dari V_{BO} pada keadaan gerbang tidak disulut.

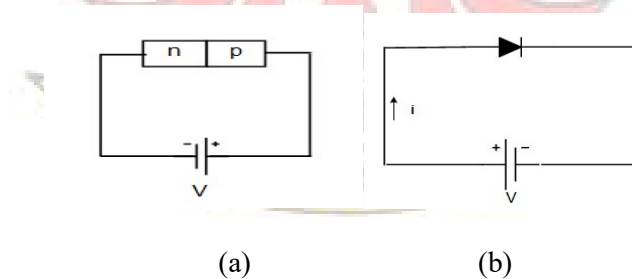
2.3 Dioda

Dioda merupakan suatu komponen elektronik yang terbuat dari semikonduktor yang terdiri dari dua buah elektroda yaitu, anoda dan katoda yang digunakan untuk meratakan atau mengarahkan aliran ke satu jurusan, yaitu dari anoda menuju katoda. Bahan untuk dioda yang digunakan yaitu *silicon* (Si) dan *germanium* (Ge) yang merupakan bahan semikonduktor. Dioda hanya dapat bekerja jika mendapat tegangan awal. Jika bagian dari semikonduktor tipe- P disambungkan dengan bagian semikonduktor tipe- N, ternyata bahwa sambungan yang terbentuk akan mengalirkan arus searah dengan mudah dalam satu arah, tetapi akan memberikan tahanan yang cukup besar dalam arah yang berbalikan. Dioda yang ada di pasaran adalah *dioda silicon* atau *dioda germanium* dengan arus dari beberapa mili ampere sampai beberapa ratus ampere dan tegangan hingga ribuan volt. (Mustaqim, 2016).

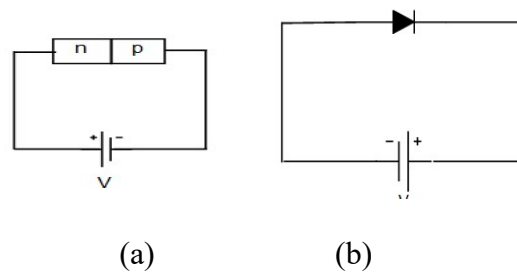


Gambar 2.4 Dioda (a) Bentuk fisik. (b) Simbol

Ada dua hal yang dapat dialami oleh dioda dalam rangkaian yaitu terpanjar maju (*forward biased*) atau mendapat prategangan maju, dan terpanjar mundur atau balik (*reverse biased*) atau mendapat prategangan balik. Dioda terpanjar maju jika potensial anoda lebih positif terhadap potensial katoda, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.5 (a). Pada keadaan ini, dioda disebut konduksi (mulai on). Dalam keadaan konduksi, dioda mempunyai jatuh tegangan maju yang relatif kecil dan besarnya bergantung pada suhu sambungan dan bagaimana proses pembuatannya. Dioda terbias mundur jika potensial katoda lebih positif terhadap potensial anoda, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.6 (a). Pada keadaan ini, dioda disebut memblok dalam keadaan memblok, hanya ada arus yang sangat kecil (dalam level A atau mA) yang mengalir dari katoda ke anoda, dan disebut arus bocor (*leakage current*) atau arus balik.



Gambar 2.5 Rangkaian prategangan dioda. (a) Sambungan-*pn* terpanjar maju. (b) Prategangan maju secara simbolik.

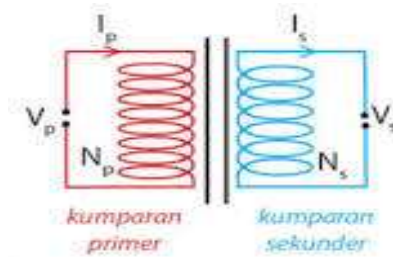


Gambar 2.6 Rangkaian prategangan dioda. (a) sambungan-*pn* terpanjang mundur. (b) Prategangan balik secara simbolik

Arus balik pada prategangan balik akan bertambah sedikit sesuai dengan bertambahnya tegangan pada katoda-anoda. Jika tegangan tadi terus diperbesar hingga mencapai suatu nilai yang disebut tegangan zener atau tegangan “avalans” (*zener/avalanche voltage*) maka arus bocor tepat akan melonjak dengan cepat. Jika tegangan zener dilewati maka mengalir arus bocor yang besar sehingga dikatakan dioda dalam keadaan dadal atau tembus (*breakdown*). Tegangan *avalans* disebut juga tegangan dadal (*breakdown voltage*) dan merupakan batas tegangan yang memisahkan antara daerah arus balik kecil dan daerah arus balik besar. Dan adapun dioda daya dapat dibagi ke dalam tiga tipe yakni: dioda standar atau dioda untuk penggunaan umum (*general-purpose diodes*), dioda pemulihan cepat (*fast recovery diodes*) dan dioda Schottky. (Davis, 1971).

2.4 Transformator

Transformator merupakan alat yang memindahkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lainnya berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. Perbedaan lilitan suatu transformator dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi rendah. Jalur ini disebut inti transformator. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi. Karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder. Maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani atau merupakan rangkaian tertutup, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan. (Franager dkk, 2016).

2.5 Resistor

Resistor merupakan salah satu komponen yang paling sering digunakan pada rangkaian elektronika, ini karena fungsi resistor yang penting pada suatu rangkaian elektronika. Fungsi resistor selain sebagai tahanan pada suatu rangkaian elektronika,

juga berfungsi untuk membagi arus, membatasi atau mengatur arus, dan dimanfaatkan sebagai alat untuk menurunkan tegangan listrik.



Gambar 2.8 Resistor

Pada rangkaian penyulutan *thyristor* ini, jenis resistor yang digunakan adalah resistor yang nilai tahanannya tetap (*fixed* resistor). Resistor pada rangkaian ini berfungsi untuk menyesuaikan tegangan dan arus yang akan masuk pada kaki *gate* pada SCR agar sesuai dengan karakteristik yang dimiliki oleh SCR, supaya nilai arus yang mengalir ke kaki *gate* sesuai dengan nilai standar pada SCR yang akan memicu SCR mengalirkan arus listrik dari anoda ke katoda. (Pratama, 2017).

2.6 Kapasitor

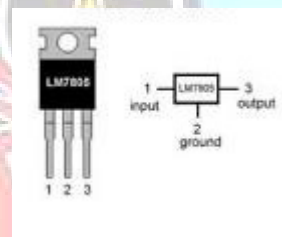
Kapasitor merupakan komponen elektronika yang mempunyai kemampuan untuk menyimpan muatan listrik selama waktu yang tertentu. Kapasitor terdiri dari dua keeping konduktor dan dipisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik). Cara kerja kapasitor dalam sebuah rangkaian adalah dengan mengalirkan elektron. Pada saat kapasitor sudah dipenuhi dengan elektron, tegangan akan mengalami perubahan. Selanjutnya, elektron akan keluar dari sebuah kapasitor dan mengalir menuju rangkaian yang membutuhkannya.



Gambar 2.9 Kapasitor

2.7 IC Regulator

IC Regulator adalah sebuah komponen elektronika yang digunakan untuk mengatur tegangan pada rangkaian elektronika. IC regulator mempertahankan atau mengatur tegangan pada level tertentu secara otomatis.



Gambar 2.10 IC Regulator

2.8 Potensiogeser

Potensiogeser adalah salah satu jenis resistor yang nilai tahanannya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan rangkaian elektronika ataupun kebutuhan pemakainya. Secara struktur potensiogeser terdiri dari tiga kaki terminal dengan satu tuas (*knob*) yang berfungsi sebagai pengatur besarnya resistansi.



Gambar 2.11 Potensiogeser

Potensiogeser yang digunakan pada rangkaian penyulutan *thyristor* ini adalah *slider potentiometer* dengan besar nilai resistansinya yaitu 10 k Ω dan 100 k Ω . Pada rangkaian ini Potensiogeser berfungsi untuk mengatur besarnya arus yang akan masuk ke kaki *gate* pada SCR yang berfungsi untuk memicu (*trigger*) SCR untuk mengatur sudut fasa sinyal *output* yang akan mempengaruhi besar tegangan keluaran (*output*) dari penyulutan *thyristor*. (Pratama, 2017).

2.9 Mikrokontroller Arduino Nano

Arduino nano memiliki ukuran yang relatif kecil dan sangat sederhana. Dengan ukuran yang kecil, bukan berarti jenis Arduino ini tidak mampu menyimpan banyak fasilitas. Hampir sama dengan tipe Arduino UNO, Arduino Nano dibekali dengan prosesor ATmega328P dengan bentuk SMD dan memiliki 14 pin digital I/O, 8 Pin Analog Input (lebih banyak dari uno), dan menggunakan FTDI untuk pemrograman lewat Mikro USB. Selain itu juga ada yang menggunakan prosesor ATmega168. (Junaidi dan Yuliyani Dwi Prabowo).



Gambar 2.12 Arduino Nano

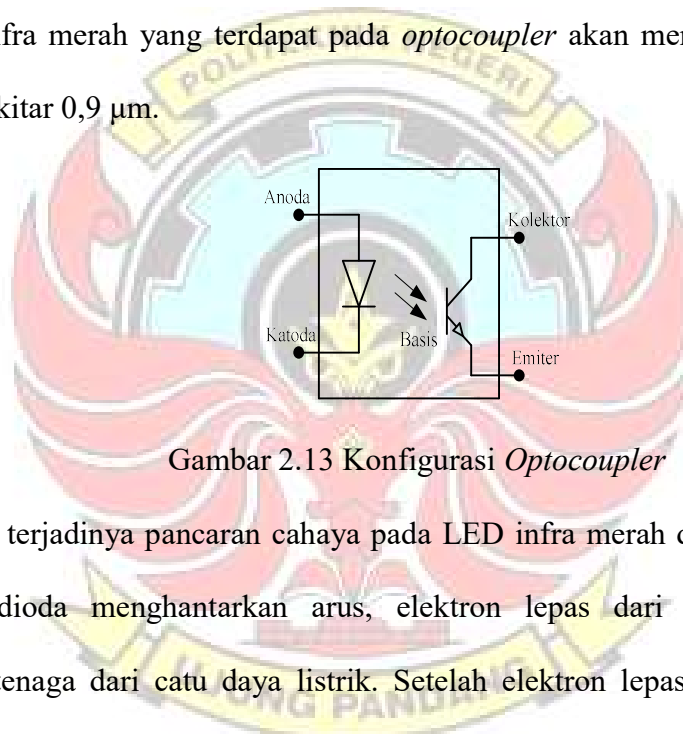
Tabel 2.1 Spesifikasi dari Arduino Nano dengan mikrokontroler Atmega328:

Keterangan	Spesifikasi
Chip mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via <i>jack dc</i>)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via <i>jack dc</i>)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 Pin, (6 Pin untuk PWM)
Arus	50 Ma
<i>Flash Memory</i>	32 KB
<i>Bootloader</i>	SRAM 2 KB
Kecepatan	16 Hz

2.10 *Optocoupler*

Optocoupler adalah suatu komponen penghubung yang bekerja berdasarkan picu cahaya optik yang digunakan sebagai saklar elektrik yang bekerja secara otomatis. *Optocoupler* terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*. Pada bagian *transmitter* terdiri dari sebuah LED infra merah yang memiliki ketahanan

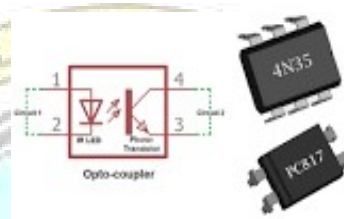
yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya infra merah termasuk dalam gelombang elektromagnetik yang tidak tampak oleh mata telanjang, karena mempunyai panjang gelombang yang terlalu panjang bagi tangkapan mata manusia. Sinar infra merah memiliki daerah frekuensi 1×10^{12} Hz sampai dengan 1×10^{14} GHz atau daerah frekuensi dengan panjang gelombang $1\mu\text{m} - 1\text{ mm}$. LED infra merah ini memancarkan cahaya dengan konsumsi daya sangat kecil. Jika diberi bias maju, LED infra merah yang terdapat pada *optocoupler* akan mengeluarkan panjang gelombang sekitar $0,9\ \mu\text{m}$.



Gambar 2.13 Konfigurasi *Optocoupler*

Proses terjadinya pancaran cahaya pada LED infra merah dalam *optocoupler* terjadi saat dioda menghantarkan arus, elektron lepas dari ikatannya karena memerlukan tenaga dari catu daya listrik. Setelah elektron lepas, banyak elektron yang bergabung dengan lubang yang ada di sekitarnya (memasuki lubang lain yang kosong). Pada saat masuk lubang yang lain, elektron melepaskan tenaga yang diradiasikan dalam bentuk cahaya, sehingga dioda menyala atau memancarkan cahaya pada saat dilewati arus. Cahaya infra merah yang ada pada *optocoupler* tidak perlu lensa untuk memfokuskan cahaya karena dalam satu chip mempunyai jarak yang dekat dengan penerimanya.

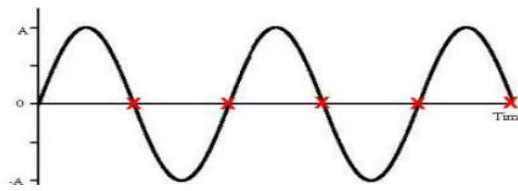
Pada *optocoupler* yang bertugas sebagai penerima cahaya infra merah adalah foto transistor. Foto transistor merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai detektor cahaya merah. Detektor cahaya ini mengubah efek cahaya menjadi sinyal listrik. Oleh sebab itu foto transistor termasuk dalam golongan detektor optik. Jenis *optocoupler* yang digunakan dalam rangkaian ini adalah *optocoupler* tipe 4N35.



Gambar 2.14 *Optocoupler*

2.11 *Zero Crossing Detector*

Zero crossing detector adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoidal saat melewati titik tegangan nol. Perpotongan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Perpotongan-perpotongan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicu *thyristor*. Prinsip kerja *zero detector* adalah dengan membandingkan tegangan *ac* dengan tegangan referensi nol volt. Apabila tegangannya lebih besar dari nol volt maka keluaran *zero detector* akan *high* dan apabila lebih kecil dari nol volt maka outputnya akan *low*. Perubahan dari *low* ke *high* dan dari *high* ke *low* inilah saat terjadi *zero*. Titik nol yang dideteksi dan bentuk gelombang *zero crossing detector* dapat dilihat pada gambar 2.15. (Lubis, 2018).



(a)



(b)

Gambar 2.15 *Zero crossing detector*. (a) Titik nol yang dideteksi (b) Bentuk gelombang

2.12 Penyearah

Penyearah adalah suatu rangkaian yang mengkonversikan daya ac (*alternating current*) menjadi dc (*direct current*). Penyearah terbagi atas dua yaitu penyearah terkendali dan penyearah tak terkendali.

2.12.1 Penyearah Tak Terkendali

Penyearah tak terkendali atau sering juga disebut dengan *rectifier* merupakan suatu rangkaian yang mengubah tegangan arus bolak-balik (*ac*) menjadi tegangan arus searah (*dc*) tetap atau keluarannya tidak dapat diatur. Penyearah tak terkendali dibagi menjadi dua yaitu penyearah satu-fasa tak terkendali dan penyearah fasa banyak tak terkendali.

2.12.2 Penyearah Terkendali

Penyearah terkendali (*controlled rectifier*) atau sering juga disebut dengan konverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan sumber masukan arus bolak-balik dalam bentuk sinusoidal menjadi tegangan keluaran dalam bentuk tegangan searah yang dapat diatur atau dikendalikan. Komponen semikonduktor daya yang digunakan umumnya berupa SCR yang beroperasi sebagai saklar, pengubah dan pengatur. Jenis sumber tegangan masukan untuk mencatu rangkaian konverter dapat digunakan tegangan bolak-balik satu-fasa maupun tiga-fasa. Penyearahan pada konverter dapat dilakukan secara setengah gelombang, semikonverter atau terkendali penuh. Beban yang dilayani konverter dapat berubah beban resistif, induktif atau kapasitif.

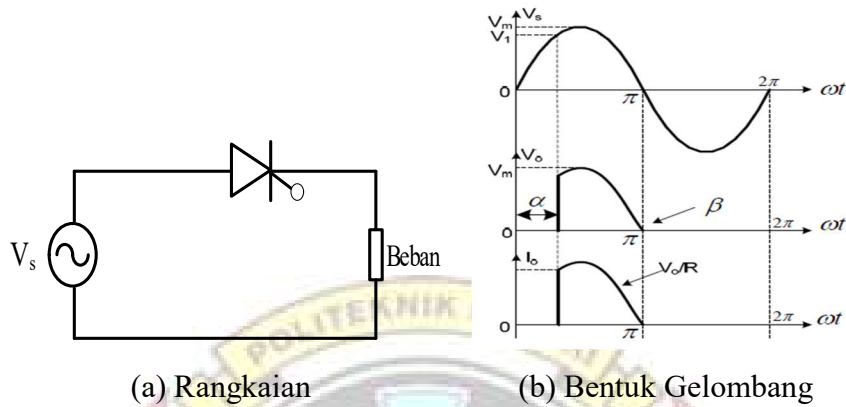
1. Konverter Satu-Fasa

Konverter terkendali satu-fasa merupakan rangkaian elektronika daya dengan sumber masukan tegangan bolak balik satu-fasa yang berfungsi untuk mengubah tegangan sumber *ac* dalam bentuk sinusoidal menjadi tegangan *dc* output yang dapat diatur atau dikendalikan.

a. Konverter Satu-Fasa Setengah Gelombang

Konverter satu-fasa setengah gelombang menggunakan sebuah SCR sebagai komponen utamanya. Tegangan pada penyearah terkendali ini dapat bervariasi tergantung pada sudut penyalaan dari SCR. Gambar 2.16 menunjukkan gambar

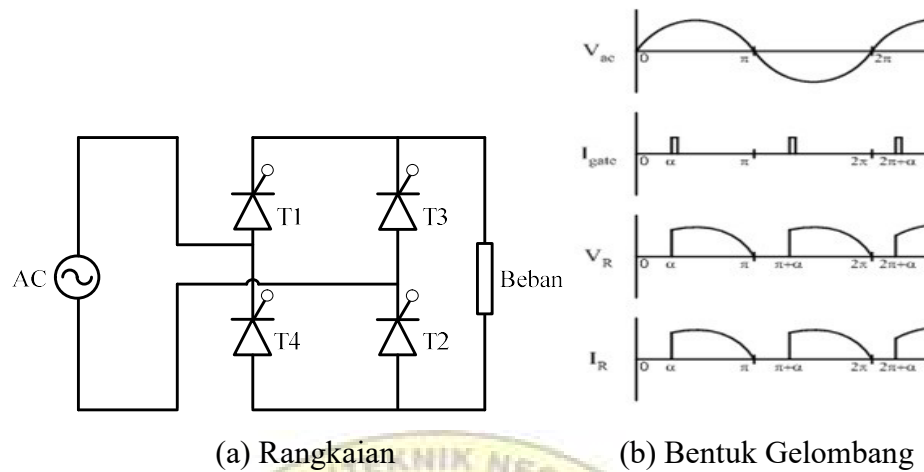
rangkaian dan gambar bentuk gelombang keluaran penyearah terkendali satu-fasa setengah gelombang.



Gambar 2.16 Konverter satu-fasa terkendali setengah gelombang berbeban resistif.

b. Konverter Satu-Fasa Terkendali Penuh

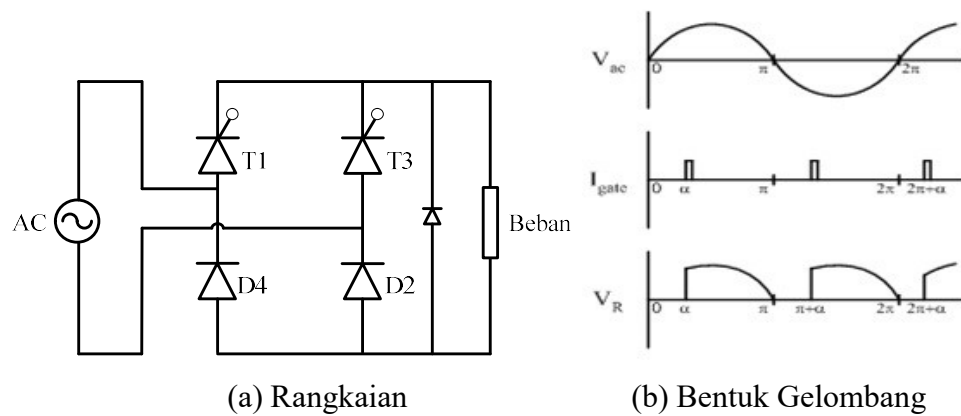
Gambar 2.17 menunjukkan gambar rangkaian dan gambar bentuk gelombang keluaran penyearah satu-fasa terkendali penuh. Pada konverter ini digunakan 4 buah *thyristor*. Jika dibebani dengan motor *dc* atau konverter ini dipakai untuk mensuplai motor *dc*, maka tujuannya adalah untuk mengoperasikan motor *dc* itu dalam dua putaran (membalik putaran motor).



Gambar 2.17 Konverter jembatan satu-fasa terkontrol penuh dengan beban resistif

c. Konverter Satu-Fasa Semiterkendali

Gambar 2.18 menunjukkan gambar rangkaian dan gambar bentuk gelombang keluaran penyearah satu-fasa semiterkendali. Pada konverter ini digunakan 2 buah *thyristor* dan 2 buah dioda. Jika konverter satu-fasa terkontrol penuh diatas dipakai untuk menyuplai motor *dc* dalam rangka membalik putarannya, maka konverter satu-fasa semiterkendali digunakan bukan untuk tujuan itu, tetapi mensuplai motor secara normal tanpa membalik putaran. Oleh karena itu konverter itu dilengkapi dengan dioda *freewheeling* dalam rangka mencegah timbulnya bagian negatif dari tegangan keluaran.



Gambar 2.18 Konverter satu-fasa semiterkendali dengan beban resistif.

2. Konverter Tiga-Fasa

Konverter tiga-fasa merupakan rangkaian elektronika daya dengan sumber masukan tegangan bolak balik tiga-fasa yang akan diubah menjadi tegangan searah yang keluarannya dapat diatur dengan menggunakan *thyristor* (SCR). Rangkaian konverter tiga-fasa banyak digunakan dalam aplikasi industri seperti kontrol motor atau pengisian baterai yang membutuhkan kebutuhan daya yang lebih tinggi dari pada yang dapat disediakan oleh rangkaian konverter satu-fasa.

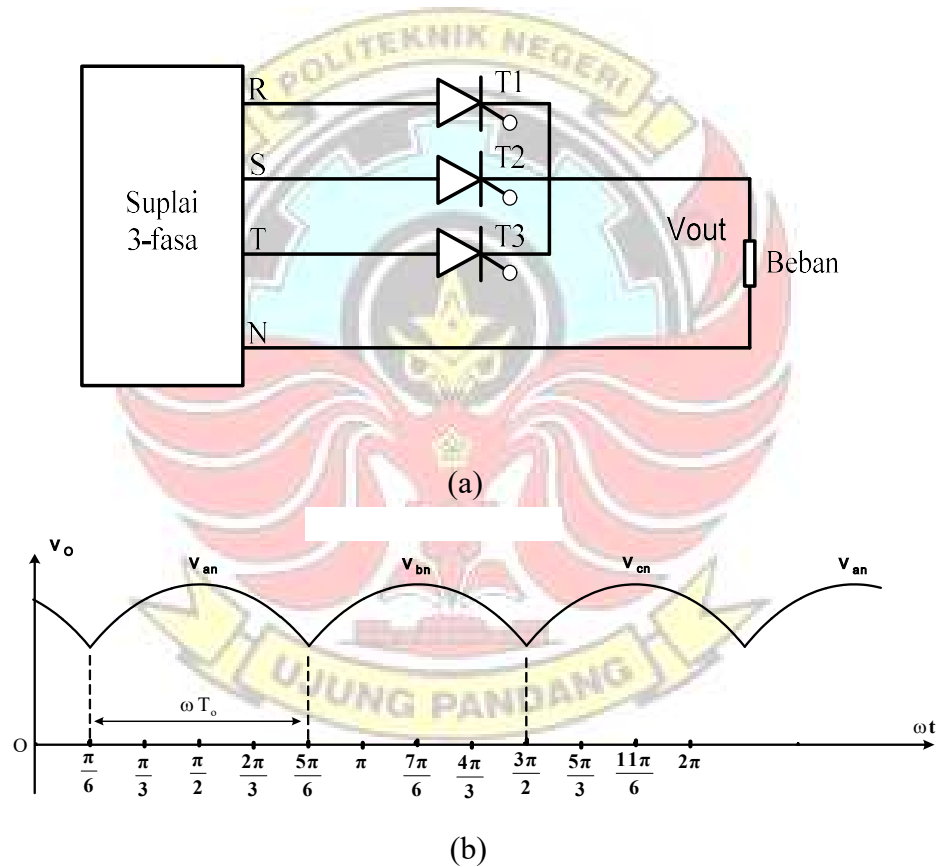
a. Konverter Tiga-Fasa Setengah Gelombang

Nama lain yang dapat disebutkan untuk konverter ini adalah “konverter kaki-tengah tiga-fasa” (*three-phase centre-tap converter*) atau “konverter tiga-fasa tiga-pulsa”. Sistem konverter ini membutuhkan catu daya *ac* tiga-fasa empat-kawat yang mempunyai titik netral (n). Dikatakan “tiga-pulsa” karena keluaran penyearah ini menghasilkan tiga-buah pulsa sepanjang satu siklus dari gelombang tegangan masukannya. Suplai daya dalam hal ini dapat pula berupa sisi sekunder dari

transformator yang belitannya terhubung bintang (Y).

Prinsip operasi dalam rangkaian konverter ini adalah bahwa tegangan fasa yang terbesar pada suatu saat akan menentukan *thyristor* mana yang konduksi pada saat itu.

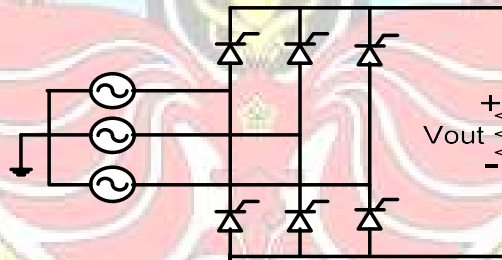
Diagram rangkaian dari konverter ini dan bentuk gelombang tegangan keluarannya pada nilai $\alpha = 0^\circ$ diperlihatkan dalam Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Konverter tiga-fasa setengah gelombang (a) Diagram rangkaian. (b) Bentuk gelombang tegangan keluaran pada $\alpha = 0^\circ$.

b. Konverter Tiga-Fasa Jembatan Terkontrol Penuh

Konverter tiga-fasa jembatan terkontrol penuh adalah penyearah yang menyearahkan tegangan bolak balik menjadi searah dengan menggunakan enam buah SCR. Rangkaian konverter ini menghasilkan tegangan *dc* dengan riak (*ripple*) yang lebih kecil dibanding konverter tiga-fasa setengah gelombang. Prinsip operasi dalam rangkaian konverter-penuh ini adalah pasangan *thyristor* mana yang cenderung akan konduksi ditentukan oleh harga terbesar tegangan antar fasa yang mengenainya artinya sebuah pasangan *thyristor* akan konduksi jika potensial anoda salah satu *thyristor* positif terbesar, sementara potensial katoda *thyristor* lainnya negatif terbesar.

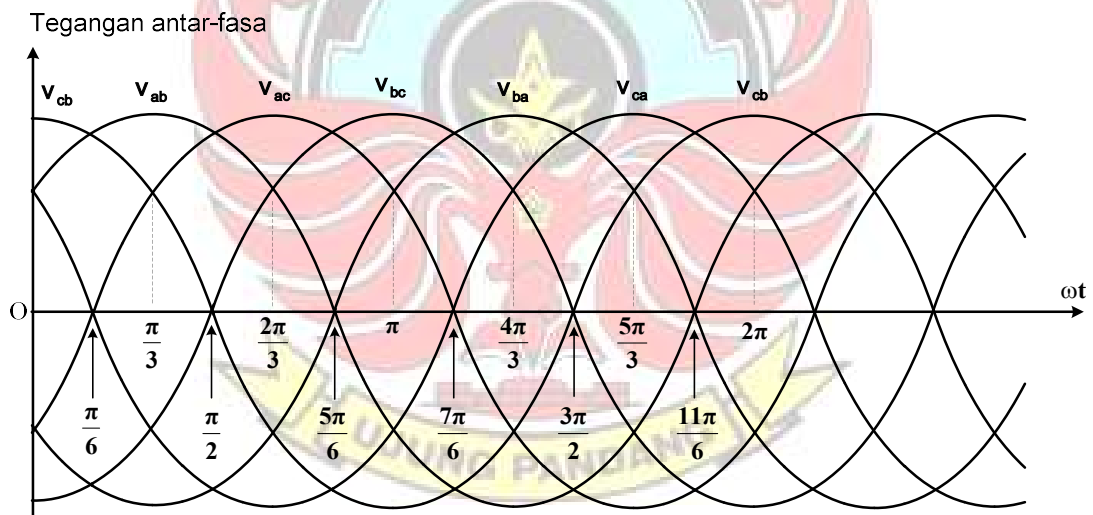
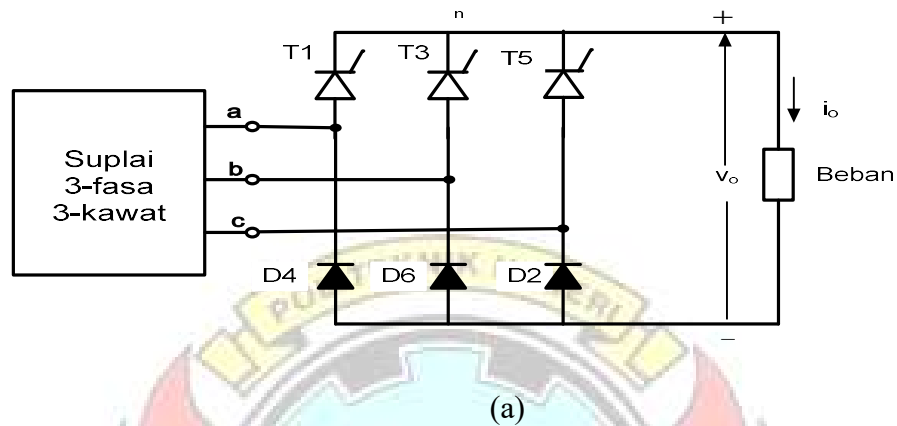


Gambar 2.20 Rangkaian konverter jembatan tiga-fasa terkontrol penuh.

c. Konverter Tiga-Fasa Jembatan Semikonverter

Konverter ini disebut juga konverter tiga-fasa. Seperti pada konverter tiga-fasa jembatan terkontrol penuh, maka sistem konverter ini hanya membutuhkan satu daya *ac* tiga-fasa tiga-kawat tanpa titik netral (n) atau satu daya *ac* tiga-fasa empat-kawat dengan titik netral (n) tidak terpakai. Rangkaian ini terdiri dari tiga buah *thyristor* dan

tiga buah dioda. *Thyristor* tersebut dikontrol dengan menggunakan rangkaian trigger untuk mendapatkan tegangan output yang bisa diatur.



Gambar 2.21 Semikonverter tiga-fasa. (a) Diagram rangkaian. (b) Bentuk gelombang tegangan masukan.

Prinsip operasi dalam rangkaian konverter ini adalah bahwa tegangan antar fasa yang terbesar pada suatu saat akan menentukan pasangan *thyristor*-dioda mana

yang konduksi pada saat itu. Dalam hal ini dioda akan tetap konduksi jika potensial titik katodanya mempunyai harga negatif yang terbesar. Sedangkan *thyristor* tetap akan konduksi selama potensial titik anodanya mempunyai harga positif yang terbesar, sambil memperhitungkan sudut penundaan α . Artinya jika tanpa sudut penundaan ($\alpha = 0^\circ$) dalam selang $\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan pada Gambar 2.21 (b), *thyristor* T1 cenderung untuk konduksi. Dalam selang $\frac{5\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2}$ dari gelombang tegangan masukan, *thyristor* T3 cenderung untuk konduksi dan dalam selang $\frac{3\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{13\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, *thyristor* T5 cenderung untuk konduksi. Sementara itu dalam selang $-\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2}$ dari gelombang tegangan masukan pada Gambar 2.21 (b), dioda D6 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α . Dalam selang $\frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, dioda D2 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α , dan dalam selang $\frac{7\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, dioda D4 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α .

Persamaan bentuk gelombang tegangan masukan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$v_{ab} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) \dots\dots\dots (2-18)$$

$$v_{ac} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \dots\dots\dots (2-19)$$

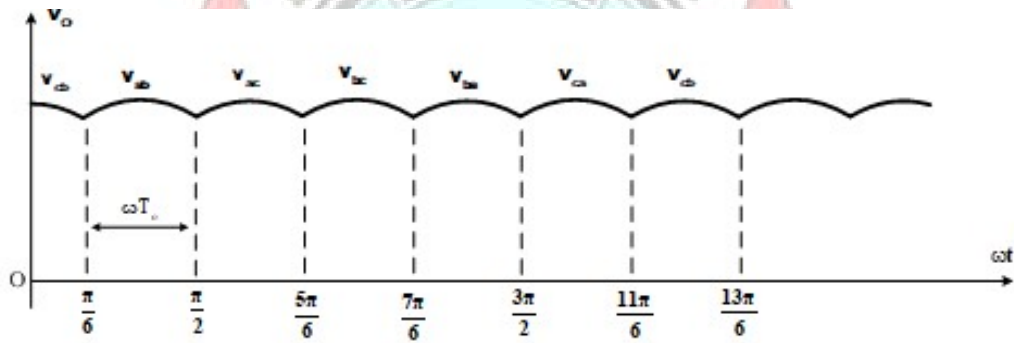
$$v_{bc} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (2-20)$$

$$v_{ba} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6}) \dots\dots\dots (2-21)$$

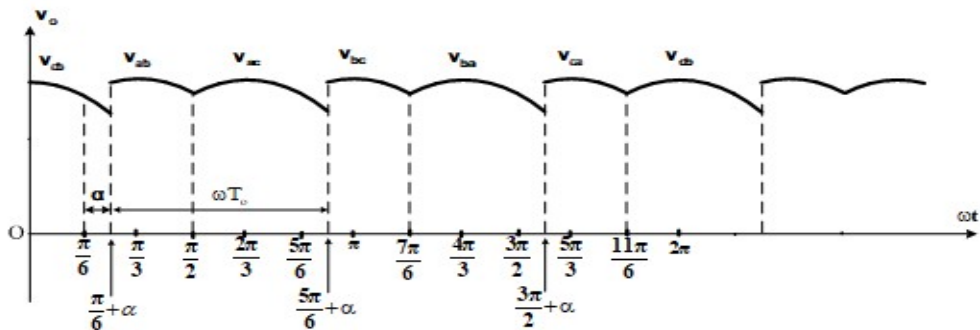
$$v_{ca} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{5\pi}{6}) \dots\dots\dots (2-22)$$

$$v_{cb} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (2-23)$$

Bentuk gelombang tegangan keluaran untuk beberapa nilai α (sudut penundaan) dapat dilihat dalam Gambar 2.22 sampai Gambar 2.31.

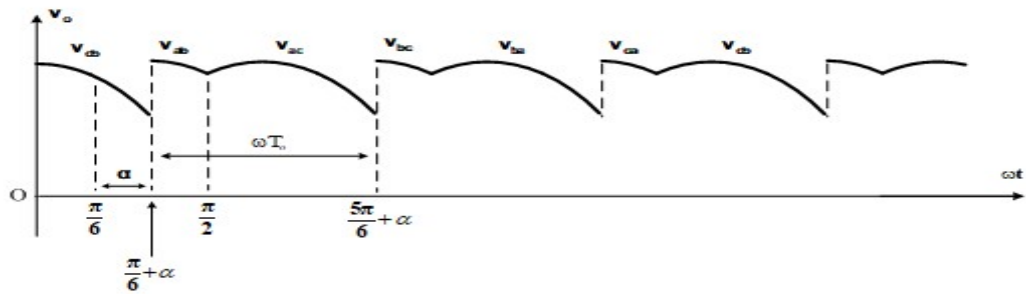


(a)

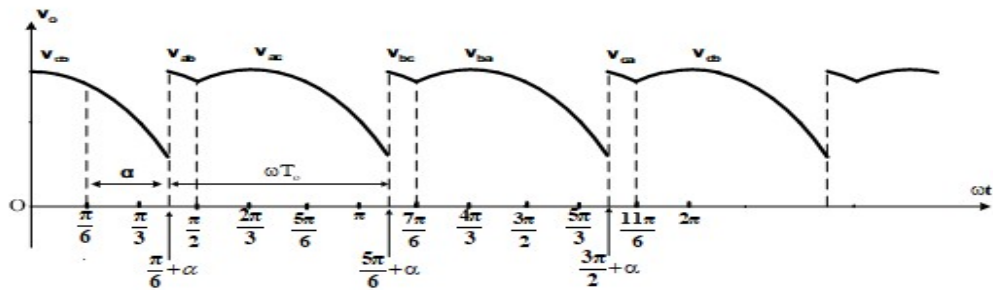


(b)

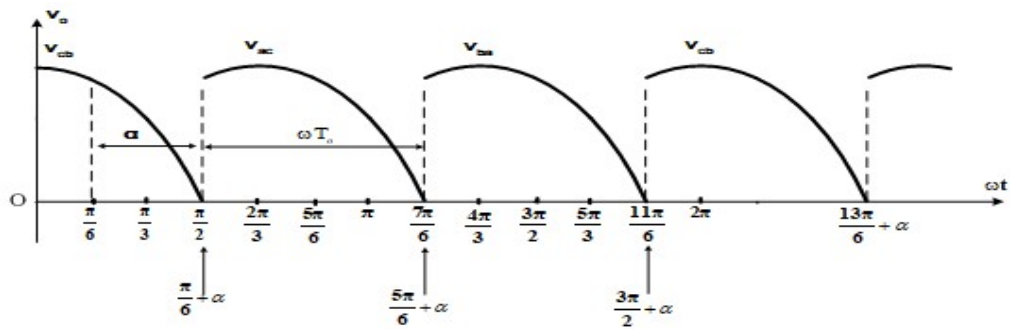
Gambar 2.22 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif dan beban induktif. (a) $\alpha = 0^\circ$. (b) $\alpha = 15^\circ$



(a)

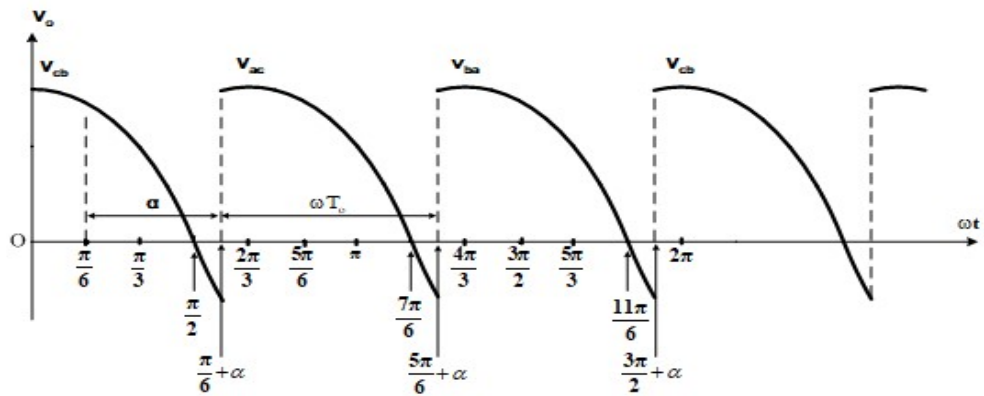


(b)

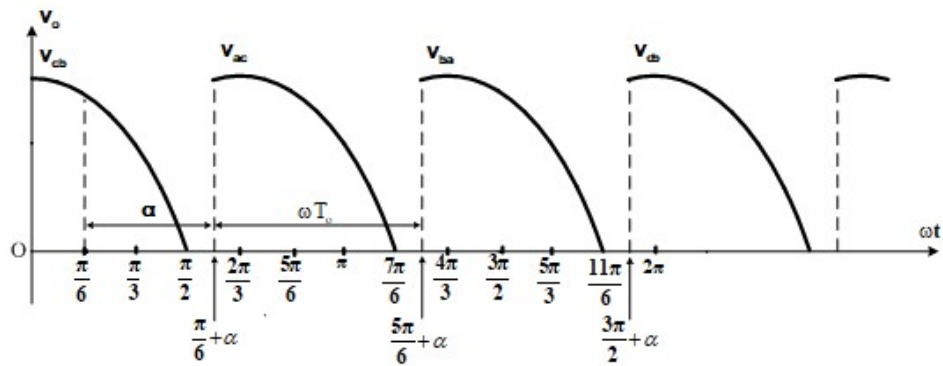


(c)

Gambar 2.23 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif dan beban induktif. (a) $\alpha = 30^\circ$. (b) $\alpha = 45^\circ$. (c) $\alpha = 60^\circ$

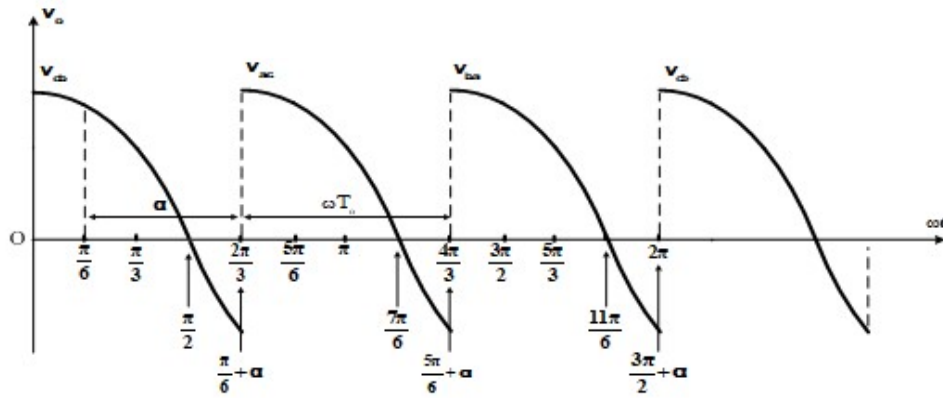


(a)

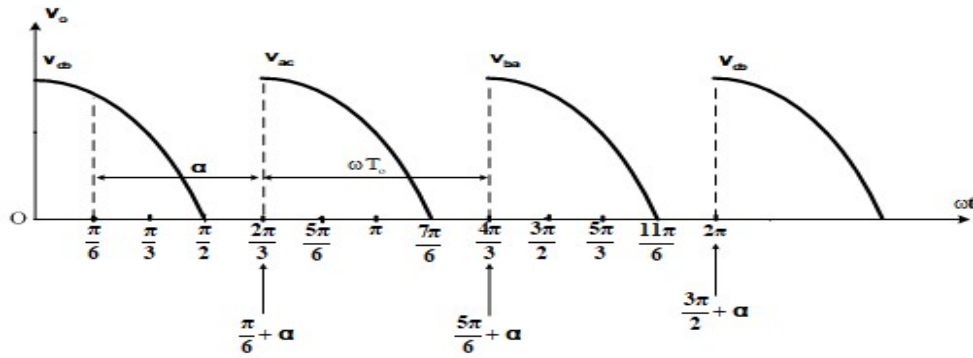


(b)

Gambar 2.24 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 75^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

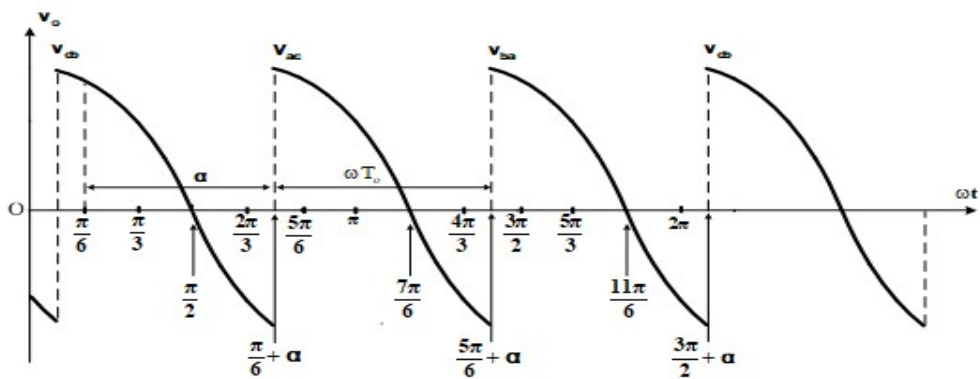


(a)

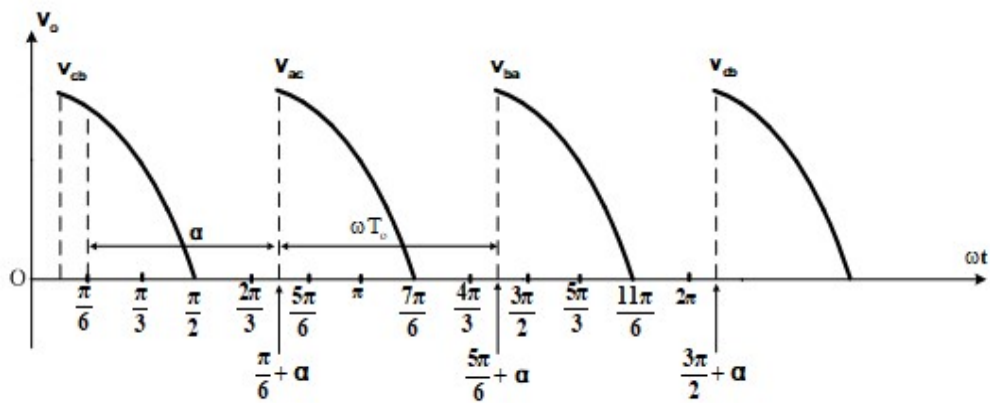


(b)

Gambar 2.25 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 90^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

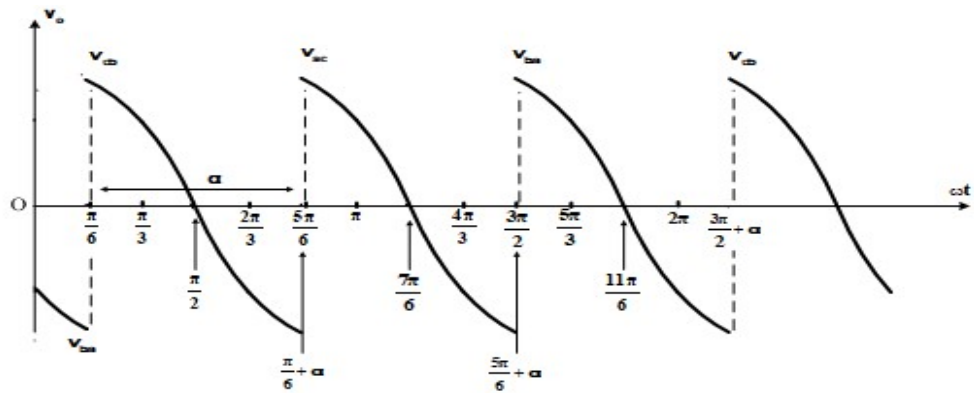


(a)

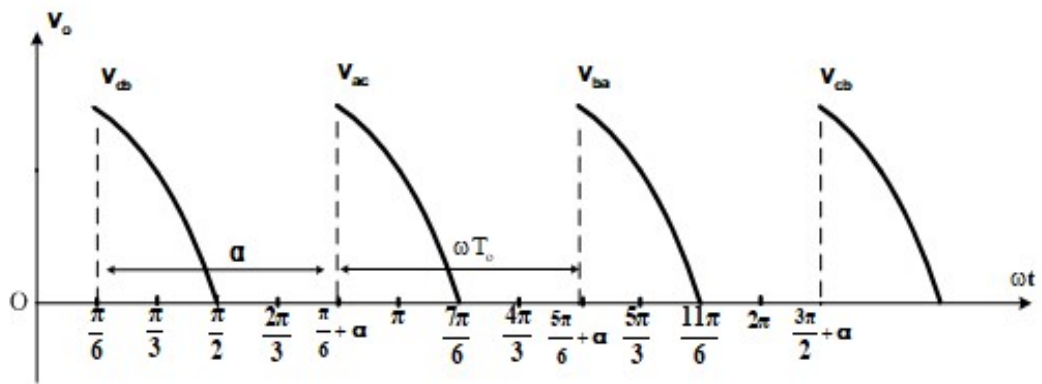


(b)

Gambar 2.26 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 105^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

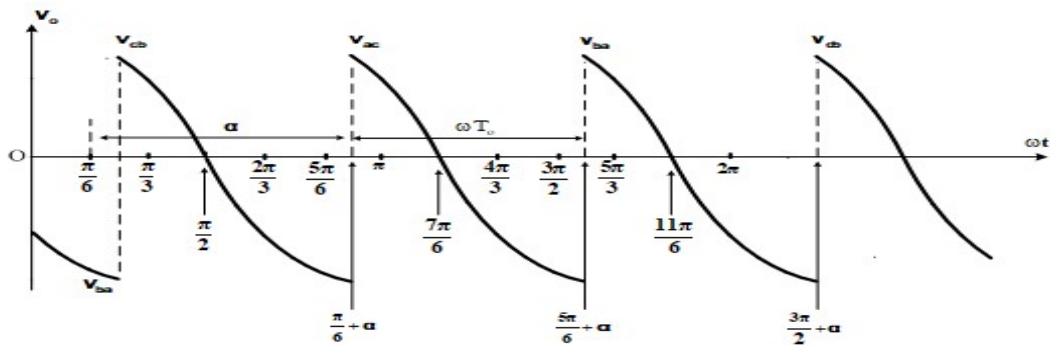


(a)

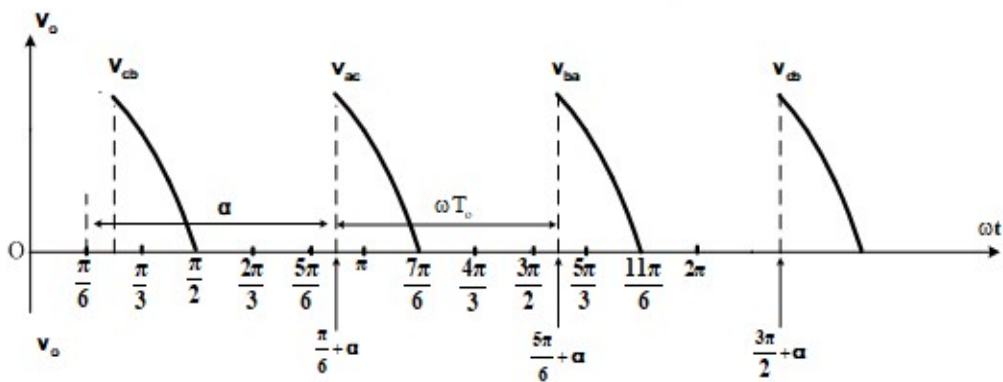


(b)

Gambar 2.27 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 120^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

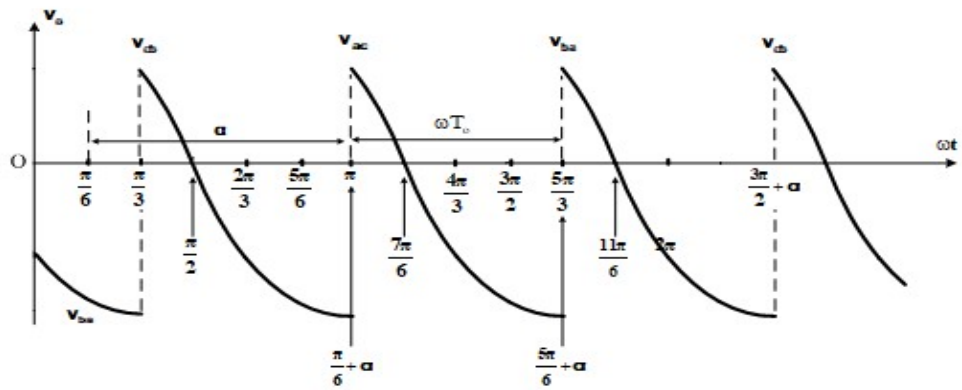


(a)

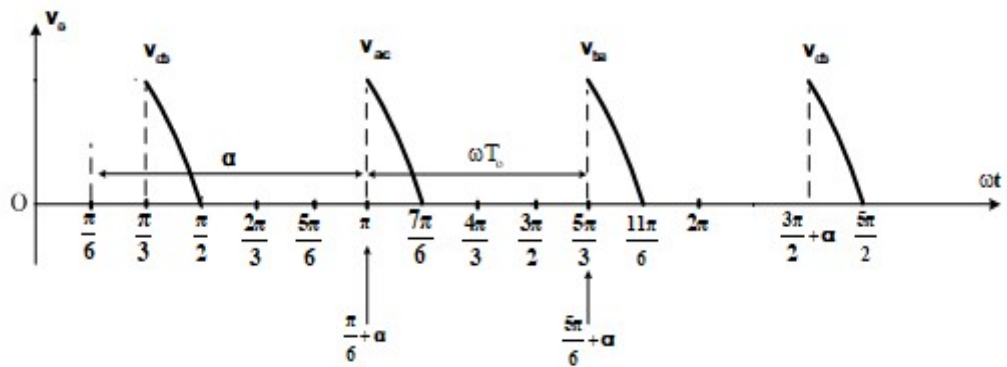


(b)

Gambar 2.28 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 135^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

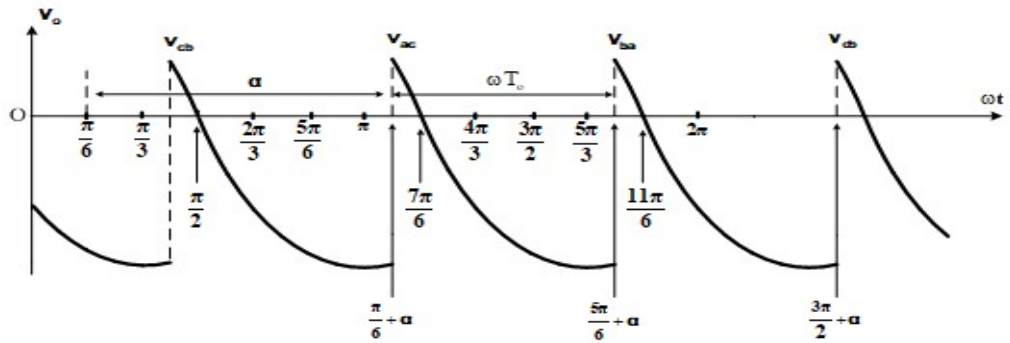


(a)

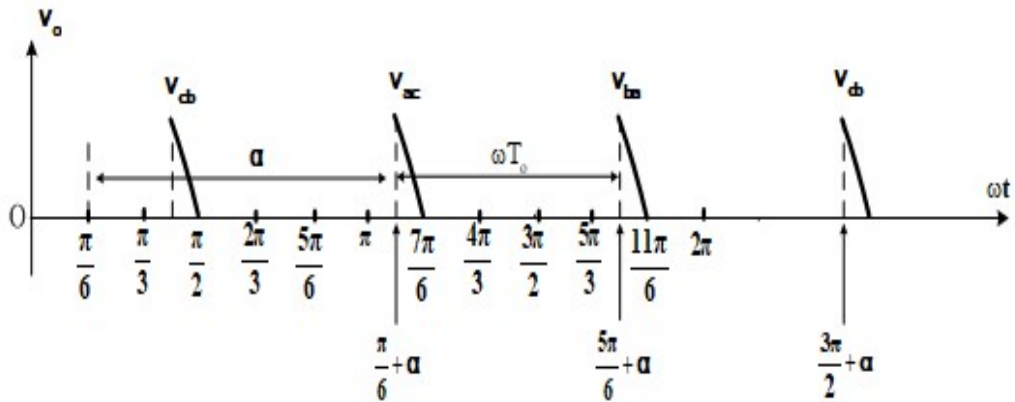


(b)

Gambar 2.29 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 150^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.

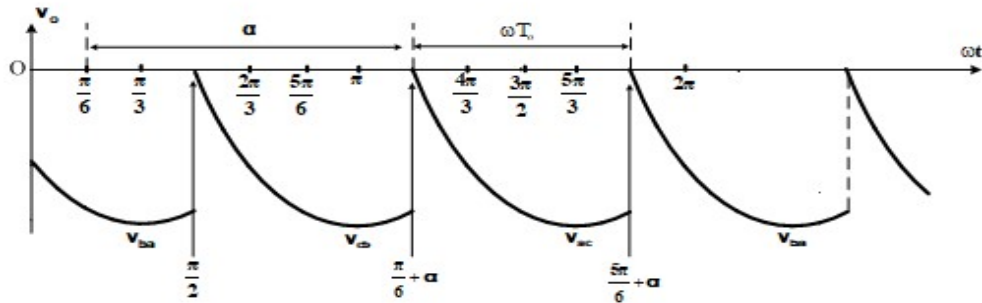


(a)



(b)

Gambar 2.30 Bentuk gelombang keluaran pada $\alpha = 165^\circ$. (a) Beban induktif dengan $X_L \gg R$. (b) Beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling*.



Gambar 2.31 Bentuk gelombang keluaran pada beban induktif dengan $X_L \gg R$ untuk $\alpha = 180^\circ$.

Persamaan matematis serta rumus harga rata-rata dan harga efektif dari tegangan keluaran

1) Beban Resistif atau Beban Induktif dengan Dioda *Freewheeling*

a) Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ (Modus Kontinu)

$$v_o = \begin{cases} v_{ab} \text{ untuk } \frac{\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2} \\ v_{ac} \text{ untuk } \frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6} + \alpha \\ v_{bc} \text{ untuk } \frac{5\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6} \\ v_{ba} \text{ untuk } \frac{7\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2} + \alpha \\ v_{ca} \text{ untuk } \frac{3\pi}{2} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6} \\ v_{cb} \text{ untuk } \frac{11\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{13\pi}{6} + \alpha \end{cases} \dots\dots\dots (2-24)$$

dan : b

$$\omega T_o = \frac{2\pi}{3} \dots\dots\dots (2-25)$$

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o \, d\omega t = \frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} v_{ab} + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} v_{ac} \right] d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} \sqrt{3} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right] d\omega t \\ &= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right] d\omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} \left\{ \left[-\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \right]_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}} + \left[-\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \right\} \\
&= \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} \left[\cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\frac{2\pi}{3} + \cos\frac{\pi}{3} - \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \alpha\right) \right] \\
&= \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} \left[1 - 2 \sin\left(\frac{-\pi}{6}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \right] \\
&= \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)
\end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{dc} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots(2-26)$$

$$= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (2-27)$$

Selanjutnya :

$$\begin{aligned}
V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} v_{ab}^2 + \int_{\pi/2}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} v_{ac}^2 \right] d\omega t} \\
&= \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} 3V_m^2 \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) + \int_{\pi/2}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} 3V_m^2 \sin^2\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \right] d\omega t} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} \left(1 - \cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{3}\right)\right) + \int_{\pi/2}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \left(1 - \cos\left(2\omega t - \frac{\pi}{3}\right)\right) \right] d\omega t} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left\{ \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin\left(2\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \right]_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi/2} + \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin\left(2\omega t - \frac{\pi}{3}\right) \right]_{\pi/2}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \right\}} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{3} + 2\alpha\right) - \frac{1}{2} \sin\frac{4\pi}{3} + \frac{1}{2} \sin\frac{2\pi}{3} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{4\pi}{3} + 2\alpha\right) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{1}{2} \sqrt{3} + \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) \cdot \cos(\pi + 2\alpha) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{1}{2} \sqrt{3}(1 + \cos 2\alpha) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)} = V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos 2\alpha)}
\end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)} \dots\dots\dots(2-28)$$

$$= V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos 2\alpha)} \dots\dots\dots(2-29)$$

$$= V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3} \cos^2 \alpha}{2\pi}} \dots\dots\dots(2-30)$$

b) Untuk $\alpha = 60^\circ$ (Modus Kontinu)

$$v_o = \begin{cases} v_{ac} \text{ untuk } \frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6} \\ v_{ba} \text{ untuk } \frac{7\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6} \\ v_{cb} \text{ untuk } \frac{11\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{2} \end{cases} \dots\dots\dots(2-31)$$

dan :

$$\omega T_o = \frac{2\pi}{3}$$

maka :

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o \, d\omega t = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} v_{ac} \, d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} V_m \sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \, d\omega t \\ &= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[-\cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} = \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[\cos \frac{\pi}{3} - \cos \pi \right] \\ &= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left(\frac{1}{2} + 1 \right) = \frac{9V_m \sqrt{3}}{4\pi} = \frac{9V_s \sqrt{6}}{4\pi} \end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{dc} = \frac{9V_m \sqrt{3}}{4\pi} \dots\dots\dots(2-32)$$

$$= \frac{9V_s \sqrt{6}}{4\pi} \dots\dots\dots(2-33)$$

Selanjutnya :

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o^2 \, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} v_{ac}^2 \, d\omega t} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} 3 V_m^2 \sin^2(\omega t - \frac{\pi}{6}) \, d\omega t} \\ &= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{7\pi}{6}} (1 - \cos(2\omega t - \frac{\pi}{3})) \, d\omega t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - \frac{\pi}{3}) \right]_{\frac{\pi}{2}}^{7\pi/6}} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{3} - \frac{1}{2} \sin 2\pi \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]}
\end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} \dots\dots\dots(2-34)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} \dots\dots\dots(2-35)$$

c) Untuk $60^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ (Modus Diskontinu)

$$v_o = \begin{cases} v_{ac} \text{ untuk } \frac{\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6} \\ v_{ba} \text{ untuk } \frac{5\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6} \\ v_{cb} \text{ untuk } \frac{3\pi}{2} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{2} \end{cases} \dots\dots\dots(2-36)$$

dan :

$$\omega T_o = \frac{2\pi}{3}$$

maka :

$$\begin{aligned}
V_{dc} &= \frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o \, d\omega t = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{7\pi/6} v_{ac} \, d\omega t \\
&= \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{7\pi/6} V_m \sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \, d\omega t \\
&= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[-\cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right]_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{7\pi/6} = \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} [\cos \alpha - \cos \pi] \\
&= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_s \sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)
\end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{dc} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots(2-37)$$

$$= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots(2-38)$$

Selanjutnya :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6} v_{ac}^2 d\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6} 3 V_m^2 \sin^2(\omega t - \frac{\pi}{6}) d\omega t}$$

$$= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6} (1 - \cos(2\omega t - \frac{\pi}{3})) d\omega t}$$

$$= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - \frac{\pi}{3}) \right]_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6}}$$

$$= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\pi \right]}$$

$$= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]}$$

$$= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]}$$

Jadi :

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]} \dots\dots\dots (2-39)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]} \dots\dots\dots(2-40)$$

2) Beban Induktif dengan $X_L \gg R$

a) Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ (Modus Kontinu)

Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$, baik beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling* maupun beban induktif dengan $X_L \gg R$ mempunyai bentuk gelombang tegangan keluaran yang sama. Jadi :

$$V_{dc} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$
$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3} \cos^2 \alpha}{4\pi}}$$
$$= V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos 2\alpha)} = V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3} \cos^2 \alpha}{2\pi}}$$

Rumus untuk V_{dc} dan V_{rms} ini sudah dinyatakan dalam persamaan (2-26) sampai (2-30).

b) Untuk $\alpha = 60^\circ$ (Modus Kontinu)

Untuk $\alpha = 60^\circ$, baik beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling* maupun beban induktif dengan $X_L \gg R$ mempunyai bentuk gelombang tegangan keluaran yang sama. Jadi :

$$V_{dc} = \frac{9V_m\sqrt{3}}{4\pi} = \frac{9V_s\sqrt{6}}{4\pi}$$
$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]}$$

Rumus untuk V_{dc} dan V_{rms} ini sudah dinyatakan dalam persamaan (2-32) sampai (2-35).

c) Untuk $60^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ (Modus Kontinu)

$$v_o = \begin{cases} v_{ac} \text{ untuk } \frac{\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6} + \alpha \\ v_{ba} \text{ untuk } \frac{5\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2} + \alpha \\ v_{cb} \text{ untuk } \frac{3\pi}{2} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{13\pi}{6} + \alpha \end{cases} \dots\dots\dots(2-41)$$

dan :

$$\omega T_o = \frac{2\pi}{3}$$

maka :

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o \, d\omega t = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} v_{ac} \, d\omega t \\ &= \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} V_m \sqrt{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \, d\omega t \\ &= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[-\cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right]_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} = \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[\cos \alpha - \cos(\frac{2\pi}{3} + \alpha) \right] \\ &= \frac{3V_m \sqrt{3}}{2\pi} \left[-2 \cdot \sin\left(\frac{-\pi}{3}\right) \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \right] \\ &= \frac{9V_m}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) = \frac{9V_s \sqrt{2}}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

Jadi :

$$V_{dc} = \frac{9V_m}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(2-42)$$

$$= \frac{9V_s \sqrt{2}}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \dots\dots\dots(2-43)$$

Selanjutnya :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\omega T_o} \int_0^{\omega T_o} v_o^2 \, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} v_{ac}^2 \, d\omega t}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} 3 V_m^2 \sin^2(\omega t - \frac{\pi}{6}) d\omega t} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} (1 - \cos(2\omega t - \frac{\pi}{3})) d\omega t} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\omega t - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - \frac{\pi}{3}) \right]_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha}} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} - \frac{1}{2} (\sin(\frac{4\pi}{3} + 2\alpha) - \sin 2\alpha) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} - \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3}) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3}) \right]} \\
&= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3}) \right]} \\
&= V_m \sqrt{\frac{3}{2} - \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3})} \\
&= V_s \sqrt{3 - \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3})} \dots\dots\dots(2-44)
\end{aligned}$$

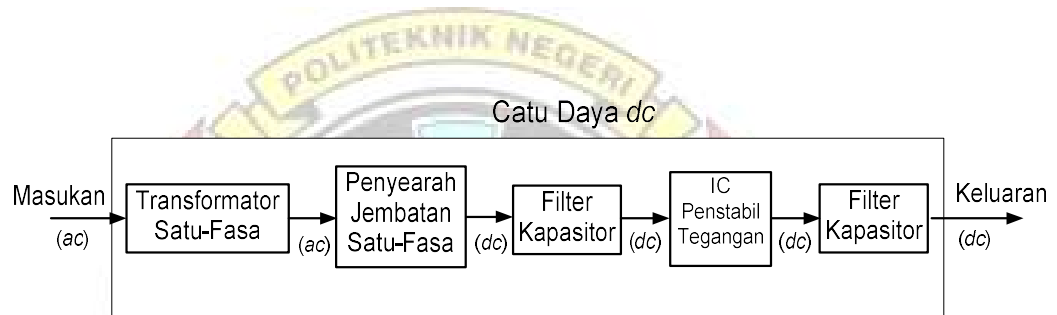
Jadi :

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} - \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3})} \dots\dots\dots(2-45)$$

$$= V_s \sqrt{3 - \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \cos(2\alpha + \frac{2\pi}{3})} \dots\dots\dots(2-46)$$

2.13 Catu Daya *dc* sebagai Aplikasi Elektronika Daya

Catu daya *dc* adalah suatu sumber tegangan arus searah yang keluarannya dapat berupa setengah gelombang searah sinusoidal, gelombang penuh searah sinusoidal, tiga-pulsa searah sinusoidal, enam pulsa searah sinusoidal, gelombang rata (seperti aki, baterai), dan sebagainya. Suatu catu daya *dc* yang keluarannya berupa gelombang rata (konstan) mempunyai diagram blok seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 2.32.



Gambar 2.32 Diagram blok catu daya *dc* berbasis IC LMXXXX

Untuk membuat catu daya *dc* dengan tegangan keluaran yang kecil maka cukup digunakan penyearah satu-fasa saja. Dari tiga jenis penyearah satu-fasa yaitu setengah gelombang, centre-tap dan jembatan, maka jenis jembatan inilah yang paling umum digunakan, karena mempunyai TUF (*transformer utilization factor*) serta bentuk gelombang masukan yang unggul. Jika diinginkan keluaran catu daya *dc* yang rata maka pada keluaran penyearah dipasang kapasitor, dalam rangka mengurangi kerut dari tegangan yang dihasilkan sehingga menjadi rata atau mendekati rata.

Misalkan gelombang masukan penyearah (sekunder transformator) pada Gambar 2.32 adalah:

$$v_s = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (2-47)$$

Dalam hal ini :

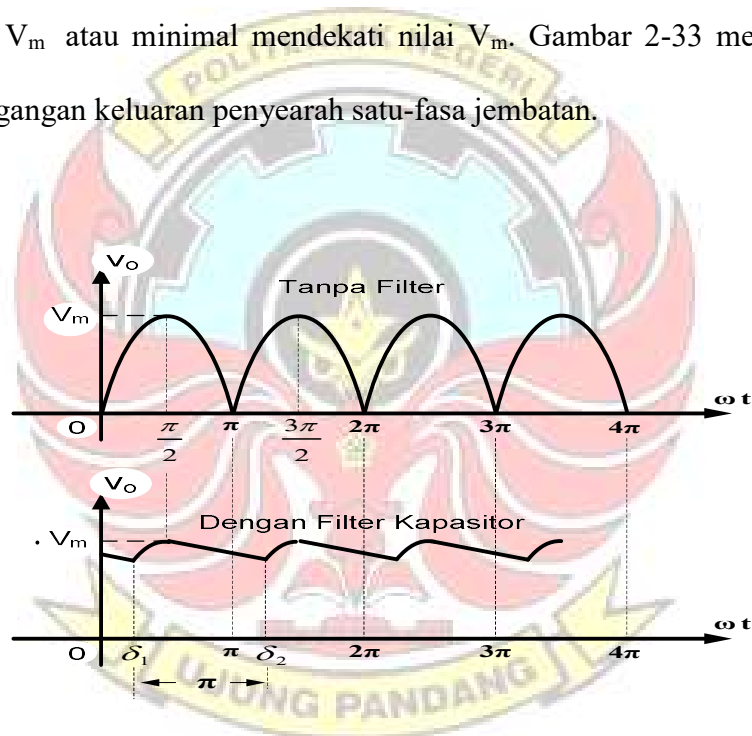
v_s = tegangan sesaat pada sekunder transformator

V_m = harga maksimum dari v_s

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi sudut.

f = frekuensi gelombang masukan bolak-balik dari jala-jala

Maka setelah dipasang kapasitor, harga rata-rata tegangan keluaran penyearah sama dengan V_m atau minimal mendekati nilai V_m . Gambar 2-33 memperlihatkan gelombang tegangan keluaran penyearah satu-fasa jembatan.



Gambar 2.33 Bentuk-bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah satu-fasa gelombang-penuh.

Dalam Gambar 2.33, kapasitor dimuati (*charging*) dalam selang dari $\omega t = \delta_1$ sampai

$\omega t = \frac{\pi}{2}$ dan melepaskan muatan (*discharging*) dalam selang dari $\omega t = \frac{\pi}{2}$ sampai

$\omega t = \delta_2$. (Tandioga, 2002). Dalam hal ini :

$$\delta_2 = \delta_1 + \pi \quad \dots\dots\dots (2-48)$$

Persamaan tegangan kapasitor ketika dimuati adalah :

$$v_{ch} = V_m \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2-49)$$

dalam hal ini:

v_{ch} = tegangan sesaat kapasitor ketika dimuati

δ_1 = nilai sudut ωt saat mana kapasitor mulai dimuati

$$\omega = 2\pi f \quad \dots\dots\dots (2-50)$$

Ketika kapasitor melepaskan muatan maka berlaku:

$$v_{dis} = k.l \frac{-t}{RC} = = k.l \frac{-\omega t}{\omega R} \quad \dots\dots\dots (2-51)$$

misalkan:

$$\tan \emptyset = \frac{1}{\omega CR} \quad (2-52) \quad \dots\dots\dots (2-52)$$

atau

$$\emptyset = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\omega CR} \right) \quad \dots\dots\dots (2-53)$$

dalam hal ini:

C = kapasitansi kapasitor

R = resistansi total dilihat dari terminal kapasitor

Persamaan (2-51) akan menjadi:

$$v_{dc} = k^{-(\omega t)\tan \emptyset} \quad \dots\dots\dots (2-54)$$

Pada saat $\omega = \frac{\pi}{2}$ maka $v_{dis} = V_m$ sehingga :

$$V_m = k.l \frac{-\pi}{2} \tan \emptyset$$

$$k = V_m e^{\frac{\pi}{2} \tan \theta} \dots\dots\dots(2-55)$$

Substitusikan persamaan (2-55) ke dalam (2-54) untuk memperoleh:

$$V_{dis} = V_m \cdot e^{\frac{\pi}{2} \tan \theta} \cdot e^{-(\omega t) \tan \theta}$$

$$V_{dis} = V_m \cdot e^{(\frac{\pi}{2} - \omega t) \tan \theta} \dots\dots\dots (2-56)$$

dalam hal ini:

V_{dis} = tegangan sesaat kapasitor ketika melepaskan muatan

Persamaan (2-56) adalah rumus tegangan kapasitor ketika melepaskan muatan.

Misalkan :

V_{min} = nilai minimum tegangan pengisian kapasitor (yang dicapai pada $\omega t = \delta_1$)

Maka dari persamaan (2-49) diperoleh :

$$V_{min} = V_m \sin \delta_1 \dots\dots\dots (2-57)$$

Tetapi V_{min} juga berarti nilai minimum pada saat kapasitor melepaskan muatan (yang dicapai pada $\omega t = \delta_2$)

maka dari persamaan (2-56) diperoleh :

$$V_{min} = V_m e^{(\frac{\pi}{2} - \delta_2) \tan \theta} = V_m e^{(\frac{\pi}{2} - \delta_1 - \pi) \tan \theta}$$

$$V_{min} = V_m e^{-(\frac{\pi}{2} + \delta_1) \tan \theta} \dots\dots\dots (2-58)$$

Dari persamaan (2-57) dan (2-58) didapat:

$$V_m \sin \delta_1 = V_m e^{-(\frac{\pi}{2} + \delta_1) \tan \theta}$$

atau :

$$\sin \delta_1 = e^{-(\frac{\pi}{2} + \delta) \tan \theta} \dots\dots\dots (2-59)$$

Persamaan (2-59) adalah rumus menentukan nilai $\tan \theta$ ketika nilai $\delta 1$ diketahui atau telah ditentukan. Jika nilai $\tan \theta$ telah dihitung serta nilai R telah diketahui maka pada gilirannya nilai C (kapasitansi yang dibutuhkan) dapat dihitung dari persamaan (2-52).

$$C = \frac{1}{\omega R \tan \theta} \dots\dots\dots (2-60)$$

Jadi persamaan (2-60) dan (2-59) adalah rumus untuk menentukan nilai C yang dibutuhkan pada tingkat kerataan tegangan keluaran yang diinginkan.

Secara teoritis, harga rata-rata tegangan keluaran penyearah yang difilter daya kapasitor dengan nilai WCR yang relatife besar, adalah dianggap sama dengan $V_m = V_s \sqrt{2}$. Jadi:

$$V_{dc} \approx V_m = V_s \sqrt{2} \dots\dots\dots(2-61)$$

Untuk:

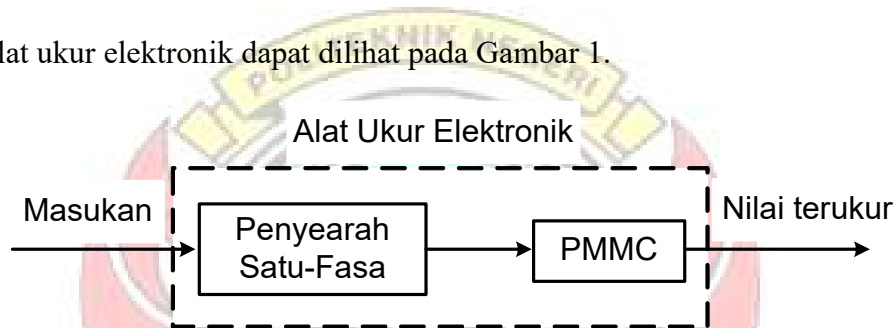
$$\text{WCR relatif besar} \dots\dots\dots(2-62)$$

2.14 Alat Ukur Asas Elektronik dan Kesalahan yang Ditimbulkan

Alat ukur berbasis elektronik merek Ferrari yang digunakan dalam pengujian ini adalah berbasis satu dioda. (Makmur dan Destrian Topayung, 2012). Alat ukur listrik berasas elektronik (disingkat : alat ukur elektronik) adalah alat ukur yang mempunyai penyearah pada mekanisme masukannya dan dihubung seri dengan sebuah mekanisme kumparan bergerak magnet permanen (PMMC). Tujuan

pembuatan alat ukur elektronik adalah untuk membaca harga efektif gelombang tegangan maupun arus bolak-balik (sinusoidal) dengan benar.

Penyearah yang umumnya dipasang dalam instrumen elektronik adalah yang berbasis satu-fasa setengah gelombang dengan kandungan sebuah dioda, atau yang bertipe satu-fasa jembatan dengan kandungan empat buah dioda. Diagram blok dari sebuah alat ukur elektronik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2.34 Diagram blok alat ukur elektronik. (PMMC = *permanent magnet moving coil*).

Misalkan gelombang tegangan masukan sinus murni (sinusoidal) mempunyai persamaan :

$$v_s = V_m \sin \omega t = V_s \sqrt{2} \sin \omega t \dots\dots\dots (2-63)$$

Telah diketahui bahwa harga efektif dan harga rata-rata dari gelombang tersebut adalah :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s \dots\dots\dots (2-64)$$

$$V_{\text{avg}} = 0 \dots\dots\dots (2-65)$$

dalam hal ini :

V_{eff} = harga efektif dari gelombang v_s

V_{avg} = harga rata-rata dari gelombang v_s

V_m = harga maksimum dari gelombang v_s

Jika masukan sinus murni tersebut melewati mekanisme penyearah di dalam alat ukur elektronik ini, maka telah terjadi penyearahan satu-fasa setengah gelombang sehingga diperoleh :

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_s}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (2-66)$$

$$V_{\text{dc}} = \frac{V_s \sqrt{2}}{\pi} \quad \dots\dots\dots (2-67)$$

dalam hal ini :

V_{rms} = harga efektif pada keluaran penyearahan satu-fasa setengah gelombang

V_{dc} = harga rata-rata pada keluaran penyearahan satu-fasa setengah gelombang

Selanjutnya nilai yang dideteksi oleh mekanisme PMMC-nya adalah $V_{\text{dc}} = \frac{V_s \sqrt{2}}{\pi}$,

sementara nilai efektif yang akan ditampilkan adalah $V_{\text{eff}} = V_s$. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat suatu faktor pengali (*multiplied factor*, F_m) yang diterapkan pada alat ukur elektronik ini agar dapat membaca harga efektif gelombang sinus murni dengan benar.

$$F_m = \frac{\text{Nilai efektif yang akan ditampilkan}}{\text{Nilai rata – rata yang di deteksi oleh PMMC}}$$

$$F_m = \frac{V_s}{\frac{V_s \sqrt{2}}{\pi}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \approx 2,22 \quad \dots\dots\dots (2-68)$$

Akan tetapi alat ukur elektronik ini tidak dapat lagi memberikan pembacaan yang benar apabila dipakai untuk mengukur harga efektif pada keluaran penyearah.

Kesalahan yang mungkin timbul dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kesalahan pengukuran pada alat ukur elektronik berbasis satu dioda dalam mengukur tegangan keluaran beberapa penyearah dan catu daya

No.	Jenis masukan ke alat ukur	Nilai efektif teoritis tegangan keluaran penyearah atau tegangan sumber	Nilai efektif yang akan ditampilkan alat ukur	Kesalahan pengukuran (%)
1	Keluaran penyearah satu-fasa setengah gelombang	$\frac{V_s}{\sqrt{2}}$	V_s	41,42
2	Keluaran penyearah satu-fasa gelombang penuh	V_s	$2 V_s$	100
3	Keluaran aki/baterai	V_{bat}	$\frac{\pi V_{bat}}{\sqrt{2}}$	122
4	Jala-jala atau catu daya ac	V_s	V_s	0

BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan

Perancangan Modul Praktikum Semikonverter tiga-fasa ini dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang yang berlangsung pada bulan Maret 2020 sampai dengan September 2020.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Tang potong
2. Tang kupas
3. Tang lancip
4. Obeng Plat
5. Obeng Bunga
6. *Test pen*
7. Voltmeter
8. Amperemeter
9. Multimeter
10. Osiloskop
11. Solder
12. Pengisap solder

13. Gurinda
14. Mata gurinda
15. Bor
16. Mata bor
17. Laptop
18. Kabel *downloader* Arduino

3.2.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. SCR 25RIA120
2. Dioda 40RIA120
3. Transformator 220/18 Volt
4. MCB 3 Fasa
5. Mikrokontroller Arduino Nano
6. Panel Box
7. Kapasitor
8. Resistor
9. *Optocoupler*
10. IC Regulator
11. Potensiometer geser
12. *Heatsink*
13. Saklar



14. *Fuse*
15. Isolator
16. Kabel
17. Papan PCB
18. *Binding post*
19. Terminal PCB
20. Terminal blok kaca
21. DPDT Switch 2 x 9 pin
22. LED
23. Baut
24. Mur
25. Timah
26. Dimmer *ac*



3.3 Prosedur Kegiatan

3.3.1 Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur mengenai *thyristor* dan rangkaian penyalannya dengan tujuan mengumpulkan informasi agar memudahkan dalam pengerjaan rancang bangun.

3.3.2 Tahap Perancangan

Alat yang dirancang adalah sebuah modul semikonverter tiga-fasa yang akan digunakan untuk praktikum Elektronika Daya di Laboratorium Teknik Konversi Energi. Alat penyearah mendapat input dari sumber tegangan bolak-balik (*ac*) tiga-

fasa yang akan disearahkan menjadi tegangan searah (*dc*) dengan menggunakan tiga buah *thyristor* jenis SCR dan tiga buah dioda. Adapun SCR dikontrol oleh rangkaian *trigger* sehingga besar kecilnya keluaran dari penyearah tergantung pada sudut penyalaan pada rangkaian *trigger*.

1. Pemilihan *thyristor* dan dioda

Pada penelitian ini jenis *thyristor* dan dioda yang digunakan tergantung dari spesifikasi dan perhitungan tegangan dan arus maksimum sebagai berikut.

- Spesifikasi tegangan *thyristor* dan dioda

Penentuan spesifikasi tegangan *thyristor* dan dioda bergantung pada jenis dan kapasitas beban yang dilayani. Untuk beban resistif, harga maksimum V_{dc} dan V_{rms} menurut teori terdapat pada $\alpha = 0^\circ$. Jadi digunakan persamaan (2-26) sampai (2-30) dalam penentuan spesifikasi tegangan *thyristor* dan dioda.

Beban induktif yang akan dilayani adalah komponen R-L dan motor *dc*. Karena motor *dc* dapat mempunyai kapasitas yang besar maka penentuan spesifikasi tegangan *thyristor* dan dioda juga bergantung pada kapasitas motor *dc*.

- Spesifikasi arus *thyristor* dan dioda.

Seperti yang telah disebutkan bahwa beban yang dilayani adalah beban resistif (R), induktif (R-L) dan motor *dc*. Jadi kapasitas motor *dc* akan menentukan penentuan spesifikasi arus *thyristor* dan dioda.

2. Perancangan Catu Daya *dc* 5 V.

Catu daya *dc* 5 V dibuat dalam rangka mensuplai mikrokontroller Arduino agar dapat bekerja. Catu daya yang diinginkan adalah menggunakan penyearah jembatan

satu-fasa, jadi dibutuhkan transformator satu-fasa, dioda, IC regulator, dan kapasitor.

3. Perancangan Rangkaian Kontrol.

Perancangan rangkaian kontrol dalam hal ini melibatkan jala-jala tiga-fasa, kontroller, dan susunan *thyristor*-dioda.

4. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dalam hal ini adalah perancangan kotak (*box*) dari alat. Penggambaran atau disain *layout* dari kotak dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Sketchup.

5. Perancangan Rangkaian Daya

Perancangan rangkaian dalam hal ini mencakup perancangan rangkaian daya. Penggambaran rangkaian daya ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Visio.

3.3.3 Tahap Pembuatan dan Perakitan

Setelah proses perancangan selesai, maka dilanjutkan dengan proses pembuatan rangkaian dari setiap komponen alat. Langkah yang dikerjakan pada masing-masing rangkaian rancang bangun adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang digunakan.
2. Pembuatan catu daya *dc* 5 Volt.
3. Pembuatan rangkaian kontrol di papan PCB.
4. Pembuatan rangkaian daya.

5. Merangkai semua rangkaian sesuai dengan rancangan alat pada *panel box*.

3.4 Pengujian Alat

Setelah rancang bangun selesai, maka dilanjutkan dengan pengujian alat dan pengambilan data. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menempatkan alat di Laboratorium Teknik Konversi Energi.
2. Merangkai sumber tegangan dan alat ukur.
3. Mengkalibrasi semua alat ukur.
4. Mengaktifkan suplai listrik dari sumber tegangan jala-jala tiga-fasa yang akan dikonversi.
5. Mengatur sudut penyalan pada rangkaian kontrol.
6. Mengukur besaran-besaran pada semikonverter tiga-fasa. Juga dilakukan pengambilan gambar bentuk gelombang.
7. Pengujian selesai.

3.5 Teknik Pengolahan/Analisis Data

Dalam proses pengolahan data penulis menganalisa beberapa besaran penyearahan. Besaran penyearahan tersebut adalah V_{dc} , V_{rms} , I_{dc} , I_{rms} , $I_{s(av)}$ dan I_s . Dari besaran penyearahan, dapat ditentukan sudut penundaan (α) dari *thyristor*.

3.6 Pembuatan Penuntun Praktikum/*Job Sheet*

Setelah pembuatan modul praktikum selesai, penulis melengkapi dengan membuat penuntun/*job sheet* yang dijadikan sebagai pedoman dalam proses praktikum dengan tujuan agar proses praktikum dapat berjalan dengan lancar.



3.7 Diagram Kegiatan



Gambar 3.1 Diagram alir kegiatan

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Hasil Perancangan

4.1.1 Hasil Pemilihan *Thyristor* dan Dioda

Telah disebutkan bahwa persamaan (2-26) sampai (2-30) adalah dasar penentuan spesifikasi tegangan *thyristor* dan dioda.

$$V_{dc} = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

$$= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos 0^\circ)$$

$$= \frac{3.220.\sqrt{6}}{2\pi} (1 + 1)$$

$$= 514,6 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_s \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)}$$

$$= 220 \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)}$$

$$= 220 \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos \alpha)}$$

$$= 220 \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + 1)}$$

$$= 220 \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{2\pi}}$$

$$= 515.05 \text{ Volt}$$

Untuk penentuan spesifikasi arus *thyristor* dan dioda maka digunakan data motor *dc* sebagai dasar penentuan. Spesifikasi motor *dc* ini dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Spesifikasi Motor *dc*

Tipe Bahan	DL 2055/S
V_{RRM}	400 V
Rate current	14,2 A
Rate power	5 KW

Dengan demikian harga rata-rata arus beban adalah $I_{dc} = 14,2$ A. Arus yang ditanggung setiap *thyristor* atau dioda adalah:

$$I_T = I_d = \frac{I_{dc}}{3} = \frac{14,2}{3} = 4,73 \text{ A}$$

$$I_{T(rms)} = I_{d(rms)} = \frac{I_{dc}}{\sqrt{3}} = \frac{14,2}{\sqrt{3}} = 8,19 \text{ A}$$

Dalam hal ini :

$I_T = I_d$ = harga rata-rata arus yang lewat dalam *thyristor* atau dioda

$I_{T(rms)} = I_{d(rms)}$ = harga efektif yang lewat dalam *thyristor* atau dioda

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dipilih *thyristor* dan dioda dengan spesifikasi seperti dalam Tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2. Spesifikasi SCR yang dipilih

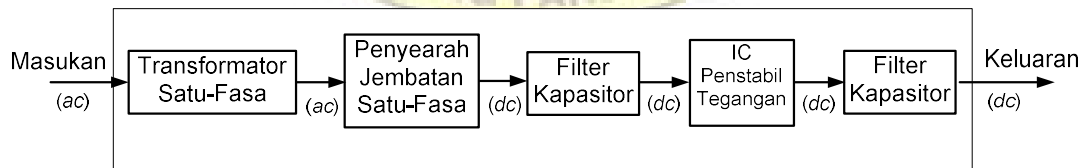
Tipe Bahan	25RIA120
V_{RRM}	1200 V
$I_{T(AV)}$	25 A
$I_{T(RMS)}$	40 A
I_{GT}	60 mA
V_{GT}	2,0 V
I_{GD}	2,0 mA
V_{GD}	0,2 V

Tabel 4.3. Spesifikasi Dioda yang dipilih

Tipe Bahan	40HF120
V_{RRM}	1200 V
$I_{F(AV)}$	40 A
$I_{F(RMS)}$	62 A

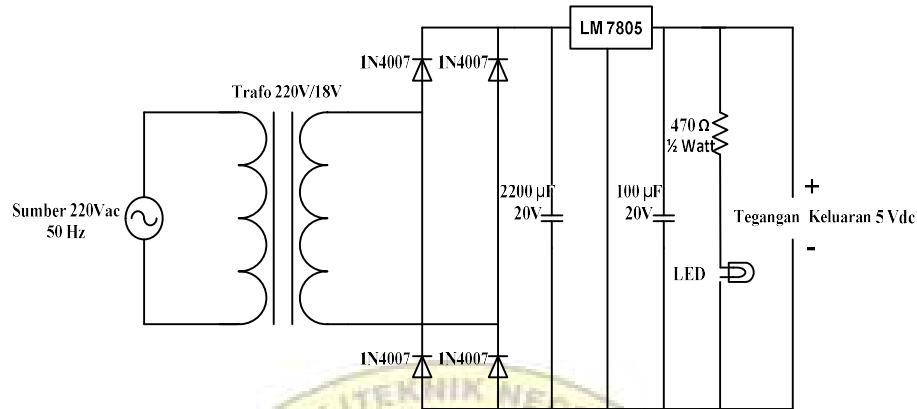
4.1.2 Hasil Perancangan Catu Daya *dc* 5 Volt

Diagram blok dari catu daya yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 4.1



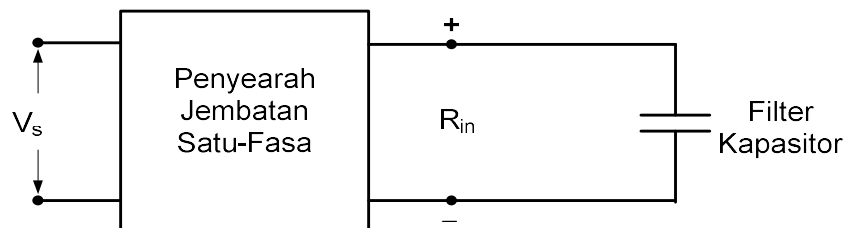
Gambar 4.1 Diagram blok catu daya *dc* 5 volt

Hasil perancangan Rangkaian catu daya 5 volt *dc* dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Rangkaian catu daya *dc* 5 volt

Karena masukan jala-jala adalah 220 V per fasa maka dipilih transformator satu-fasa 220/18 V, penyearah yang digunakan adalah penyearah jenis jembatan karena mempunyai TUF serta bentuk gelombang yang unggul, kapasitor yang dipasang langsung pada keluaran penyearah sebelum IC LM adalah kapasitor utama. Kapasitor utama ini akan menghasilkan bentuk gelombang yang mendekati rata. Karena keluaran dari catu daya yang diinginkan adalah 5 V maka dipilih IC LM 7805. Untuk lebih meratakan tegangan yang dihasilkan IC LM maka dipasang lagi kapasitor tambahan. Diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penyearah jembatan satu-fasa tanpa beban yang dipasangi filter kapasitor pada keluarannya.

Penentuan kapasitor utama adalah berdasarkan penyearah dalam keadaan tanpa beban yang dipasang kapasitor pada keluarannya. Pada pengujian pendahuluan diperoleh:

$$R_{in} = 40 \text{ k}\Omega = 40000 \text{ }\Omega$$

Diinginkan tegangan keluaran yang rata namun sudut $\delta 1$ seperti dalam Gambar 2.33 tidak sama dengan 90° jadi dipilih:

$$\delta 1 = 89^\circ$$

Dari persamaan (2-59) diperoleh:

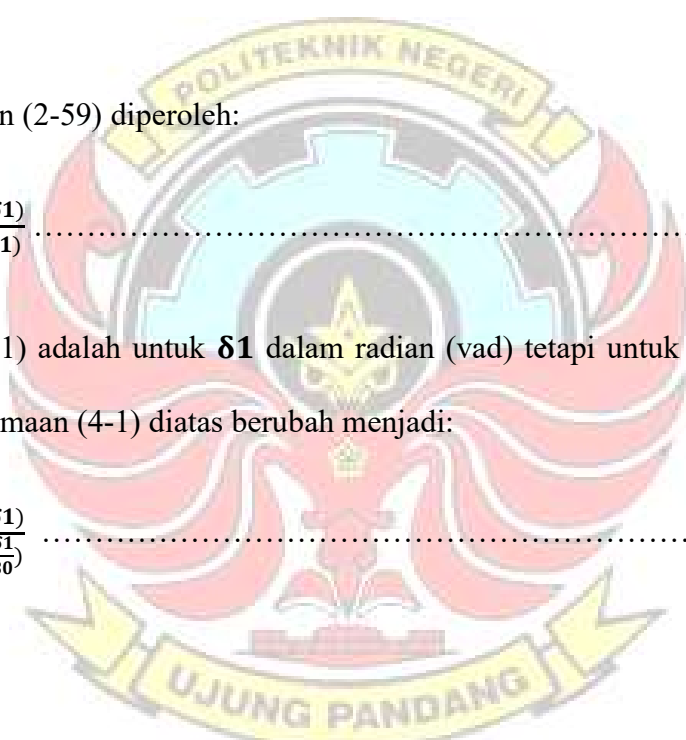
$$\tan \phi = \frac{\ln(\sin \delta 1)}{-\left(\frac{\pi}{2} + \delta 1\right)} \dots\dots\dots(4-1)$$

Persamaan (4-1) adalah untuk $\delta 1$ dalam radian (rad) tetapi untuk $\delta 1$ dalam derajat ($^\circ$) maka persamaan (4-1) diatas berubah menjadi:

$$\tan \phi = \frac{\ln(\sin \delta 1)}{-\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi \delta 1}{180}\right)} \dots\dots\dots(4.2)$$

Maka

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{\ln(\sin 89.1^\circ)}{-\left(\frac{\pi}{2} + \frac{89.1\pi}{180}\right)} \\ &= 3.94689 \times 10^{-5} \end{aligned}$$



Untuk $f=50$ Hz, Akhirnya nilai C dapat dihitung dari persamaan (2-60) :

$$C = \frac{1}{2\pi f R \tan\phi} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 3,94689 \cdot 10^{-5}}$$
$$= 2,016 \times 10^{-3} \text{ F}$$
$$= 2016 \mu\text{F}$$

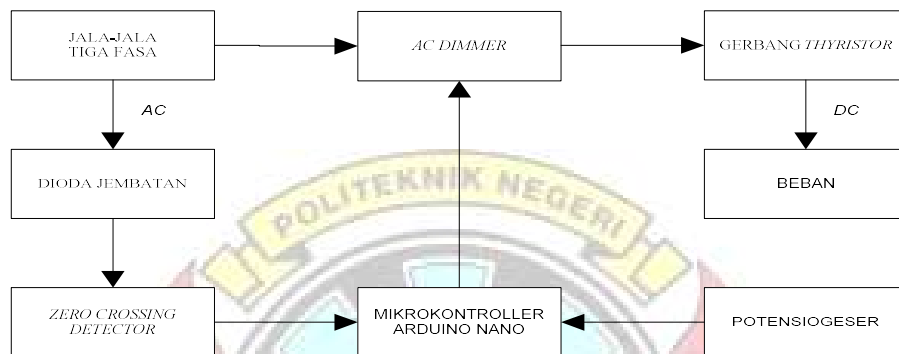
Berdasarkan ketersediaan kapasitor dipasaran, maka dipilih:

$$C = 2200 \mu\text{F}$$

Sumber tegangan 5 volt arus searah digunakan untuk menyuplai mikrokontroler Arduino nano. Tegangan ini dihasilkan dari transformator 220 volt/18 volt. Tegangan 18 volt arus bolak-balik dari transformator disearahkan pada rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh. Keluaran dari penyearah dihubungkan pada IC regulator LM7805, sehingga tegangan keluarannya stabil pada 5 volt arus searah. Pada keluaran IC regulator dipasang kapasitor tambahan untuk lebih meratakan tegangan keluaran

4.1.3 Hasil Perancangan Rangkaian Kontrol

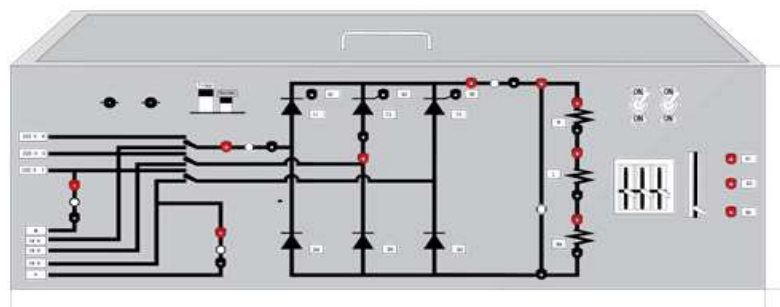
Diagram blok rangkaian kontrol pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4, sedangkan rangkaian kontrol yang lengkap dapat dilihat pada lampiran C.



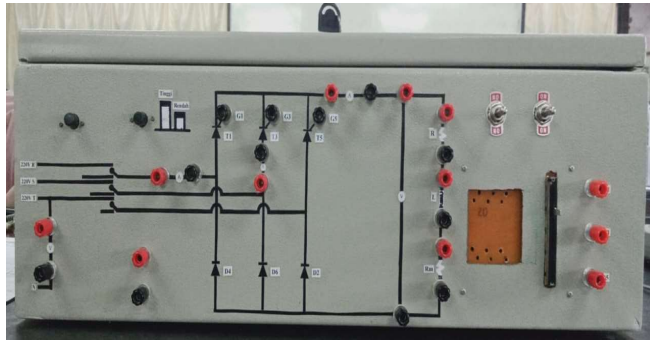
Gambar 4.4 Diagram blok rangkaian kontrol per fasa

4.1.4 Hasil Perancangan Mekanik

Hasil perancangan mekanik secara software dapat dilihat pada Gambar 4.3, sementara hasil perancangan mekanik dalam bentuk modul dapat di lihat pada Gambar 4.4. Bodi modul yang dirancang dalam perancangan ini berukuran 60 cm x 40 cm x 20 cm.



Gambar 4.5 Rancangan kotak semikonverter tiga-fasa



(a)



(b)



(c)

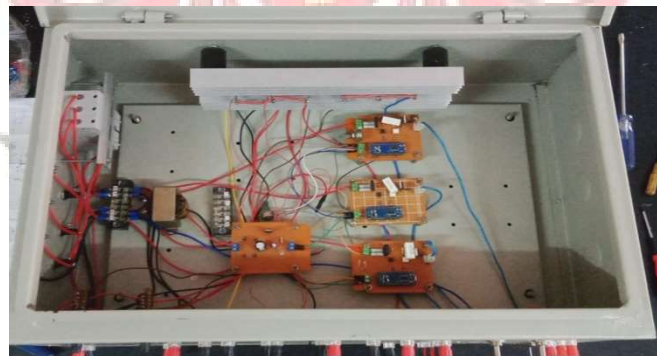
Gambar 4.6 Hasil Perancangan bodi modul penyearah tiga fasa. (a) Tampak depan (b) Tampak belakang (c) Tampak samping kiri (d) Tampak samping kanan (e) Tampak atas (f) Tampak dalam.



(d)



(e)

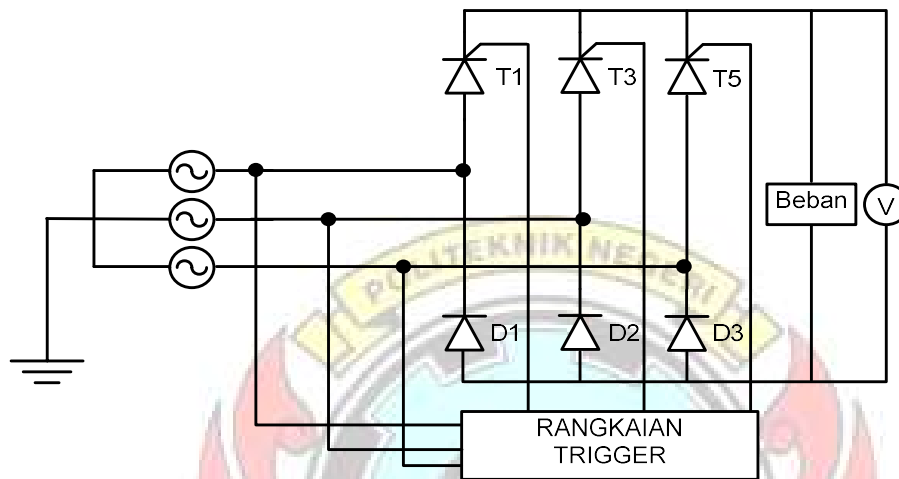


(f)

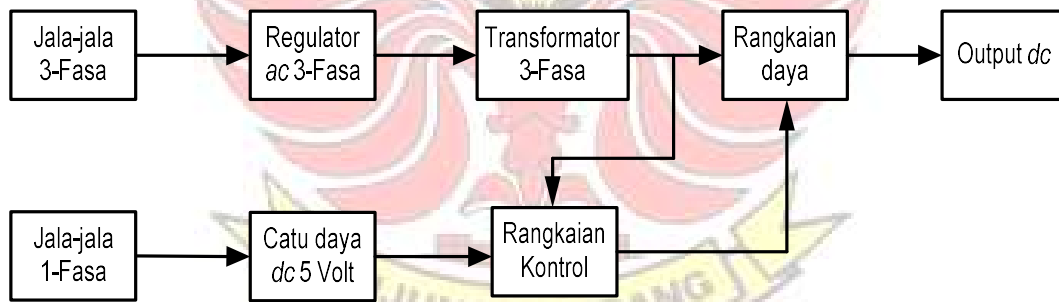
Gambar 4.6 (Lanjutan)

4.1.5 Hasil Perancangan Rangkaian Daya

Hasil perancangan rangkaian daya dapat dilihat pada Gambar 4.5, sementara Gambar 4.6 memperlihatkan diagram blok dari rangkaian daya.



Gambar 4.7 Rangkaian daya semikonverter tiga-fasa



Gambar 4.8 Diagram blok dari rangkaian daya

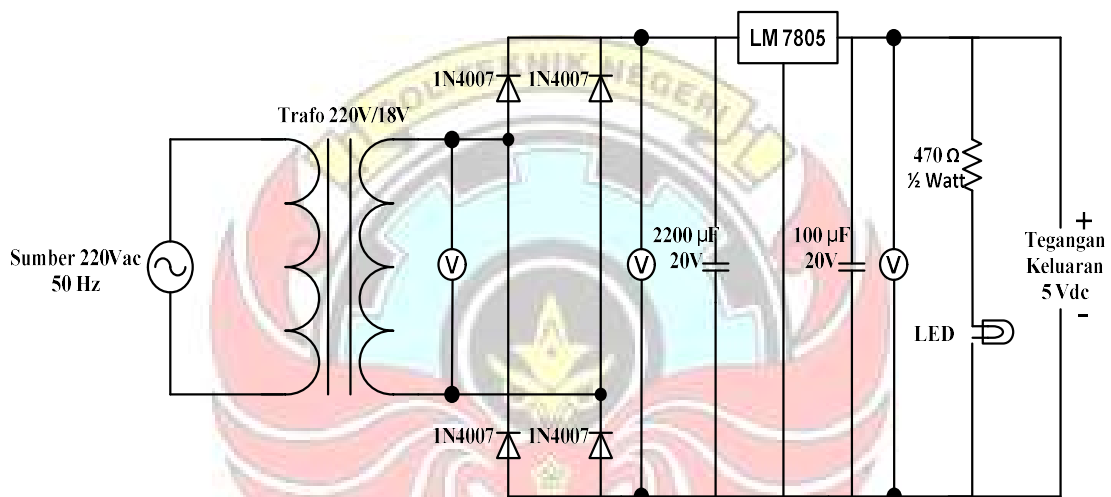
Penyearah Semikonverter tiga-fasa terkendali merupakan rangkaian yang mengkonversikan tegangan bolak balik (*ac*) tiga fasa menjadi tegangan searah (*dc*) yang outputnya bisa diatur. Sistem konverter ini hanya membutuhkan catu daya ac tiga-fasa tiga-kawat tanpa titik netral (*n*). Rangkaian ini terdiri dari tiga buah *thyristor*

dan tiga buah dioda, *thyristor* tersebut dikendalikan dengan menggunakan rangkaian trigger untuk mendapatkan tegangan output yang bisa di atur.

4.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan

4.2.1 Hasil Pengujian Catu Daya 5 Volt *dc* dan Pembahasan

Rangkaian pengujian catu daya 5 volt *dc* dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Rangkaian pengujian catu daya 5 volt *dc*

Tabel 4.4 Hasil pengujian catu daya 5 volt *dc*

Multimeter merek sanwa					Alat ukur merek Ferrari				
V_s (V)	V_o		V_{out}		V_s (V)	V_o		V_{out}	
	V_{dc} (V)	V_{rms} (V)	V_{dc} (V)	V_{rms} (V)		V_{dc} (V)	V_{rms} (V)	V_{dc} (V)	V_{rms} (V)
19,5	26	57	5	10,5	19,4	25,6	55	4,75	10,9

Ket: v_o = tegangan keluaran penyearah di masukan IC LM atau di terminal kapasitor
 v_{out} = tegangan keluaran IC LM

Presentase kesalahan dalam pengukuran V_s :

V_s adalah harga efektif dari tegangan sekunder transformator atau (V_s) dijadikan sebagai acuan:

$$V_s = 18 \text{ V}$$

Multimeter merek sanwa : $V_s' = 19,5 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{maka error} &= \left| \frac{V_s'}{V_s} - 1 \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{19,5}{18} - 1 \right| \times 100\% \\ &= 8,33\% \end{aligned}$$

Alat ukur merek Ferrari: $V_s' = 19,4 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{Maka error} &= \left| \frac{V_s'}{V_s} - 1 \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{19,4}{18} - 1 \right| \times 100\% \\ &= 7,78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kesalahan pengukuran} &= \frac{8,33\% + 7,78\%}{2} \\ &= 8,06\% \end{aligned}$$

Karena multimeter merek sanwa dan alat ukur merek Ferrari menghasilkan error (kesalahan pengukuran) rata-rata di bawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa kedua alat ukur masih dapat mengukur dengan benar tegangan bolak-balik.

Persentase kesalahan dalam pengukuran V_{dc} di masukan IC LM

Dalam hal ini:

$$C = 2200 \mu\text{F} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$R = 40 \text{ k}\Omega = 4 \times 10^4 \Omega$$

$$F = 50 \text{ HZ}$$

maka:

$$\omega CR = 2\pi fCR$$

$$= 2\pi \cdot 50 \cdot 2,2 \times 10^{-3} \cdot 4 \times 10^4$$

$$= 8800 \pi$$

Nilai ωCR ini memenuhi persamaan (2-62) sehingga akan dipakai persamaan (2-61).

$$V_{dc} \approx V_s \sqrt{2} = 18\sqrt{2}$$

Multimeter merek sanwa : $V_{dc}' = 26 \text{ V}$

$$\text{maka error} = \left| \frac{V_{dc}'}{V_{dc}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{26}{18\sqrt{2}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 2,14 \%$$

Alat ukur merek Ferrari: $V_{dc}' = 25,6 \text{ V}$

$$\text{Maka error} = \left| \frac{V_{dc}'}{V_{dc}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{25,6}{18\sqrt{2}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 0,57\%$$

$$\text{Rata-rata kesalahan pengukuran} = \frac{2,14\% + 0,57\%}{2}$$

$$= 1,36 \%$$

Karena multimeter merek sanwa dan alat ukur merek Ferrari menghasilkan error (kesalahan pengukuran) rata-rata di bawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa rancangan untuk menghasilkan tegangan keluaran penyearah yang rata sudah benar.

Persentase kesalahan dalam pengukuran V_{dc} di keluaran IC LM:

Diinginkan keluaran dari IC LM 7805 adalah 5 V, maka:

$$V_{dc} = 5 \text{ V}$$

Multimeter merek sanwa: $V_{dc}' = 5 \text{ V}$ maka error = 0%

Alat ukur merek Ferrari: $V_{dc}' = 4,75 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{Maka error} &= \left| \frac{V_{dc}'}{V_{dc}} - 1 \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,75}{5} - 1 \right| \times 100\% \\ &= 5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kesalahan pengukuran} &= \frac{0\% + 5\%}{2} \\ &= 2,5\% \end{aligned}$$

Karena multimeter merk sanwa dan alat ukur merk Ferrari menghasilkan error (kesalahan pengukuran) rata-rata di bawah 10% maka dapat disimpulkan bahwa rancangan IC LM7805 untuk menghasilkan tegangan 5 V sudah tepat.

Persentase kesalahan dalam pengukuran V_{rms} di masukan IC LM

Pada perhitungan kesalahan dalam pengukuran di masukan IC LM disimpulkan bahwa tegangan keluaran penyearah setelah dipasang kapasitor adalah sudah rata atau hampir rata atau dianggap konstan layaknya tegangan keluaran aki

atau baterai. Untuk tegangan konstan maka harga rms sudah sama dengan harga rata-rata. Dengan demikian:

$$V_{rms} = V_{dc} = 18\sqrt{2}$$

Multimeter merek sanwa : $V_{rms}' = 57 \text{ V}$

$$\text{maka error} = \left| \frac{V_{rms}'}{V_{rms}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{57}{18\sqrt{2}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 123,92 \%$$

Alat ukur merek Ferrari: $V_{rms}' = 55 \text{ V}$

$$\text{Maka error} = \left| \frac{V_{rms}'}{V_{rms}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{55}{18\sqrt{2}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 116,06\%$$

$$\text{Rata-rata kesalahan pengukuran} = \frac{123,92\% + 116,06\%}{2}$$

$$= 119,99 \%$$

Karena kedua alat ukur asas elektronik (merek Sanwa dan Ferrari) yang dipakai menghasilkan kesalahan pengukuran rata-rata sebesar 119,99%, yang mana mendekati nilai 122% dalam Tabel 2.2 maka dapat disimpulkan bahwa tegangan yang diukur oleh kedua alat ukur ini adalah bersifat seperti keluaran aki atau baterai. Ini membuktikan tegangan keluaran penyearah setelah dipasang kapasitor adalah sudah rata atau dianggap konstan. Jadi pemakaian kapasitor dalam hal ini sudah berhasil.

Persentase kesalahan dalam pengukuran V_{rms} di keluaran IC LM.

Pada pengukuran V_{dc} di keluaran IC LM telah disimpulkan bahwa tegangan yang keluaran oleh IC LM adalah dianggap konstan 5 V. Karena tegangan ini sudah konstan atau rata maka.

$$V_{rms} = V_{dc} = 5 \text{ V}$$

Multimeter merek sanwa : $V_{rms}' = 10.5 \text{ V}$

$$\text{maka error} = \left| \frac{V_{rms}'}{V_{rms}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{10.5}{5} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 110 \%$$

Alat ukur merek Ferrari: $V_{rms}' = 10.9 \text{ V}$

$$\text{Maka error} = \left| \frac{V_{rms}'}{V_{rms}} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{10.9}{5} - 1 \right| \times 100\%$$

$$= 118\%$$

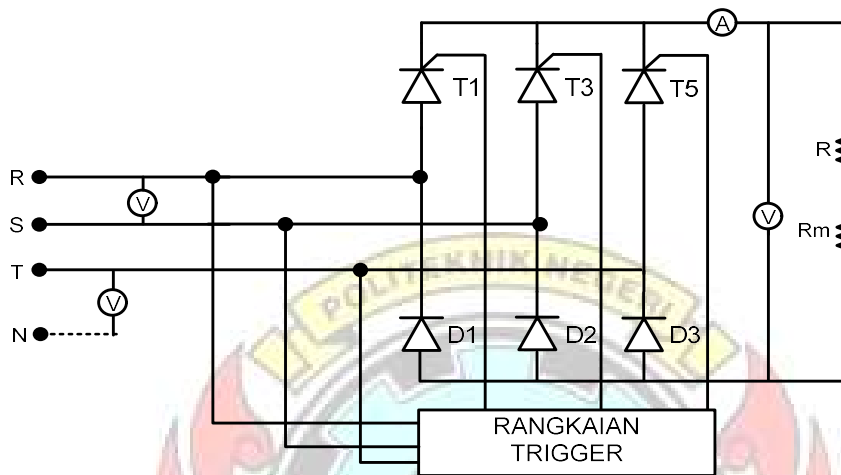
$$\text{Rata-rata kesalahan pengukuran} = \frac{110\% + 118\%}{2}$$

$$= 114 \%$$

Karena kedua alat ukur asas elektronik (merek Sanwa dan Ferrari) yang dipakai menghasilkan kesalahan pengukuran rata-rata sebesar 114%, yang mana mendekati nilai 122% dalam Tabel 2.2 maka dapat disimpulkan bahwa tegangan yang diukur oleh kedua alat ukur ini adalah bersifat seperti keluaran aki atau baterai. Ini membuktikan tegangan keluaran penyearah setelah dipasang kapasitor adalah sudah rata atau dianggap konstan. Jadi pemakaian kapasitor dalam hal ini sudah berhasil.

4.2.2 Hasil Pengujian Semikonverter Tiga-Fasa Berbeban Resistif dan Pembahasan

Diagram rangkaian pengujian diperlihatkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram rangkaian pengujian semikonverter tiga-fasa berbeban resistif

Dalam hal ini $R = \text{resistansi beban} = 420 \Omega$. Data hasil pengukuran alat ukur diperlihatkan dalam Tabel 4.2, sedangkan bentuk-bentuk gelombang tegangan beban pada berbagai nilai α (sudut penyalan) diperlihatkan dalam Gambar 4.11 sampai Gambar 4.15. Secara aktual alat kontrol dapat menghasilkan nilai α pada 0° dan 180° namun bentuk-bentuk gelombang yang muncul tidak stabil sehingga hanya bentuk gelombang untuk dalam jangkauan $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ yang diamati.

Tabel 4.5 Hasil pengujian berbeban resistif

No	Persen potensio geser (%)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan keluaran		Arus beban	
				$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1	< 1	90	168	0	0	0	0
2	9	90	168	63	100	0,14	0,36
3	25	90	168	115,5	150	0,26	0,52
4	41	90	168	165	175	0,38	0,7
5	57	90	168	205,5	205	0,48	0,8
6	73	90	168	225	220	0,52	0,88
7	≈ 100	90	168	226,9	227,1	0,54	0,9

Keterangan:

*) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari

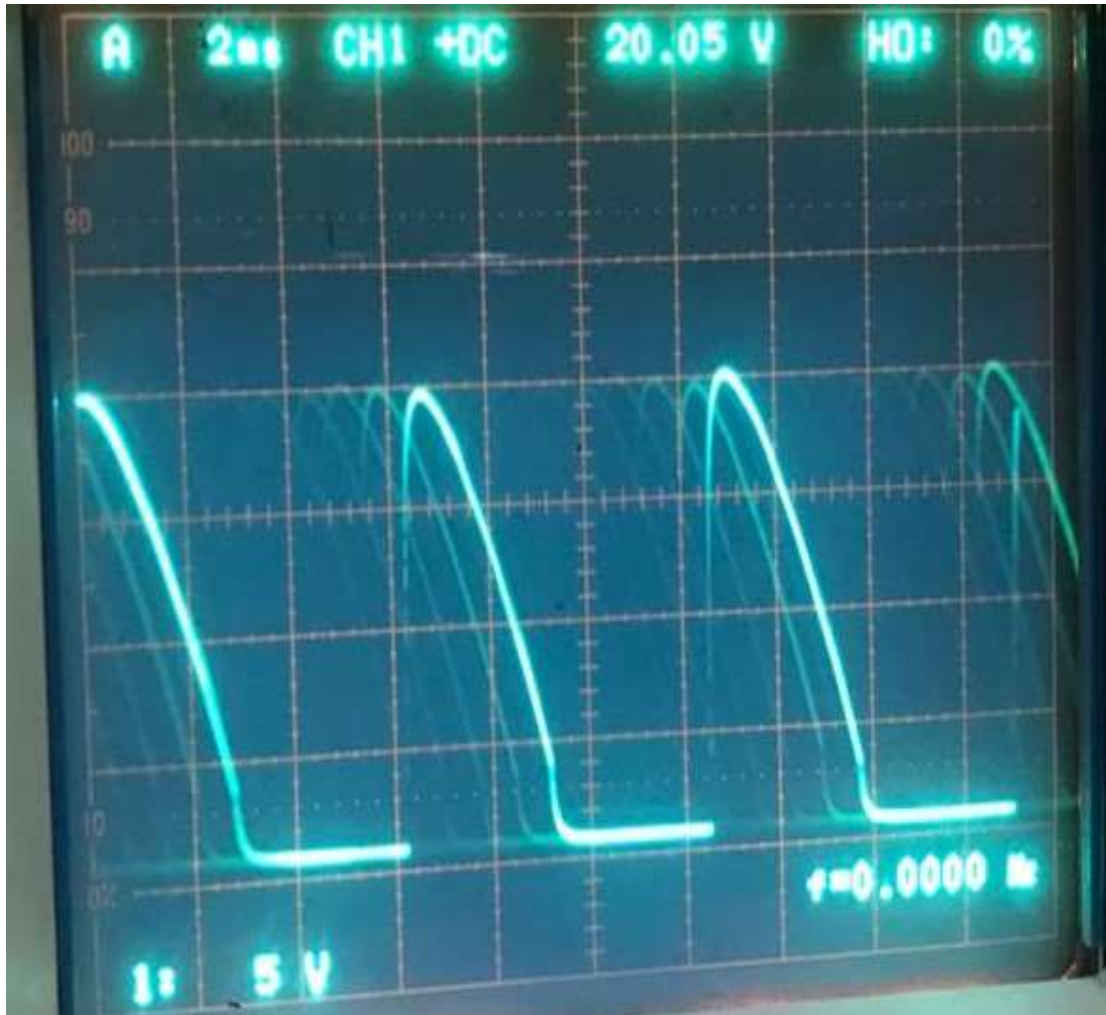
***) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta

****) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari

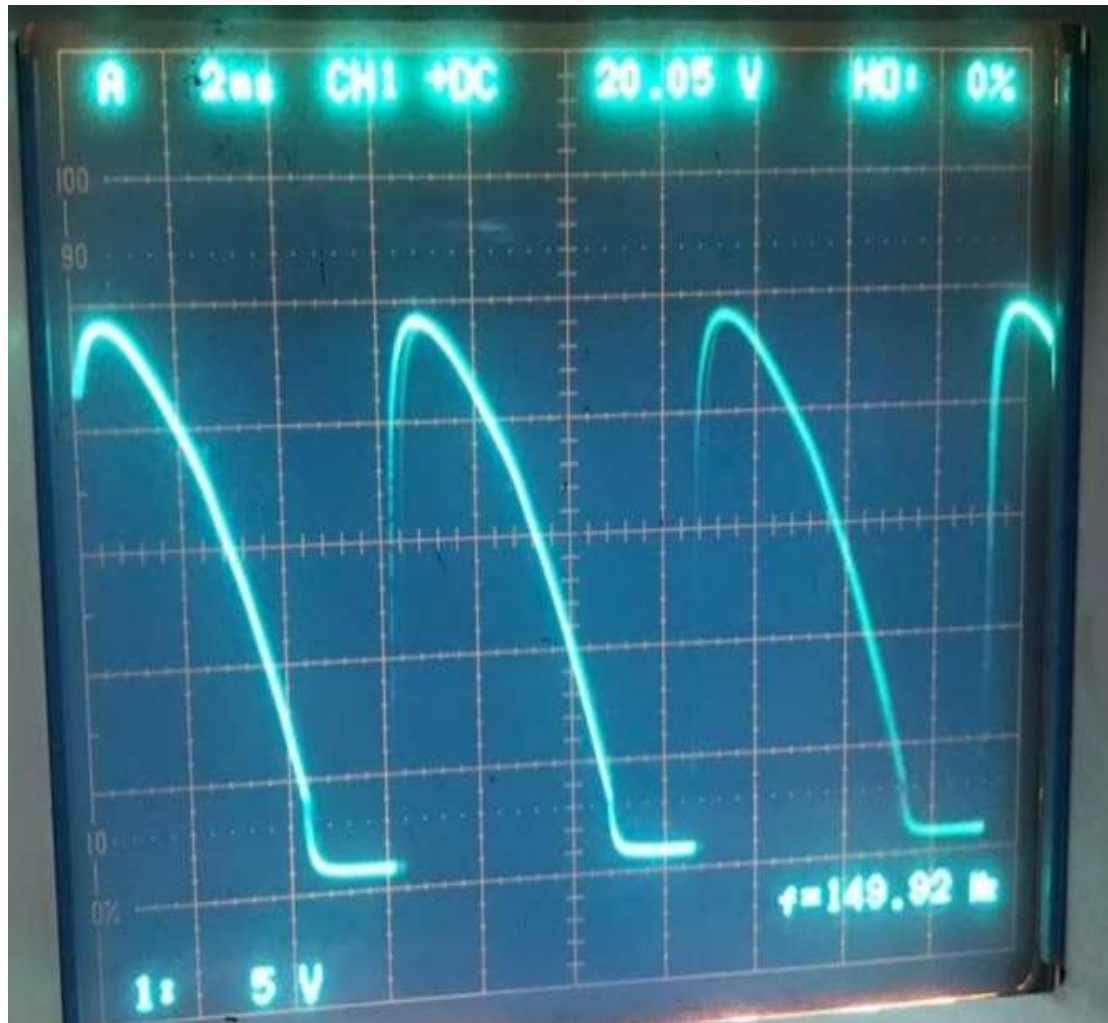
Potensiogeser adalah $R_p = 100 \text{ k}\Omega$ pada rangkaian kontrol (Lampiran C)

Data nomor 1 dan 7 secara teoritis.

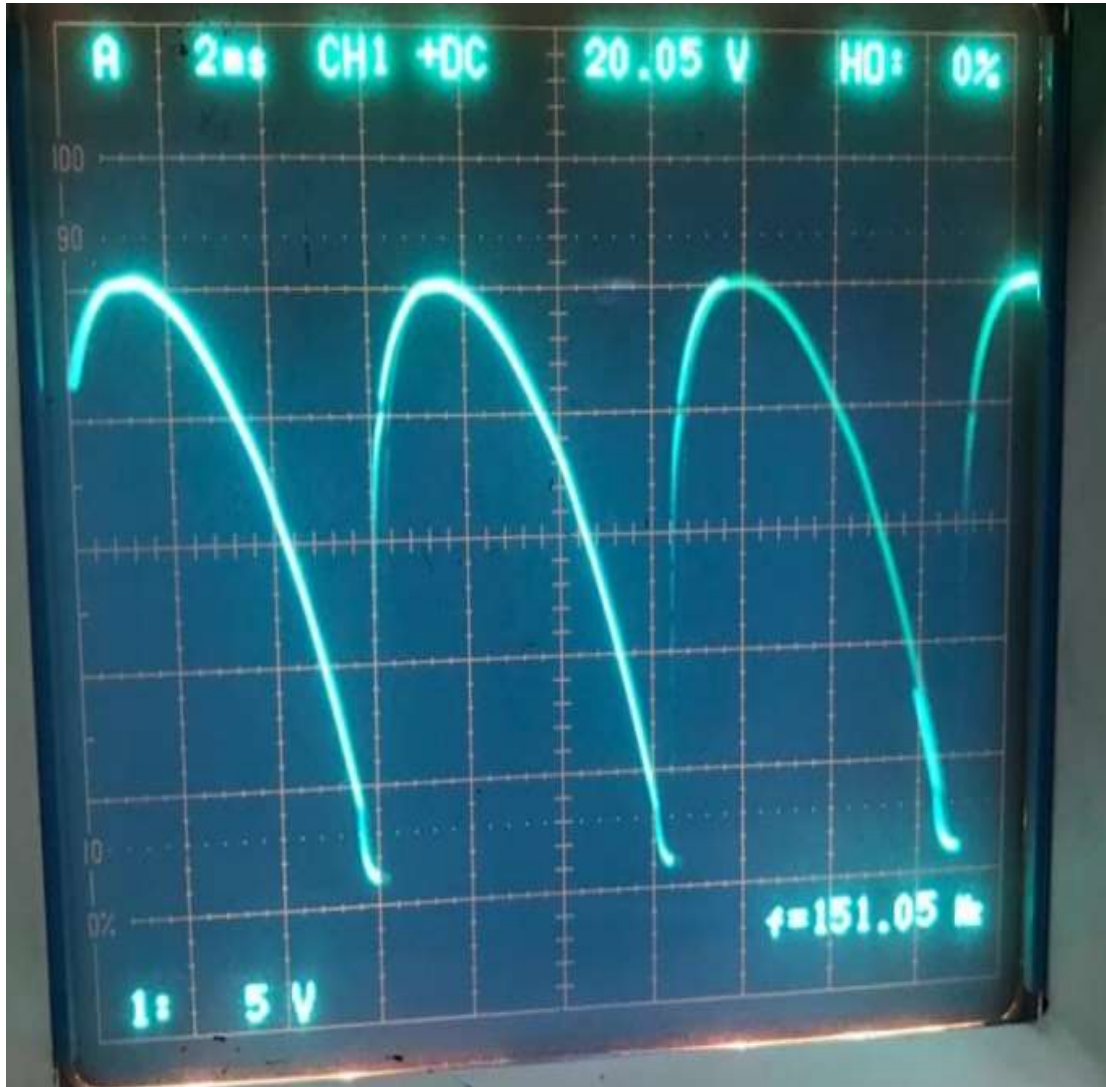
Nilai $V_s = 90 \text{ V}$ adalah tegangan sekunder per fasa minimum dari transformator tiga-fasa yang membuat alat kontrol (*trigger*) mulai menghasilkan tegangan yang cukup untuk gerbang *thyristor*. Jadi alat kontrol akan memicu *thyristor* untuk $V_s \geq 90 \text{ V}$.



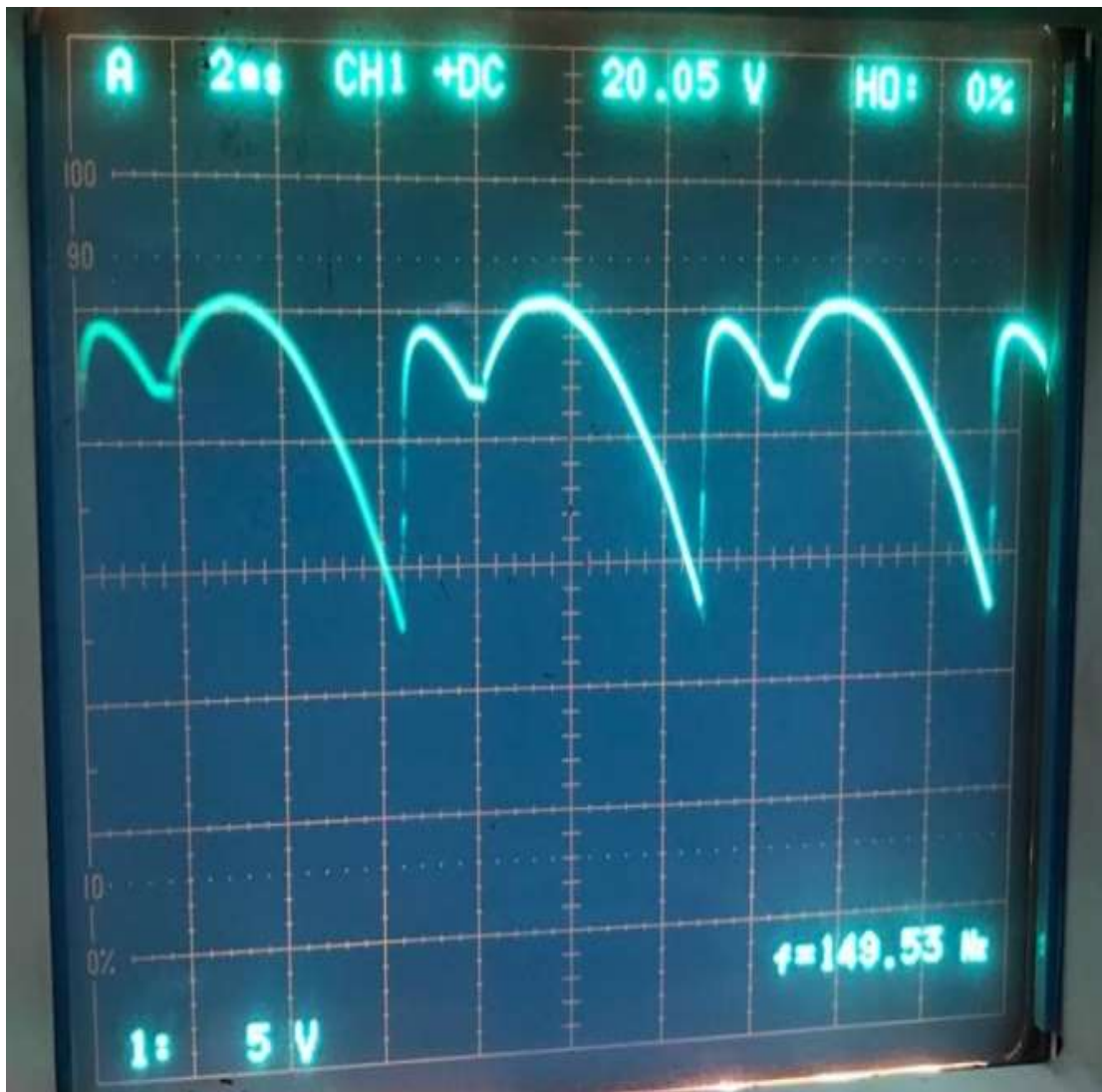
Gambar 4.11 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 63 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



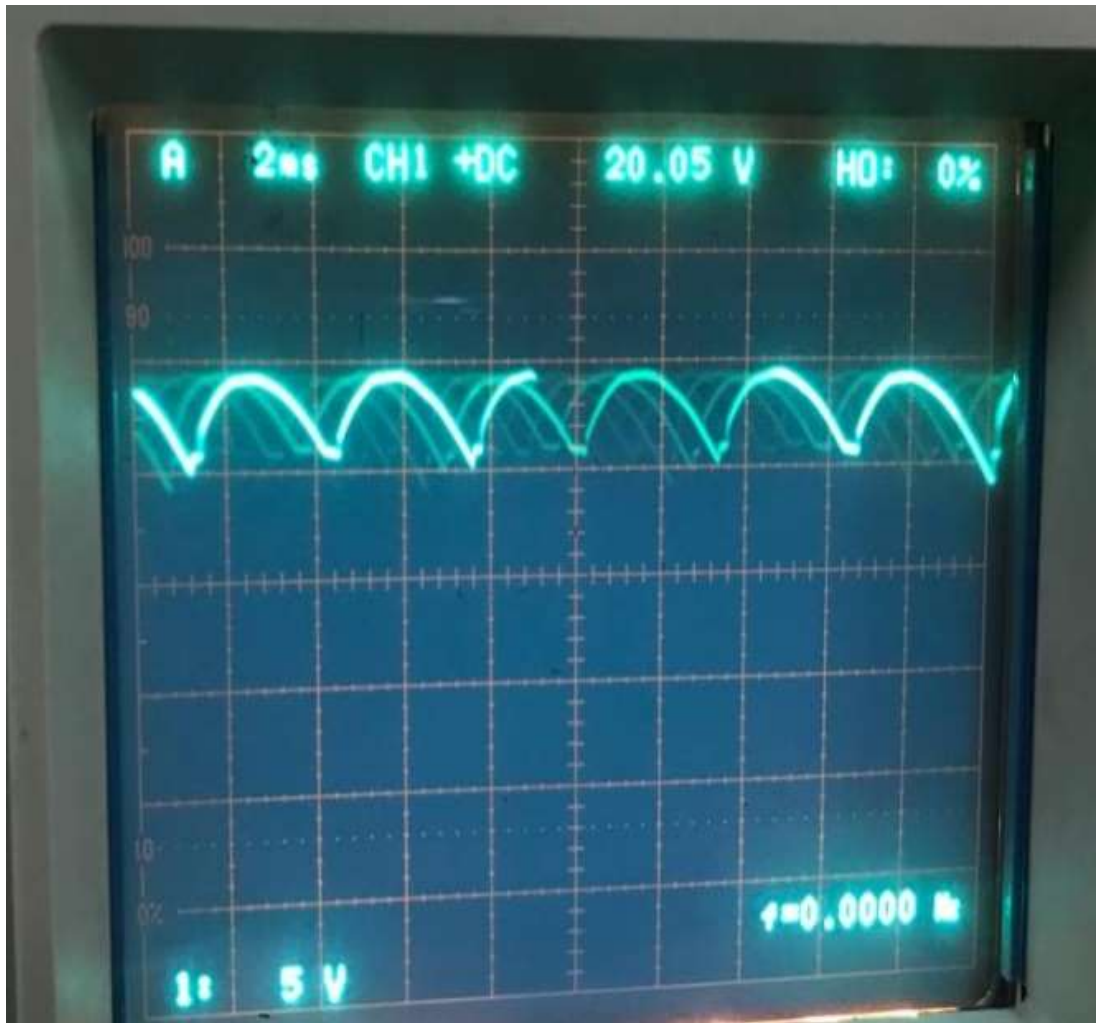
Gambar 4.12 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 115,5 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50\text{V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



Gambar 4.13 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 165 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



Gambar 4.14 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc}= 205,5 \text{ V}$ [$V_s= 90 \text{ V}$, $F_x= 2 \text{ ms/div}$, $F_y= 50 \text{ V/div}$, $R_m= 1 \Omega$]



Gambar 4.15 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban resistif dengan $V_{dc} = 225 \text{ V}$ [$V_s = 90 \text{ V}$, $F_x = 2 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]

1. Perhitungan sudut penyalan thyristor (α) berdasarkan harga rata-rata tegangan beban (V_{dc}) pada beban resistif.

Dari data No.1 Tabel 4.2 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.11

$$V_s = 90 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 63 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar (Makmur dan Destryan Topayung, 2012):

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{63}{0,969} = 65,015 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.11 maka diperkirakan bahwa $60^\circ < \alpha < 180^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-38).

$$V_{dc} = \frac{3V_s(L-L)\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3V_s(L-L)\sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 65,015}{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 115,3^\circ \end{aligned}$$

Dari data No.2 Tabel 4.2 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.12

$$V_s = 90 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 116,5 \text{ V}$$

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{116,5}{0,969} = 119,19 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.12 maka diperkirakan bahwa $60^\circ < \alpha < 180^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-38).

$$V_{dc}' = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)}\sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 119,19}{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 87,1^\circ \end{aligned}$$

Dari data No.3 Tabel 4.2 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.13

$$V_s = 90 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 165 \text{ V}$$

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{165}{0,969} = 170,28 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.13 maka diperkirakan bahwa $60^\circ < \alpha < 180^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-38). Pada $\alpha = 60^\circ$ diperoleh:

$$\begin{aligned}
 V_{dc-60} &= \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \\
 &= \frac{3.168 \cdot \sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos 60^\circ) \\
 &= 170,16 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Karena V_{dc}' lebih besar dari V_{dc-60} maka akan digunakan nilai V_{dc} tanpa koreksi untuk menghitung sudut α .

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}}{3 V_{s(L-L)}\sqrt{2}} - 1 \right) \\
 &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 165}{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\
 &= 62,9^\circ
 \end{aligned}$$

Dari data No.4 Tabel 4.2 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.14

$$V_s = 90 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 205,5 \text{ V}$$

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{205,5}{0,969} = 212,07 \text{ V}$$

Secara teoritis, nilai maksimum V_{dc} menurut persamaan (2-27) adalah pada $\alpha = 0^\circ$, maka:

$$\begin{aligned}
 V_{dc(\max)} &= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos 0^\circ) \\
 &= 210,51 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Karena V_{dc}' di atas lebih besar dari $V_{dc(\max)}$ maka digunakan V_{dc} yang tidak terkoreksi.

$$\begin{aligned}\alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi}{3 V_{s(L-L)}\sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 212,07}{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 29,6^\circ\end{aligned}$$

Dari data No.5 Tabel 4.2 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.15

$$V_s = 90 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 225 \text{ V}$$

$$F_{k-Vdc} = 0,969$$

$$\begin{aligned}V_{dc\text{-max}} &= \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \\ &= \frac{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos 0^\circ) \\ &= 226,88 \text{ V}\end{aligned}$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-Vdc}} = \frac{225}{0,969} = 232,19 \text{ V}$$

Terlihat bahwa V_{dc}' lebih besar dari $V_{dc(\text{max})}$ sehingga akan digunakan nilai V_{dc} tanpa koreksi tanpa menghitung sudut α .

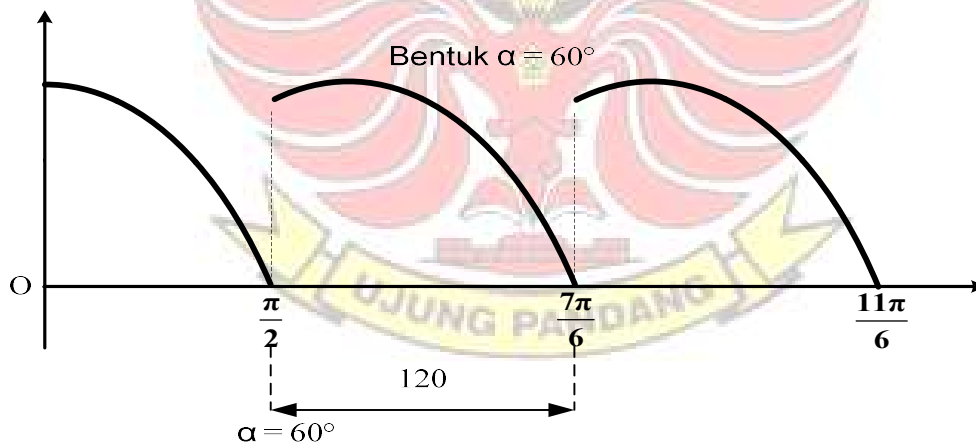
$$\begin{aligned}\alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}}{3 V_{s(L-L)}\sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 225}{3 \cdot 168 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 10,5^\circ\end{aligned}$$

Tabel 4.6 Hasil perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk berbeban resistif, $V_s = 90$ V, berdasarkan nilai V_{dc} .

No.	Persen Potensiogeser (%)	V_{dc}' (V)	α terhitung ($^\circ$)
1	1	0	180
2	9	65,015	115,3
3	25	119,19	87,1
4	41	170,28	62,9
5	57	212,07	29,6
6	73	232,19	10,5
7	100	234,14	0

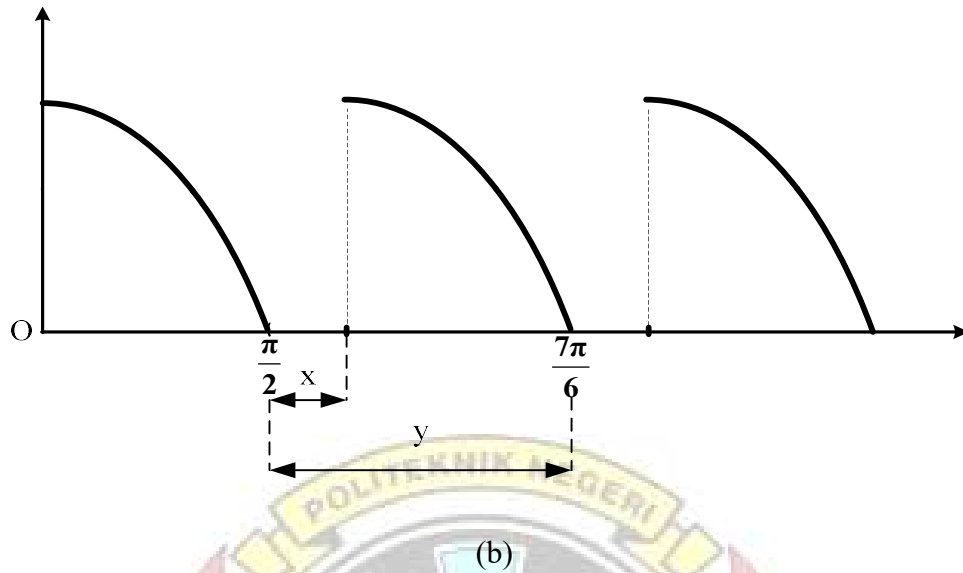
2. Perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) berdasarkan gambar bentuk gelombang untuk berbeban resistif.

Cara menghitung sudut α dari bentuk gelombang adalah sebagai berikut. Untuk perkiraan $60^\circ < \alpha < 180^\circ$ maka diambil acuan bentuk gelombang pada $\alpha = 60^\circ$.



(a)

Gambar 4.16 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif. (a) $\alpha = 60^\circ$. (b) Untuk $60^\circ < \alpha < 180^\circ$



Gambar 4.16 (Lanjutan)

Gambar 4.16 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif. (a) $\alpha = 60^\circ$ (b) untuk $60^\circ < \alpha < 180^\circ$

Pada suatu keadaan pada Gambar 4.16 (b), diukur berapa panjang x dan y. maka:

$$\alpha = \frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \dots\dots\dots(4-3)$$

Dalam hal ini:

x = tambahan sudut penyalan setelah $\alpha = 60^\circ$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

Dari Gambar 4.11

Berdasarkan Gambar 4.11 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

$$x = 12 \text{ mm}$$

$$y = 23 \text{ mm}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= \frac{12}{23} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= 122,6^\circ\end{aligned}$$

Dari Gambar 4.12

Berdasarkan Gambar 4.12 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

$$x = 6 \text{ mm}$$

$$y = 21 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= \frac{6}{21} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= 94,28^\circ\end{aligned}$$

Dari Gambar 4.13

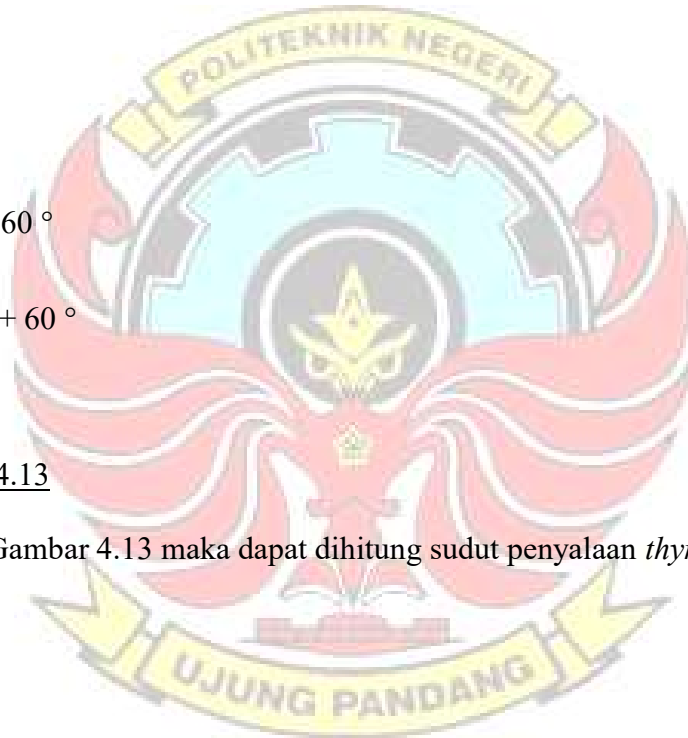
Berdasarkan Gambar 4.13 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

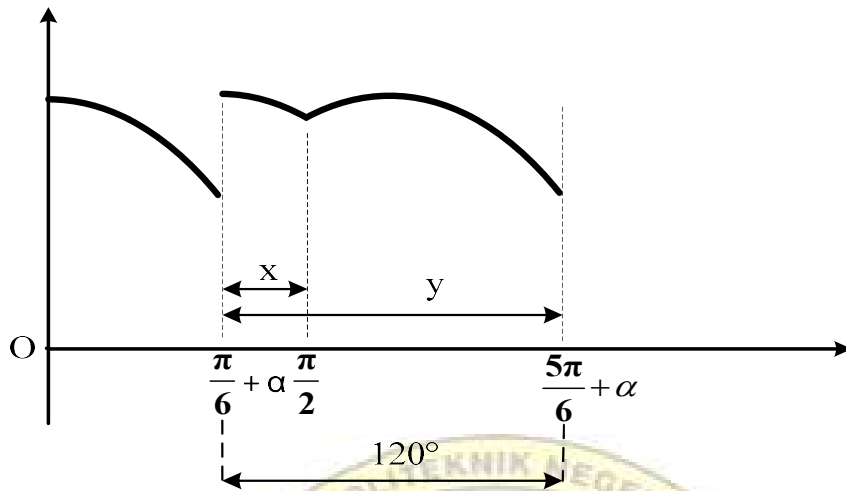
$$x = 1 \text{ mm}$$

$$y = 21 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= \frac{1}{21} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= 65,71^\circ\end{aligned}$$





Gambar 4.17 Bentuk gelombang keluaran pada beban resistif untuk $0^\circ < \alpha < 60^\circ$

x = panjang mendatar dari $(60^\circ - \alpha)$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

Dari Gambar 4.14

Berdasarkan Gambar 4.14 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

$$x = 5 \text{ mm}$$

$$y = 21 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \alpha &= -\frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= \frac{-5}{21} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= 31,42^\circ \end{aligned}$$

Dari Gambar 4.15

Berdasarkan Gambar 4.15 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

$$x = 9 \text{ mm}$$

$$y = 19 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \alpha &= -\frac{x}{y} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= \frac{-10}{19} \cdot 120^\circ + 60^\circ \\ &= 3,15^\circ \end{aligned}$$

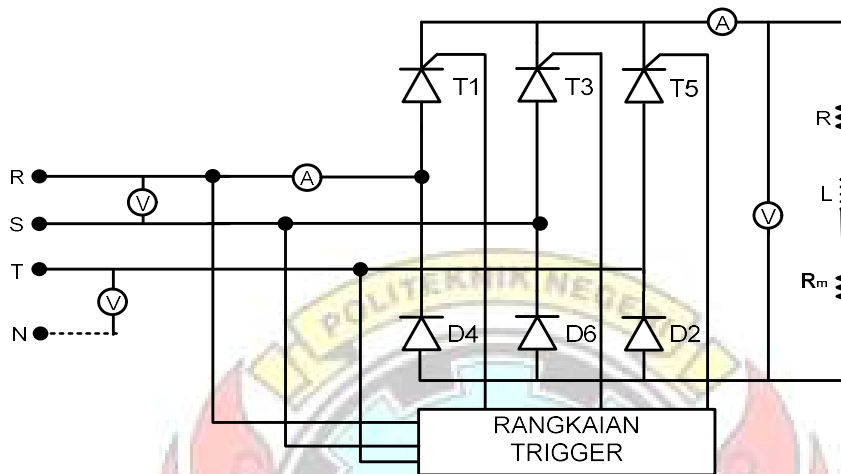
Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk bebahan resistif, $V_s = 90 \text{ V}$, berdasarkan bentuk gelombang tegangan keluaran.

No.	Persen Potensiogeser (%)	V_{dc} (V)	Nomor Gambar	α terhitung ($^\circ$)
1	1	0	-	180
2	9	65,015	4.11	122,6
3	25	119,19	4.12	94,28
4	41	170,28	4.13	65,71
5	57	212,07	4.14	31,42
6	73	232,19	4.15	3,15
7	100	234,14	-	0

4.2.3 Hasil Pengujian Semikonverter Tiga-Fasa Berbeban Induktif dan Pembahasan

Diagram rangkaian pengujian diperlihatkan dalam Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Diagram rangkaian pengujian semikonverter tiga-fasa berbeban induktif

Dalam hal ini $R =$ resistansi beban $= 420 \Omega$. Induktornya berupa ballast lampu TL data sebagai berikut:

$$P = 20 \text{ W}$$

$$V = 220 \text{ V} - 240 \text{ V}$$

$$I = 0,37 \text{ A}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Data hasil pengukuran alat ukur diperlihatkan dalam Tabel 4.5, sedangkan bentuk-bentuk gelombangnya diperlihatkan dalam Gambar 4.19 sampai Gambar 4.32. Secara aktual alat kontrol dapat menghasilkan nilai α pada 0° dan 180° namun bentuk-bentuk gelombang yang muncul tidak stabil sehingga hanya bentuk gelombang untuk dalam jangkauan $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ yang diamati.

Tabel 4.8 Hasil pengujian berbeban induktif

No	Persen potensio geser (%)	I_s (A)	$I_{s(av)}$ (A)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan keluaran			Arus beban	
						$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$V_{rms}^{***)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1	≈100	0,70	0	120	220,5	297,8	298	n/a	0,87	1,54
2	76	0,64	0	120	220,5	294	295	n/a	0,78	1,4
3	63	0,61	0	120	220,5	285	290	n/a	0,72	1,28
4	52	0,55	0	120	220,5	264	270	n/a	0,64	1,14
5	44	0,5	0	120	220,5	234	250	n/a	0,58	1
6	9	0,2	0	120	220,5	81	130	180	0,22	0,36
7	<1	0	0	120	220,5	0	0	0	0	0

Ket : *) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari

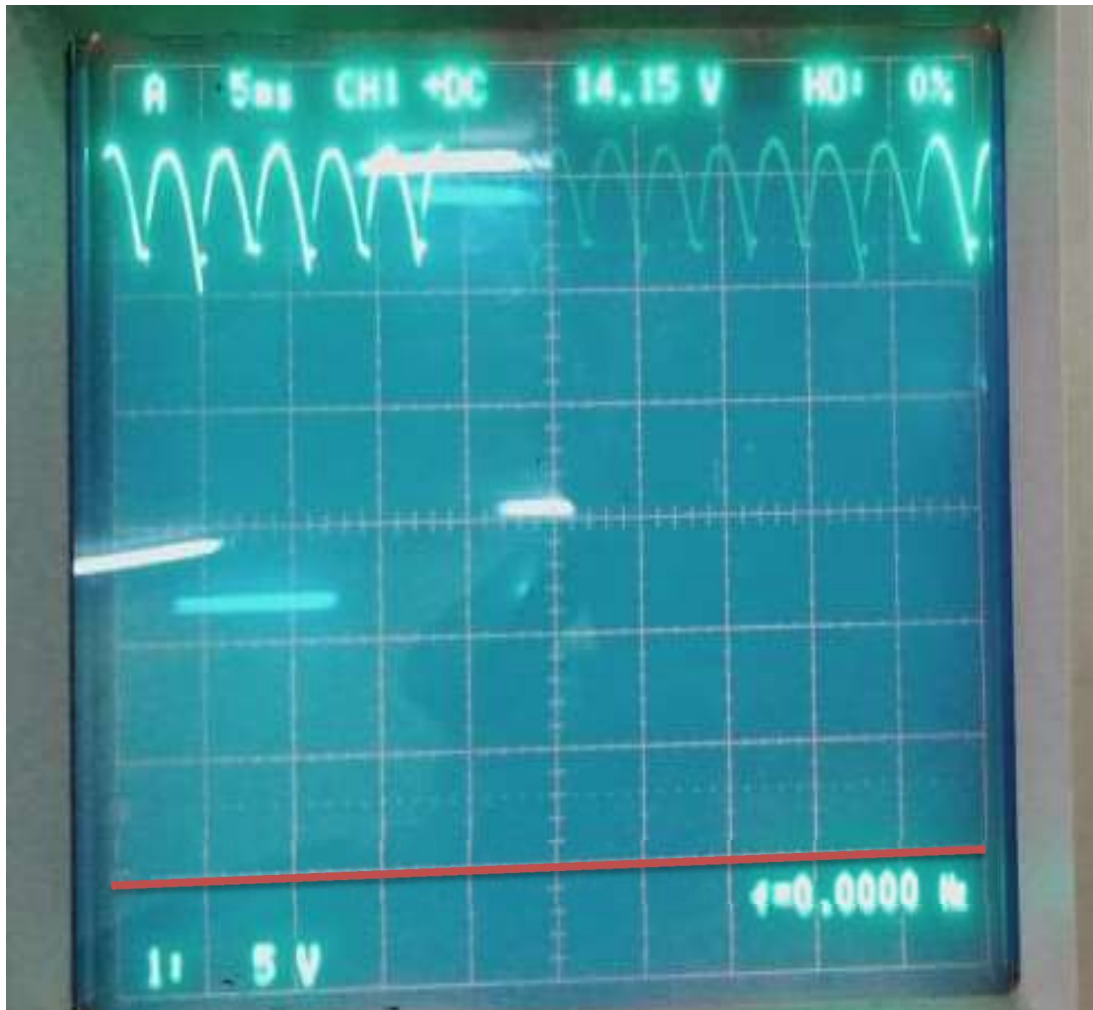
***) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta

****) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari

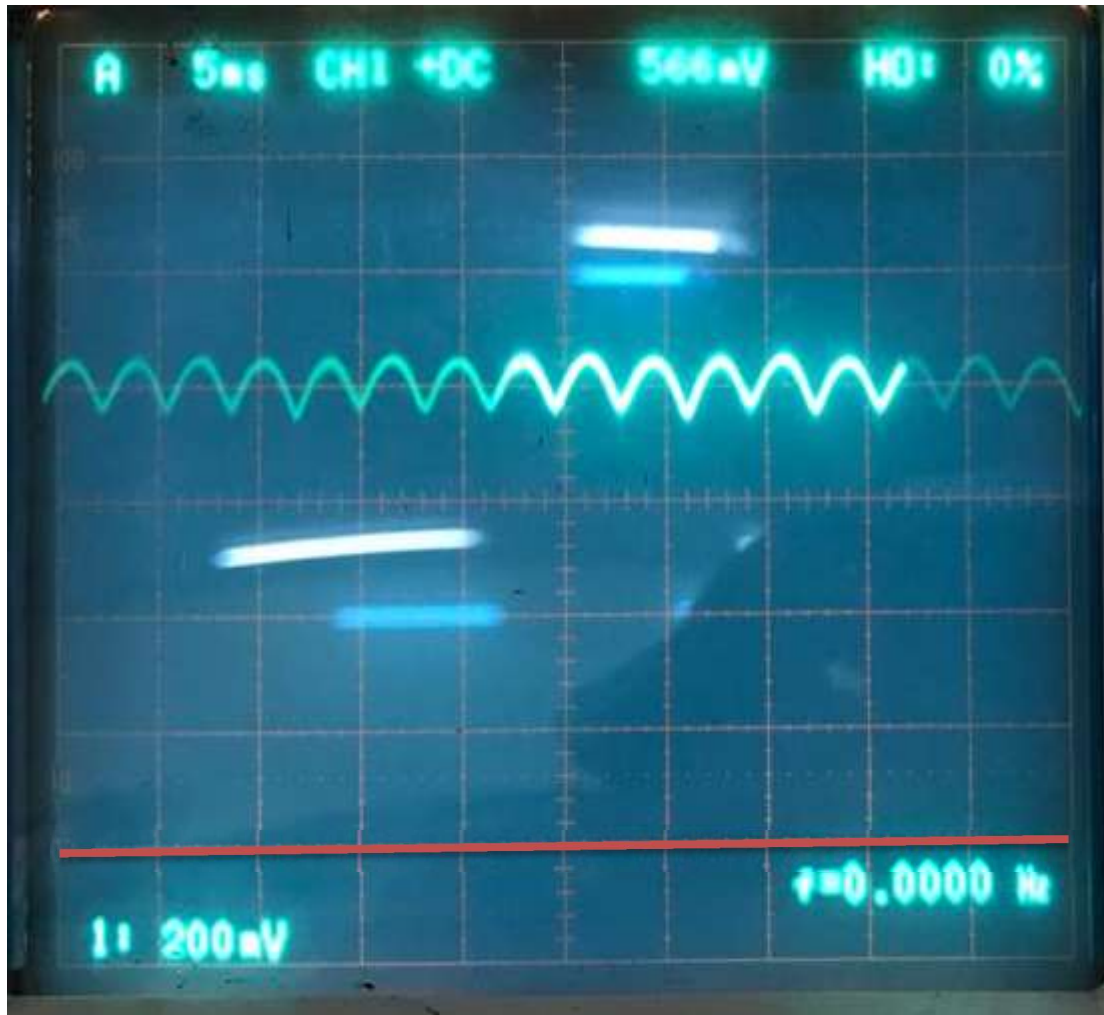
Potensiogeser adalah $R_p = 100 \text{ k}\Omega$ pada rangkaian kontrol (Lampiran C)

Data nomor 1 dan 7 adalah secara teoritis

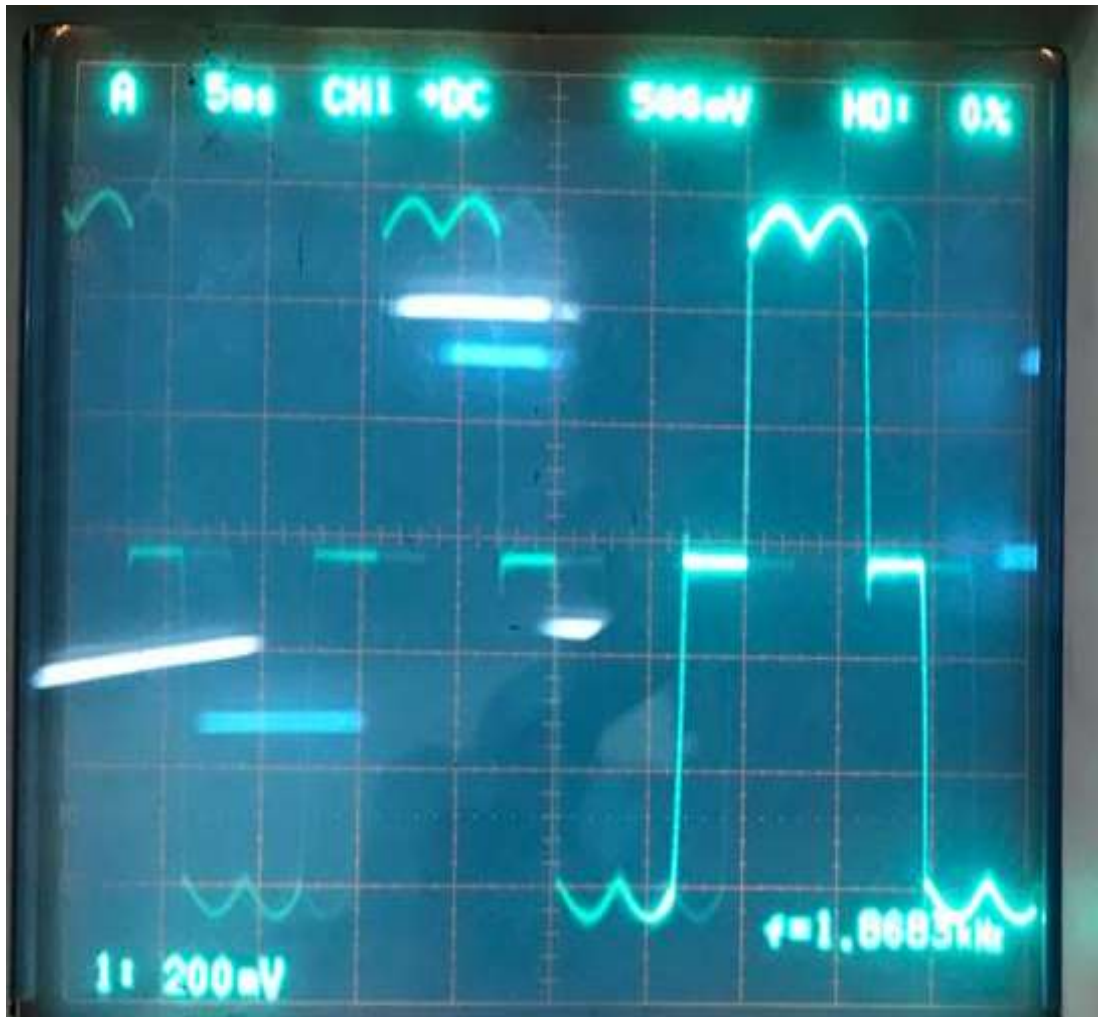




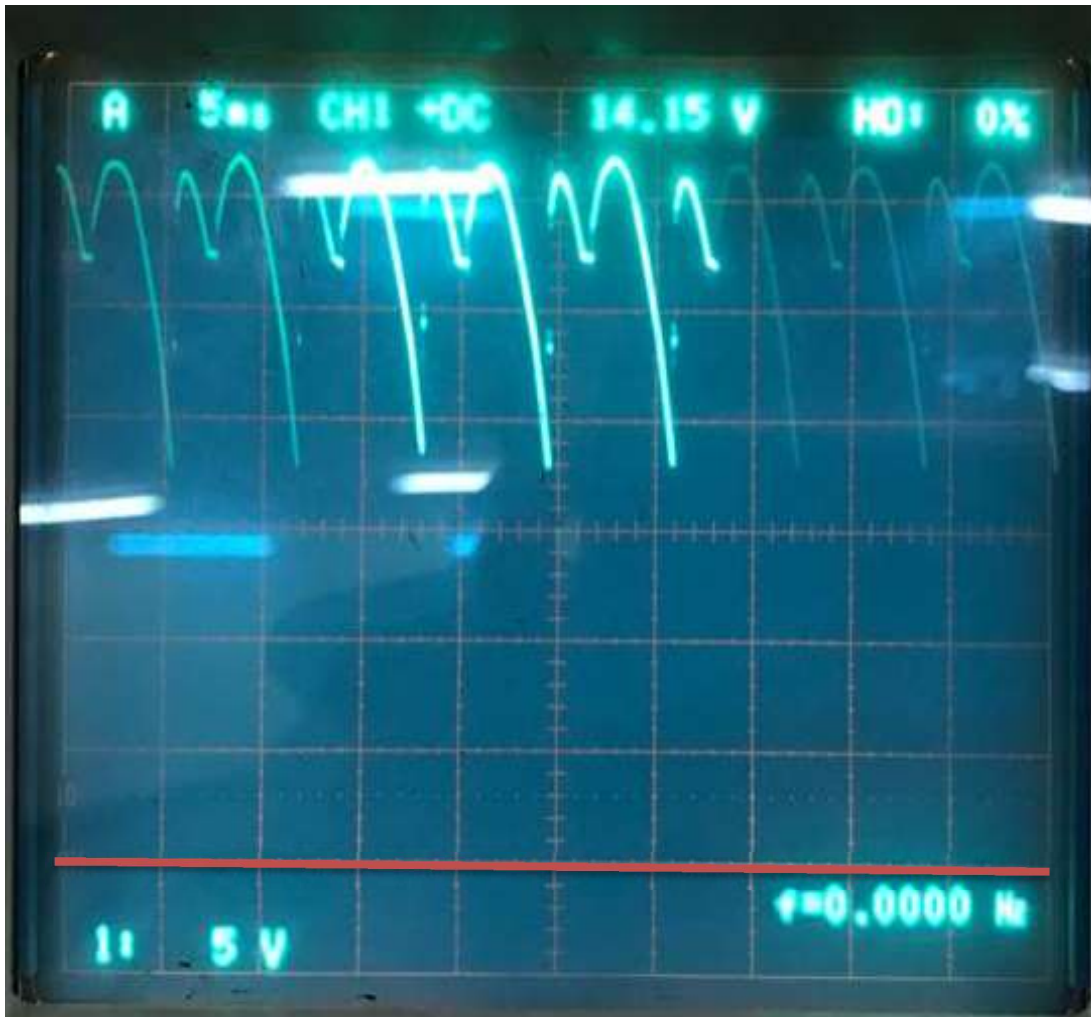
Gambar 4.19 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 294 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



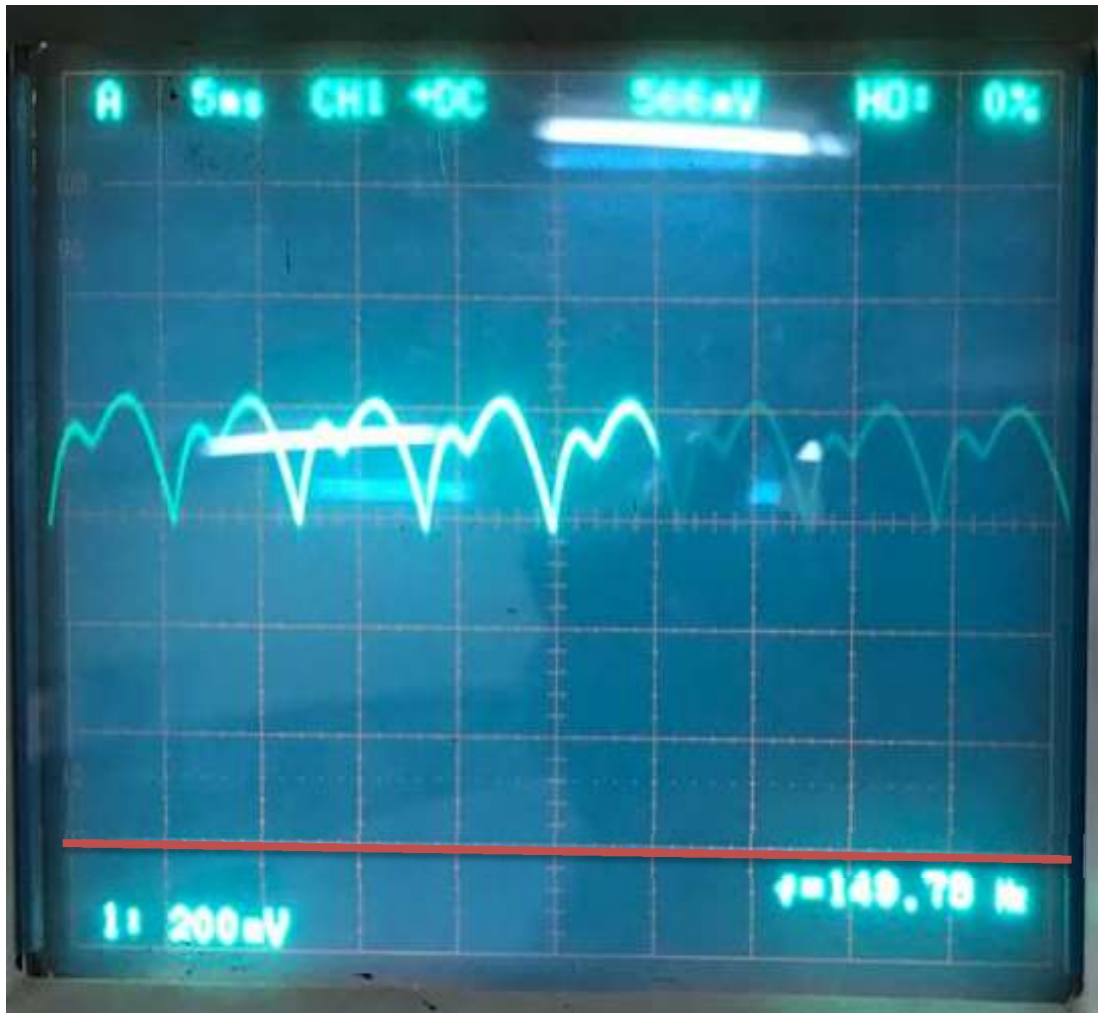
Gambar 4.20 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,78 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



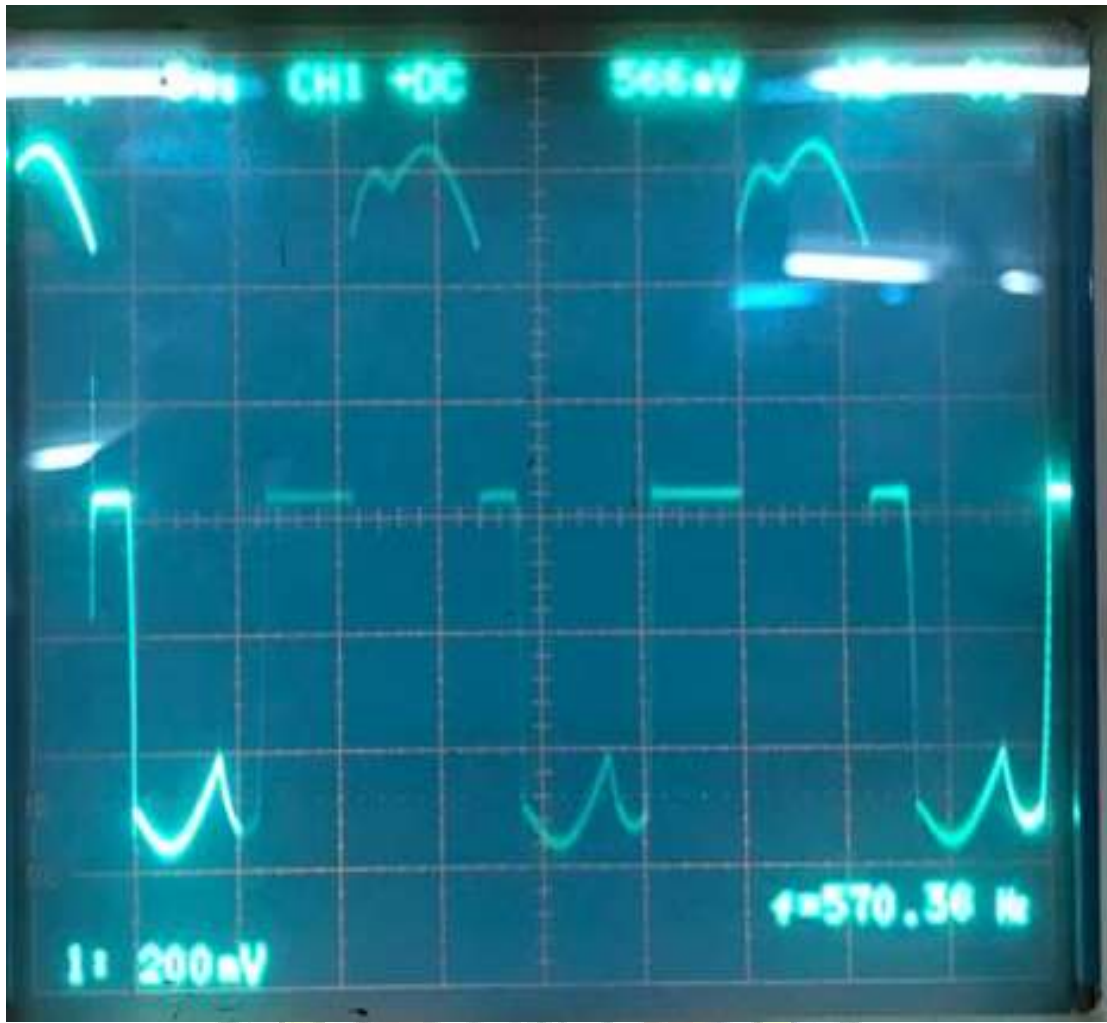
Gambar 4.21 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,78 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1 \Omega$]



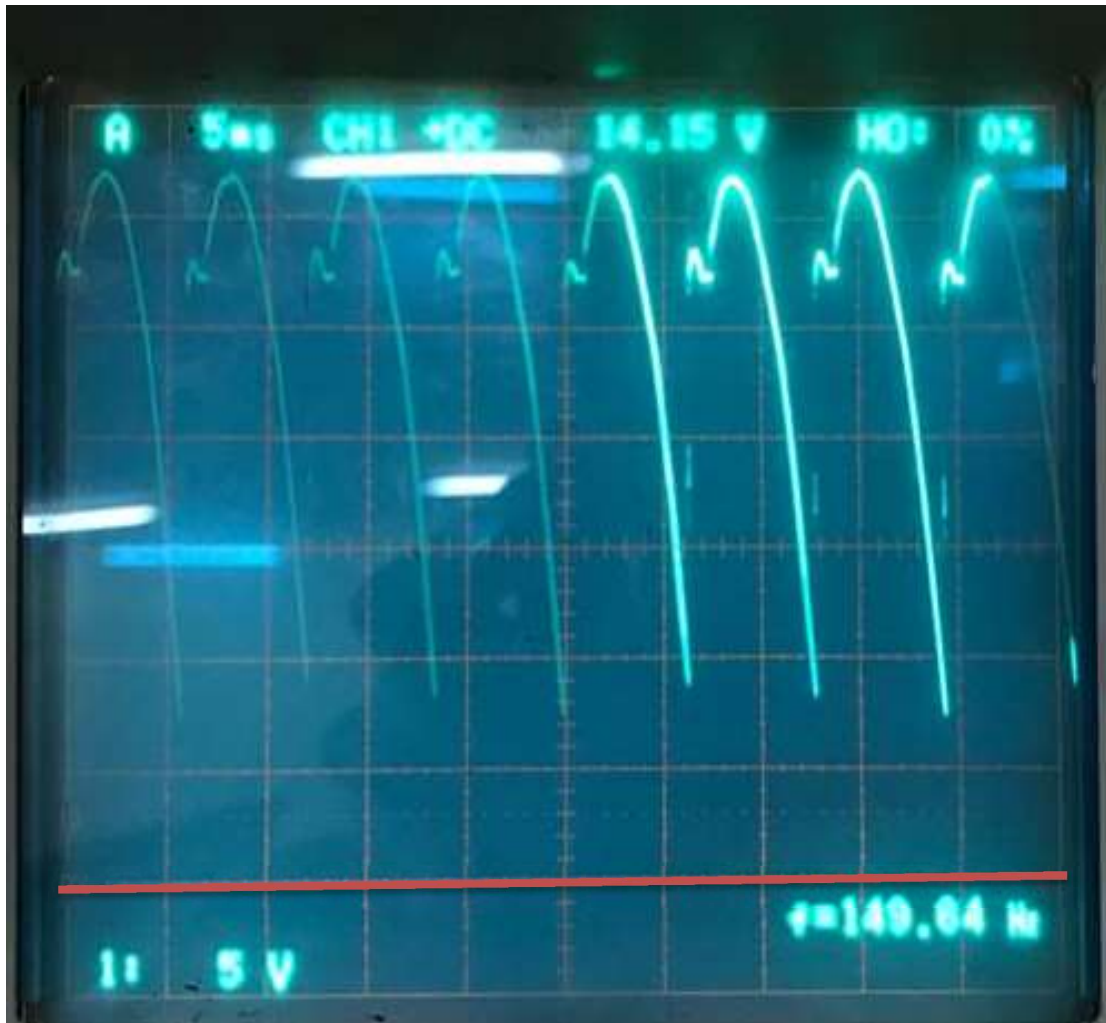
Gambar 4.22 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 285 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



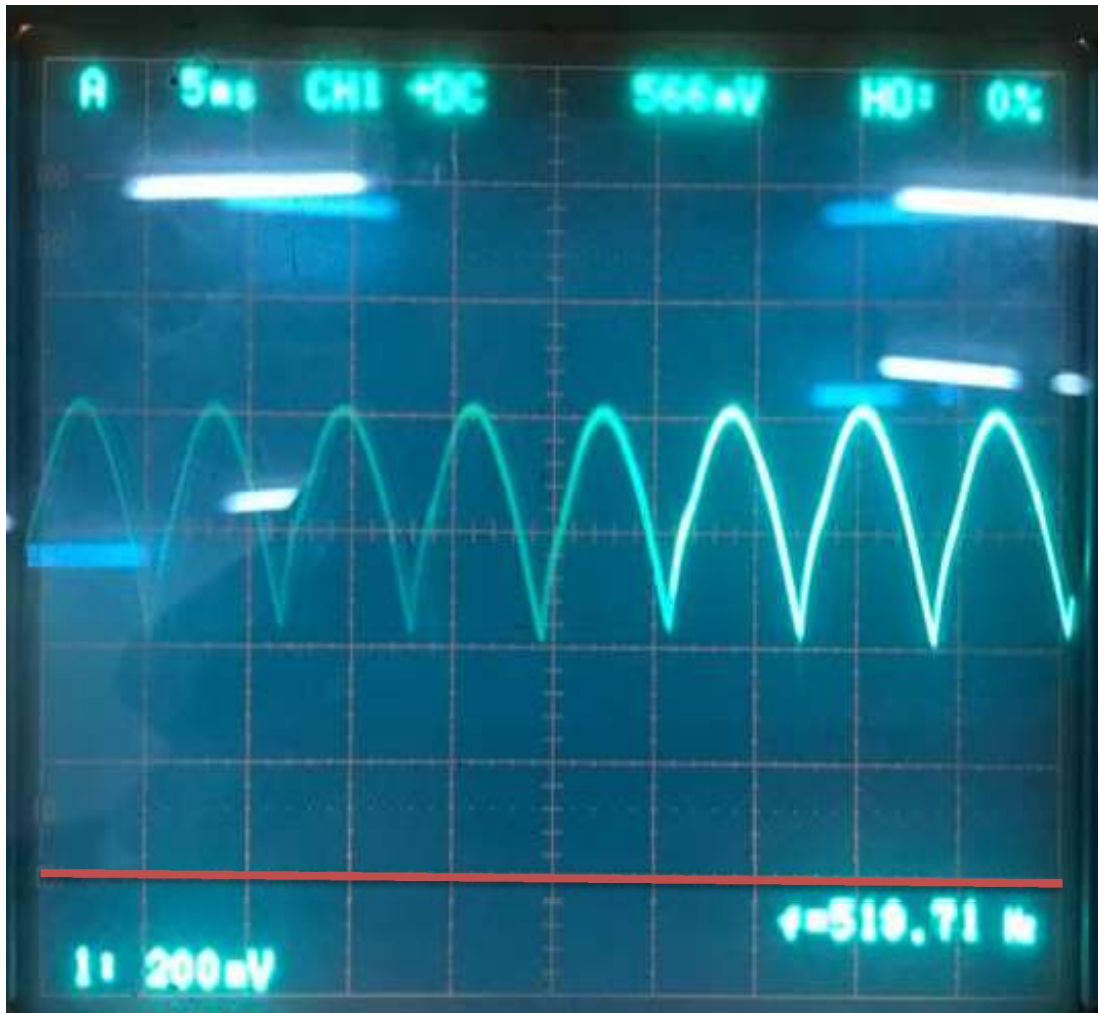
Gambar 4.23 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,72 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



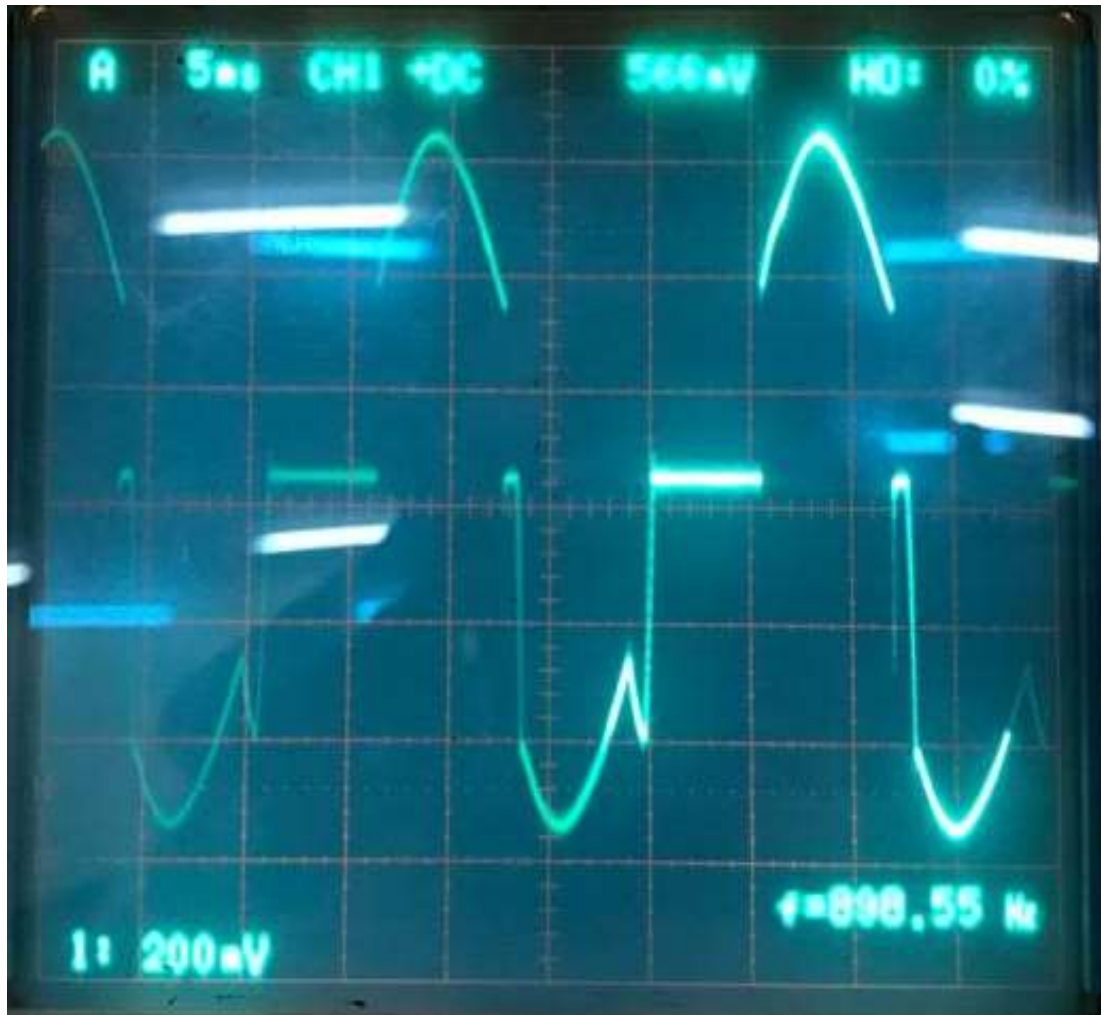
Gambar 4.24 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa
berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,72 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



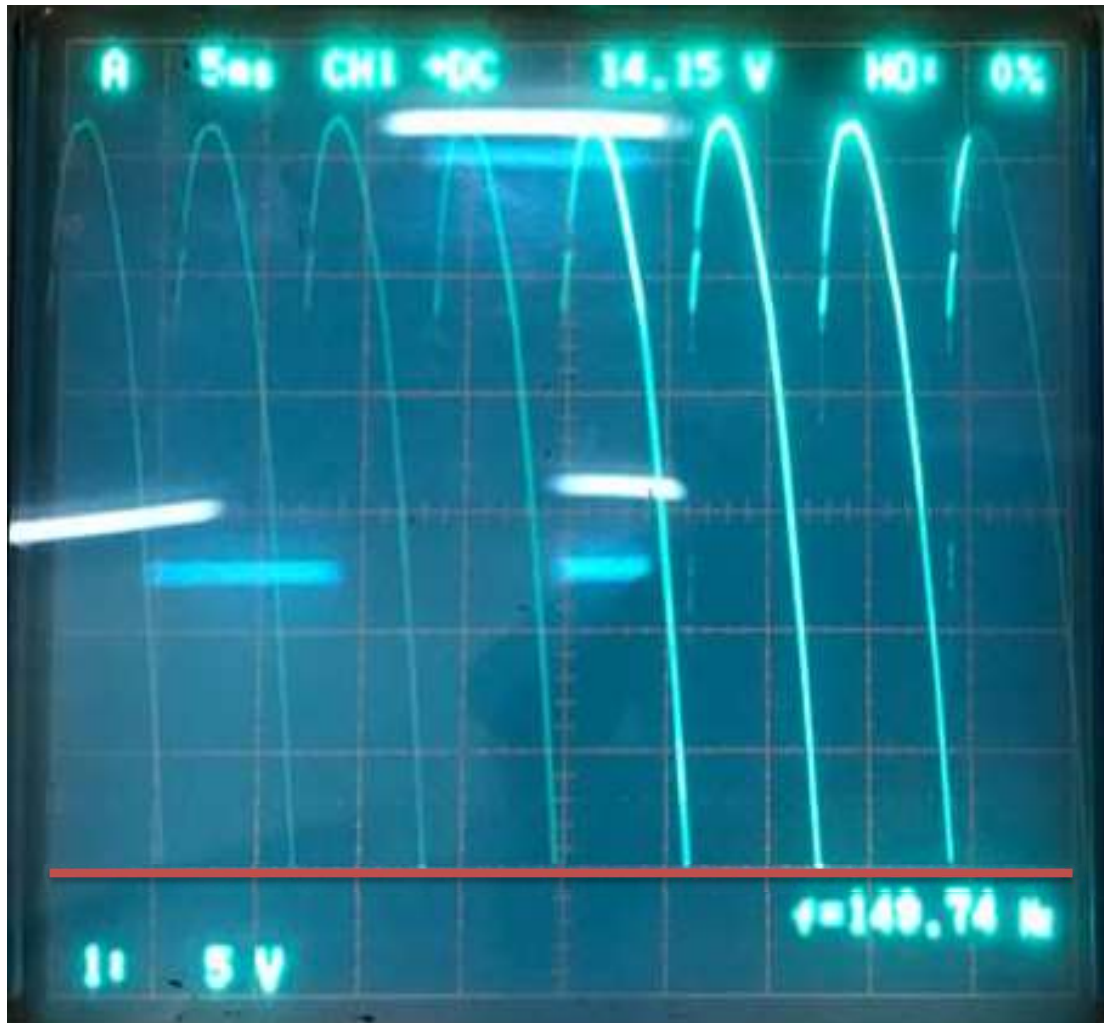
Gambar 4.25 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 264 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



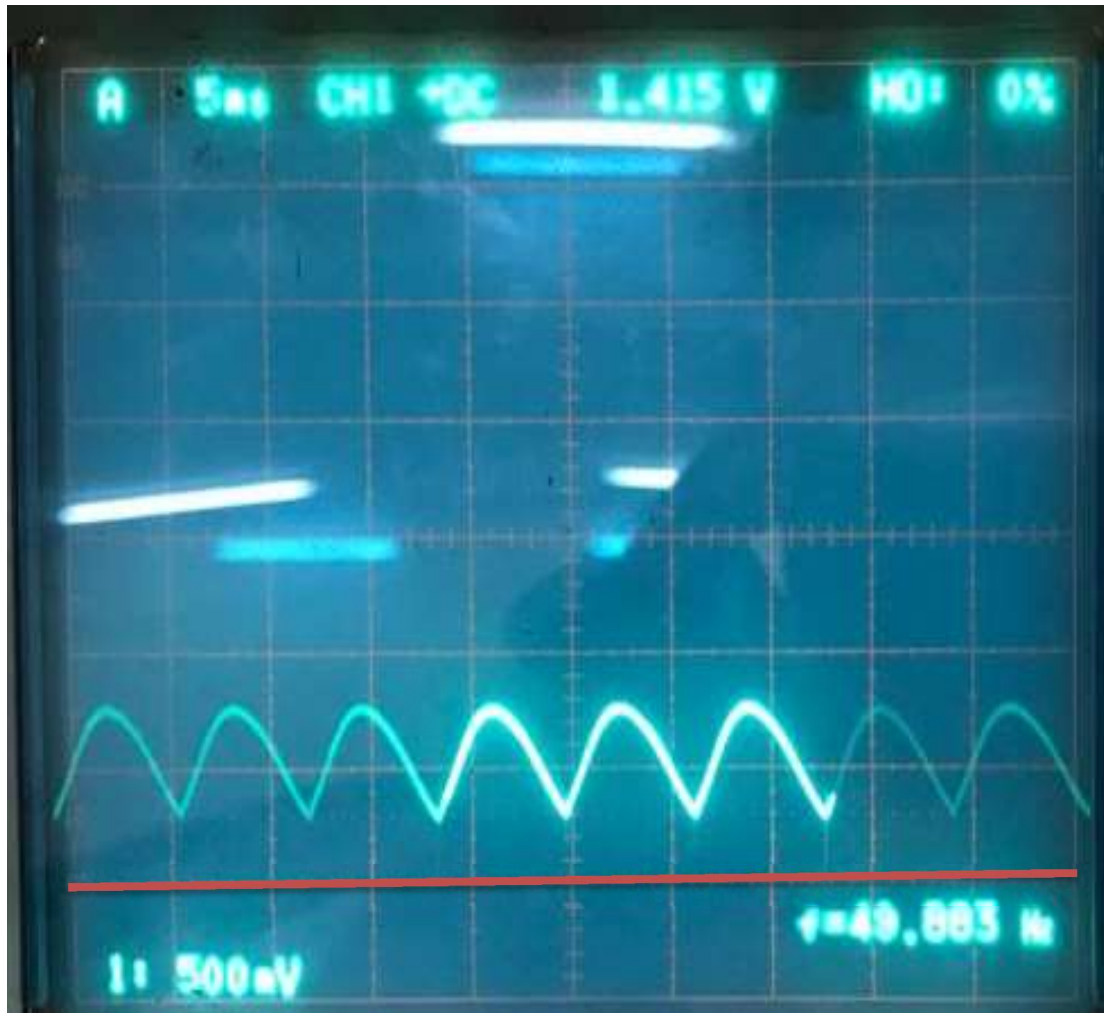
Gambar 4.26 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,64$ A [$V_s = 120$ V, $F_x = 5$ ms/div, $F_y = 2$ V/div, $R_m = 1\Omega$]



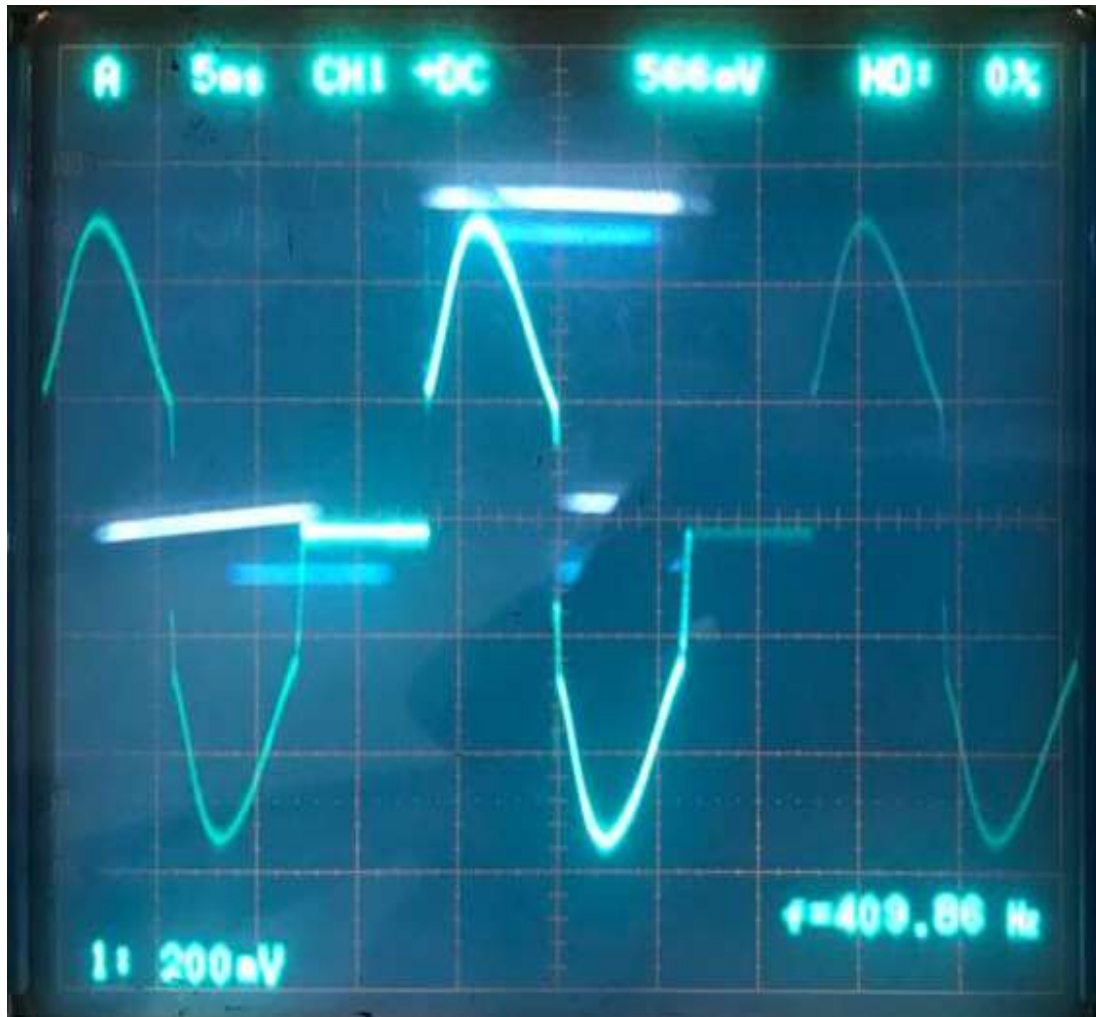
Gambar 4.27 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,64 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



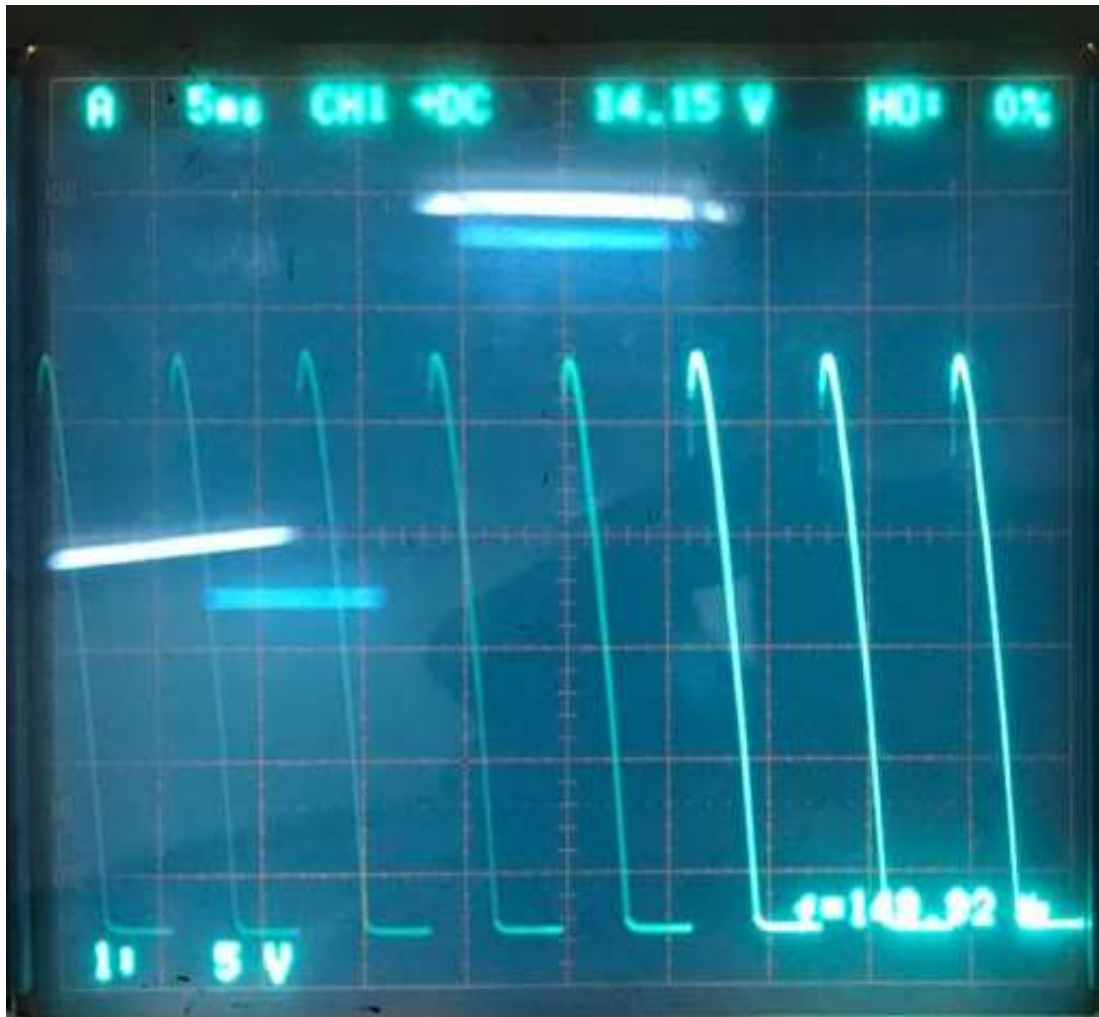
Gambar 4.28 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 234 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



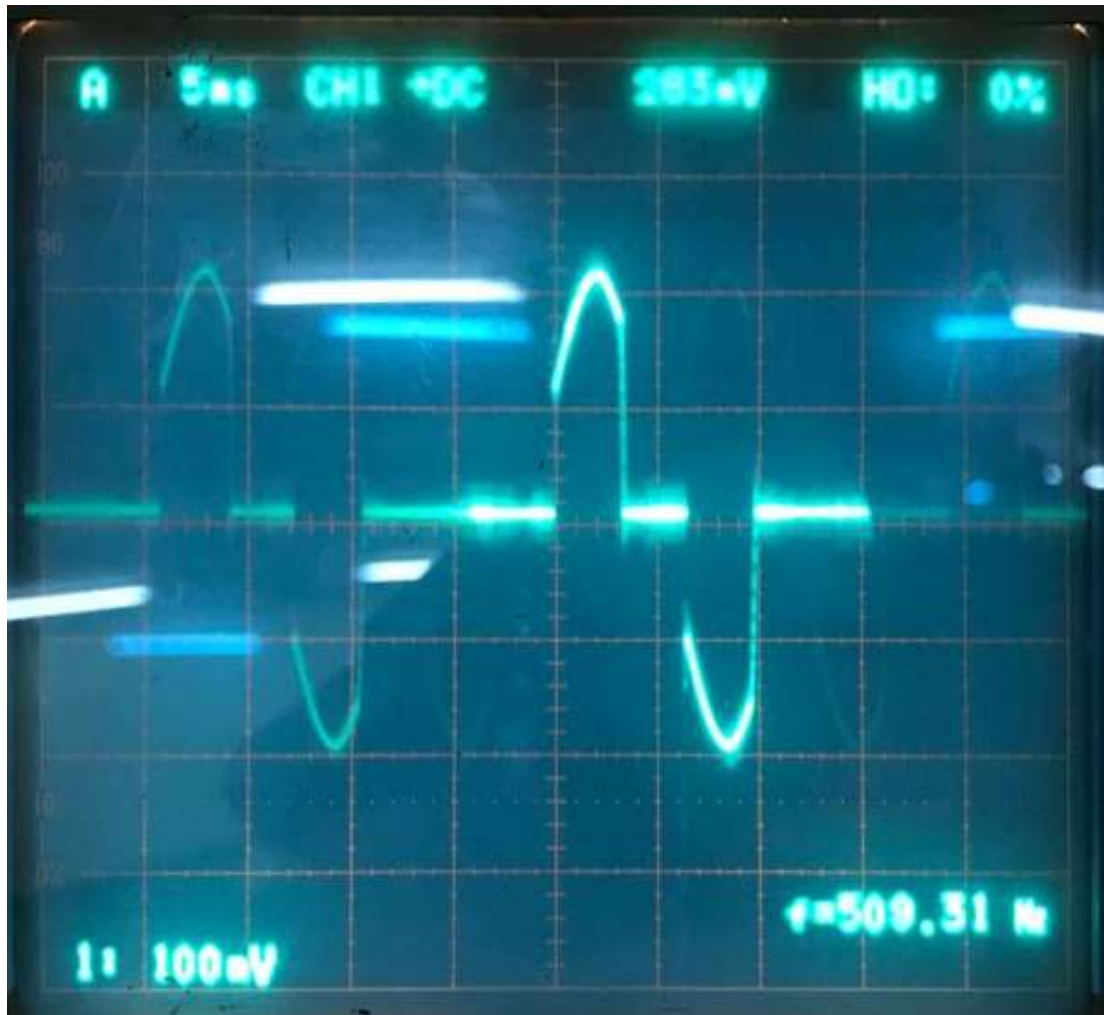
Gambar 4.29 Bentuk gelombang arus beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,58 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 5 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



Gambar 4.30 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,58 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 2 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



Gambar 4.31 Bentuk gelombang tegangan beban dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $V_{dc} = 81 \text{ V}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]



Gambar 4.32 Bentuk gelombang arus masukan dari semikonverter tiga-fasa berbeban induktif dengan $I_{dc} = 0,22 \text{ A}$ [$V_s = 120 \text{ V}$, $F_x = 5 \text{ ms/div}$, $F_y = 50 \text{ V/div}$, $R_m = 1\Omega$]

1. Perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) berdasarkan harga rata-rata tegangan beban (V_{dc}) pada beban induktif.

Dari data No.1 Tabel 4.5 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.19, 4.20 dan 4.21.

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 294 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar (Makmur dan Destryan Topayung, 2012):

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{294}{0,969} = 303,41 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.19 maka diperkirakan bahwa $0^\circ < \alpha < 60^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-27).

$$V_{dc}' = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)} \sqrt{2}} - 1 \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 303,41}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right)$$

$$= \text{tidak terdefinisi}$$

Karena didapatkan nilai α tidak terdefinisi maka digunakan V_{dc} (tidak terkoreksi).

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 294}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right)$$

$$= 12,94^\circ$$

Dari data No.2 Tabel 4.5 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.22, 4.23 dan 4.24.

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 285 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar:

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{285}{0,969} = 294,12 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.22 maka diperkirakan bahwa $0^\circ < \alpha < 60^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-27).

$$V_{dc}' = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)} \sqrt{2}} - 1 \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 294,12}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right)$$

$$= 12,72^\circ$$

Dari data No.3 Tabel 4.5 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.25, 4.26 dan 4.27.

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 264 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar:

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{264}{0,969} = 272,45 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.25 maka diperkirakan bahwa $0^\circ < \alpha < 60^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-27).

$$V_{dc}' = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)} \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 272,45}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 33,91^\circ \end{aligned}$$

Dari data No.4 Tabel 4.5 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.28, 4.29 dan 4.30.

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 234 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar:

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{234}{0,969} = 241,49 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.28 maka diperkirakan bahwa $0^\circ < \alpha < 60^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-27).

$$V_{dc}' = \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Dan didapatkan:

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)} \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 241,49}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} - 1 \right) \\ &= 51,54^\circ \end{aligned}$$

Dari data No.5 Tabel 4.5 :

Bentuk gelombang yang bersesuaian diperlihatkan dalam Gambar 4.31 dan 4.32.

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$V_{dc} = 81 \text{ V}$$

Dalam alat ukur yang dipakai terdapat faktor koreksi sebesar:

$$F_{k-V_{dc}} = 0,969$$

Maka:

$$V_{dc}' = \frac{V_{dc}}{F_{k-V_{dc}}} = \frac{81}{0,969} = 83,61 \text{ V}$$

Berdasarkan Gambar 4.31 maka diperkirakan bahwa $60^\circ < \alpha < 180^\circ$ sehingga berlaku persamaan (2-27).

$$V_{dc}' = \frac{9V_s\sqrt{2}}{2\pi} \left(\sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right) = \frac{3V_{s(L-L)}\sqrt{2}}{2\pi} \left(\sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right)$$

Dan didapatkan:

$$\begin{aligned} \alpha &= 120^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{2\pi V_{dc}'}{3 V_{s(L-L)} \sqrt{2}} \right) \\ &= 120^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{2\pi \cdot 83,61}{3 \cdot 220,5 \cdot \sqrt{2}} \right) \\ &= 85,84^\circ \end{aligned}$$

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan sudut penyalakan *thyristor* (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk berbeban induktif, $V_s = 120$ V, berdasarkan nilai V_{dc} .

No.	Persen Potensiogeser (%)	V_{dc}' (V)	α terhitung ($^\circ$)
1	100	307,31	0
2	76	303,41	12,94
3	63	294,12	12,72
4	52	272,45	33,91
5	44	241,49	54
6	9	83,61	85,84
7	1	0	180

2. Perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) berdasarkan bentuk gelombang untuk berbeban induktif

Dari Gambar 4.19

Berdasarkan Gambar 4.19 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

x = panjang mendatar dari $(60^\circ - \alpha)$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

$$x = 7 \text{ mm}$$

$$y = 14,5 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\alpha &= 60^\circ - \frac{x}{y} \cdot 120^\circ \\ &= 60^\circ - \frac{7}{14,5} \cdot 120^\circ \\ &= 2,07^\circ\end{aligned}$$

Dari Gambar 4.22

Berdasarkan Gambar 4.22 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

x = panjang mendatar dari $(60^\circ - \alpha)$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

$$x = 6 \text{ mm}$$

$$y = 17 \text{ mm}$$

Maka:

$$\begin{aligned}\alpha &= 60^\circ - \frac{x}{y} \cdot 120^\circ \\ &= 60^\circ - \frac{6}{17} \cdot 120^\circ\end{aligned}$$

$$= 17,64^\circ$$

Dari Gambar 4.25

Berdasarkan Gambar 4.25 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

x = panjang mendatar dari $(60^\circ - \alpha)$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

$$x = 3 \text{ mm}$$

$$y = 17 \text{ mm}$$

Maka:

$$\alpha = 60^\circ - \frac{x}{y} \cdot 120^\circ$$

$$= 60^\circ - \frac{3}{17} \cdot 120^\circ$$

$$= 38,82^\circ$$

Dari Gambar 4.28

Berdasarkan Gambar 4.28 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

x = tambahan sudut penyalan setelah $\alpha = 60^\circ$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

$$x = 6 \text{ mm}$$

$$y = 17 \text{ mm}$$

Maka:

$$\alpha = 60^\circ + \frac{x}{y} \cdot 120^\circ$$

$$= 60^\circ + \frac{0,5}{35} \cdot 120^\circ$$

$$= 61,71^\circ$$

Dari Gambar 4.31

Berdasarkan Gambar 4.31 maka dapat dihitung sudut penyalan *thyristor* (α)

x = tambahan sudut penyalan setelah $\alpha = 60^\circ$ pada bentuk gelombang

y = panjang mendatar dari 120° pada bentuk gelombang

$$x = 9 \text{ mm}$$

$$y = 34,5 \text{ mm}$$

Maka:

$$\alpha = 60^\circ + \frac{x}{y} \cdot 120^\circ$$

$$= 60^\circ + \frac{9}{34,5} \cdot 120^\circ$$

$$= 91,30^\circ$$

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil perhitungan sudut penyalan *thyristor* (α) pada semikonverter tiga-fasa untuk berbeban induktif, $V_s = 120 \text{ V}$, berdasarkan bentuk gelombang tegangan keluaran.

No.	Persen Potensiogeser (%)	V_{dc} (V)	Nomor Gambar	α terhitung ($^\circ$)
1	100	307,31	-	0
2	76	303,41	4.19	2,07
3	63	294,12	4.22	17,64
4	52	272,45	4.25	38,82
5	44	241,49	4.28	61,71

Tabel 4.10 (Lanjutan)

6	9	83,61	4,31	91,30
7	1	0	-	180

4.2.4 Menentukan Hubungan antara Persentase Potensiogeser dengan Sudut Penyalaan (α) *Thyristor*

Dapat dirangkum persentase potensiogeser dan sudut penyalaan *thyristor* dari Tabel

4.5, Tabel 4.7, Tabel 4.8 dan Tabel 4.10

Tabel 4.11 Persentase potensiogeser dan sudut penyalaan terhitung berdasarkan bentuk gelombang dari semikonverter tiga-fasa

No.	Beban Resistif		Beban Induktif	
	Persentase potensiogeser, p (%)	α (°)	Persentase potensiogeser, p (%)	α (°)
1	1	180	1	180
2	9	122,6	9	91,30
3	25	94,28	44	61,71
4	41	65,71	52	38,82
5	57	31,42	63	17,64
6	73	31,15	76	2,07
7	100	0	100	0

Tabel 4.11 (Lanjutan)

$\Sigma p = 306$	$\Sigma \alpha = 525,16$	$\Sigma p = 345$	$\Sigma \alpha = 391,54$
$\Sigma p^2 = 20966$		$\Sigma p^2 = 24467$	

Akan ditentukan sudut penyalan *thyristor* (α) sebagai fungsi dari persentase potensiogeser (p) dengan metode regresi linear.

α = sudut penyalan *thyristor* ($^\circ$)

p = persentase potensiogeser (%)

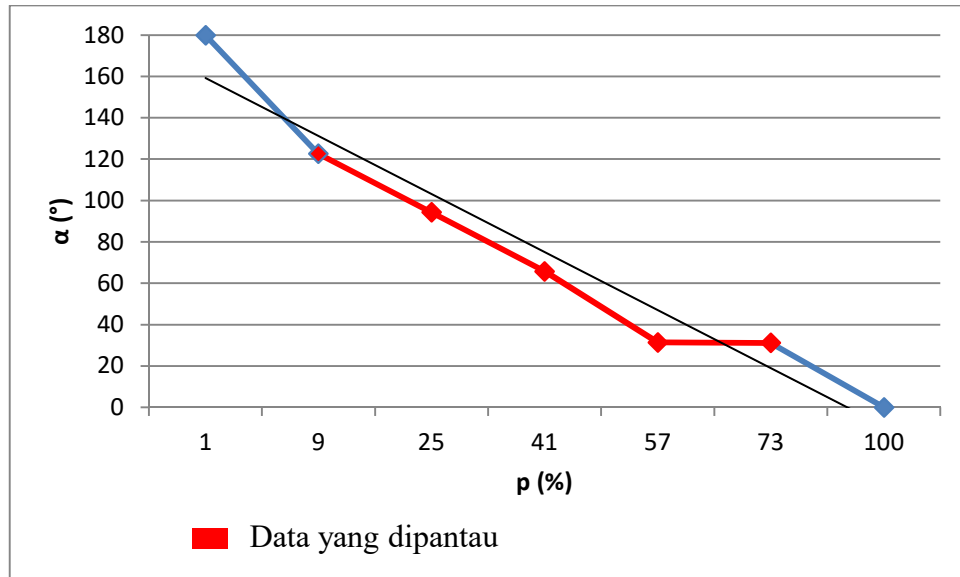
maka dapat ditulis:

$$\alpha = ap + b$$

Akan ditentukan koefisien dan konstanta regresi linear dari persamaan (4-4).

1. Beban Resistif

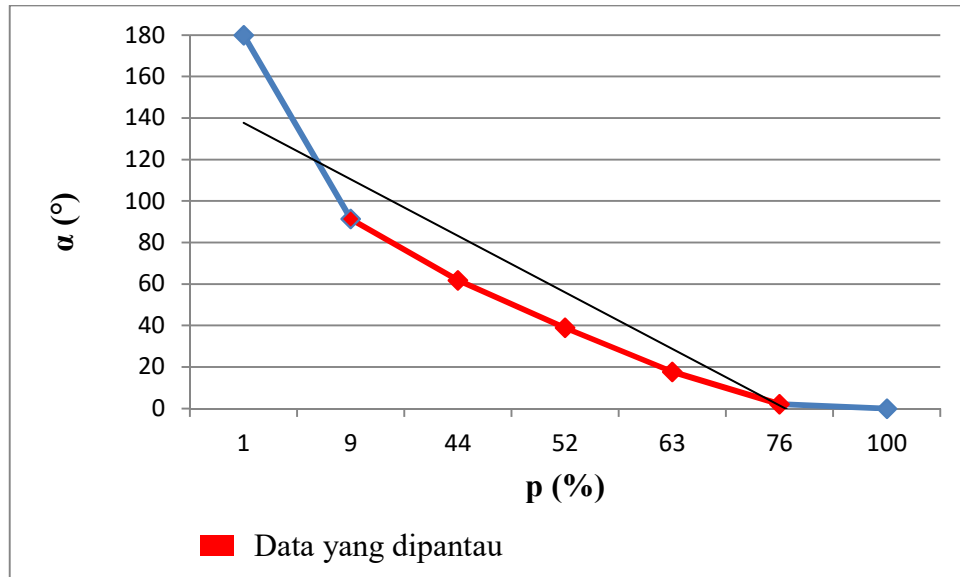
$$\begin{aligned}
 a &= \frac{n(\Sigma p\alpha) - (\Sigma p)(\Sigma \alpha)}{n(\Sigma p^2) - (\Sigma p)^2} \\
 &= \frac{7 \cdot 10399,4 - 306 \cdot 525,16}{7 \cdot 20966 - (306)^2} \\
 &= -1,655 \\
 b &= \frac{(\Sigma \alpha)(\Sigma p^2) - (\Sigma p)(\Sigma p\alpha)}{n(\Sigma p^2) - (\Sigma p)^2} \\
 &= \frac{525,16 \cdot 20966 - 306 \cdot 10399,4}{7 \cdot 20966 - (306)^2} \\
 &= 147,353 \\
 \alpha &= -1,655 p + 147,353
 \end{aligned}$$



Gambar 4.33 Sudut penyalan *thyristor* (α) sebagai fungsi dari persentase potensiogeser (p) untuk semikonverter berbeban resistif. (Pendekatan linear: $\alpha = -1,655p + 147,353$)

2. Beban Induktif

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{n(\sum p\alpha) - (\sum p)(\sum \alpha)}{n(\sum p^2) - (\sum p)^2} \\
 &= \frac{7 \cdot 7004,22 - 345 \cdot 391,54}{7 \cdot 24467 - (345)^2} \\
 &= -1,647 \\
 b &= \frac{(\sum \alpha)(\sum p^2) - (\sum p)(\sum p\alpha)}{n(\sum p^2) - (\sum p)^2} \\
 &= \frac{391,54 \cdot 24467 - 345 \cdot 7004,22}{7 \cdot 24467 - (345)^2} \\
 &= 137,43 \\
 \alpha &= -1,647 p + 137,113
 \end{aligned}$$



Gambar 4.34 Sudut penyalaaan *thyristor* (α) sebagai fungsi dari persentase potensiogeser (p) untuk semikonverter berbeban induktif. (Pendekatan linear: $\alpha = -1,647P + 137,113$)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil rancang bangun dan pembahasan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa :

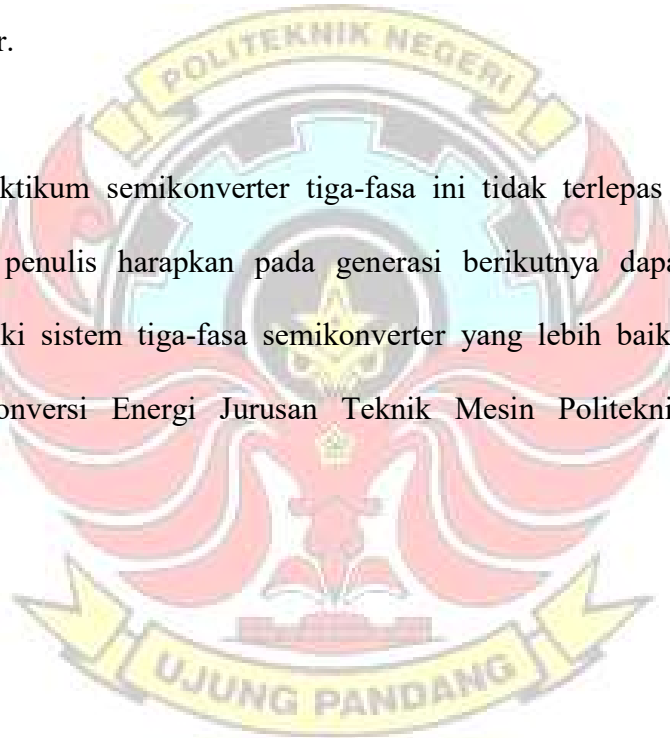
- 1) Telah dibuat modul praktikum semikonverter tiga-fasa untuk lebih mempermudah dalam melaksanakan Praktikum Elektronika Daya di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul yang dibuat dapat beroperasi dengan baik dan menghasilkan bentuk gelombang keluaran yang dapat dikatakan sesuai dengan teori. Didapati pula bahwa alat kontrol *thyristor* (*trigger*) membutuhkan tegangan minimum per fasa sebesar 90 V pada sekunder transformator tiga-fasa untuk dapat memicu *thyristor*. Selain itu, Alat kontrol dari modul yang dibuat mampu memicu *thyristor* pada jangkauan $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ untuk persentase potensiogeser pada alat kontrol yang lebih kecil dari 9 % atau lebih besar dari 76 %, penangkapan bentuk gelombang keluaran semikonverter ini menjadi kurang stabil sehingga pengujian dilakukan dalam jangkauan $9\% \leq p \leq 76\%$ untuk beban induktif, dimana p adalah persentase resistansi potensiogeser pada alat kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut penyalaaan *thyristor* (α) merupakan fungsi linear-invers dari p . Untuk beban resistif diperoleh persamaan $\alpha = -1,655 p + 147,353$ dan untuk beban induktif diperoleh persamaan $\alpha = -1,647 p +$

137,113. Selain itu, modul praktikum yang dibuat dapat juga dipakai untuk percobaan Konverter Tiga-Fasa Setengah Gelombang, karena telah dilengkapi dengan penyaklaran yang sesuai.

- 2) Telah dibuat penuntun (*Job Sheet*) yang melengkapi modul praktikum yang dibuat dan dapat dijadikan sebagai pedoman dalam praktikum semikonverter tiga-fasa agar praktikum dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan prosedur.

5.2 Saran

Modul praktikum semikonverter tiga-fasa ini tidak terlepas dari kekurangan, untuk itu penulis berharap pada generasi berikutnya dapat membuat atau memperbaiki sistem tiga-fasa semikonverter yang lebih baik di Laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Ahmad Antares. 2011. *Rangkaian Penyearah Setengah Terkendali Tiga-Fasa untuk Pengendalian Karakteristik Motor Arus Searah Shunt*. Palu: Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako. (online). Diakses Oktober 2019.
- Dariati, Rheni. 2006. *Analisa Harmonisa Konverter AC-AC Tiga-Fasa*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. (online). Diakses Desember 2019.
- Davis, R. M. 1971. *Power Diode and Thyristor Circuits*. London: Cambridge at the University Press, and the Institution of Electrical Engineers.
- Franager, Adithya dkk. 2016. *Perancangan Transformator Satu Fasa dan Tiga Fasa Menggunakan Perangkat Lunak Komputer*. Riau: Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau. (online). Diakses Januari 2020
- Hakim, Lukmanul dkk. 2011. *Rancang Bangun Sistem Pengaturan Penerangan Ruangan Berbasis Mikrokontroler*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. (online). Diakses Juli 2020
- Handamt, Kharisma. 2014. *Penyearah Terkendali Setengah Gelombang*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung. (online). Diakses Maret 2020
- Ikbal, Muh. dkk. 2005. *Perancangan dan Pembuatan Alat Trigger Thyristor Enam Pulsa*. Tugas Akhir. Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Junaidi, dan Yuliyani Dwi Prabowo. 2013. *Project Sistem Kendali Elektronik berbasis Arduino*. Bandar Lampung : AURA CV. Anugrah Utama Raharja. (online). Diakses Oktober 2020.
- Lubis, Muhammad Arief 2019. *Rancang Bangun Penyearah Terkendali Semikonverter Satu-Fasa Menggunakan Mikrocontroller Arduino Uno Berbasis IOT*. (online). Diakses Maret 2020.
- Makmur, Nur Qalbi dan Destryan Topayung. 2012. *Studi Perbandingan Unjuk Kerja Alat Ukur Listrik dalam Menangani Penyearah Tak Terkendali Satu Fasa dan*

Tiga Fasa. Tugas Akhir. Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Mustaqim, M. Najib. 2016. *Pengembangan Modul Praktikum Berbasis Multimedia Interaktif pada Praktikum Elektronika Dasar I Materi Dioda II Mahasiswa Pendidikan Fisika UIN Walisongo Tahun 2015*. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo. (online). Diakses Mei 2020

Muslimin. 2017. *Penyearah Terkendali Setengah Gelombang Tiga-Fasa. Laporan Proyek Akhir*. Batam: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam. (online). Diakses Mei 2020.

Nessy, Lanovia R dkk.1998. *Perancangan Pembuatan Penyearah Tiga-Fasa Terkendali*. Tugas Akhir. Tidak Diterbitkan. Ujung Pandang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Pratama, Ade Surya. 2017. *Rangkaian Penyulutan Thyristor dengan Tahanan (R) pada Modul Praktikum Elektronika Daya Universitas Gunadarma*. Teknik Elektro Universitas Gunadarma. (online). Diakses Juni 2020.

Tandioga, Remigius. 2000. *Elektronika Daya*. Diktat. Tidak diterbitkan. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Usman dkk. 2017. *Perancangan dan Pembuatan Trainer Penyearah Terkendali Tiga-Fasa*. Makassar: Jurusan Teknik Listrik Politeknik Bosowa. (online). Diakses Desember 2019.

L

A

M

P

I

R

A

N



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized red and white Garuda bird with its wings spread, perched on a yellow banner at the bottom that reads "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN 1

(Listing Pemrograman)

Lampiran 1 Listing Pemrograman



```
PROGRAM_TA | Arduino 1.8.8
File Edit Sketch Tools Help

PROGRAM_TA
#include "RBDdimmer.h"

//define USE_SERIAL SerialUSB //Serial for boards with USB serial port
#define USE_SERIAL Serial
#define outputPin 6
#define zerocross 2 // for boards with CHANGEABLE input pins

//dimmerLamp dimmer(outputPin, zerocross); //initialase port for dimmer for ESP8266, ESP32, Arduino due boards
dimmerLamp dimmer(outputPin); //initialase port for dimmer for MEGA, Leonardo, UNO, Arduino M0, Arduino Zero

int outVal = 0;
int x = 0;

void setup() {
  USE_SERIAL.begin(9600);
  dimmer.begin(NORMAL_MODE, ON); //dimmer initialisation: name.begin(MODE, STATE)
  USE_SERIAL.println("Dimmer Program is starting...");
  USE_SERIAL.println("Set value");
  pinMode(A0, INPUT); //input potensi
}

void printSpace(int val)
{
  if ((val / 100) == 0) USE_SERIAL.print(" ");
  if ((val / 10) == 0) USE_SERIAL.print(" ");
}

void loop() {
  int y = analogRead(A0);
```

Lampiran 1 Listing Pemrograman (Lanjutan)

```
    x = map(y,0,1024, 0,87); //program konversi
    int preVal = outVal;

    int buf = x;
    if (buf != 0) outVal = buf;

    dimmer.setPower(outVal); // setPower(0-100%);

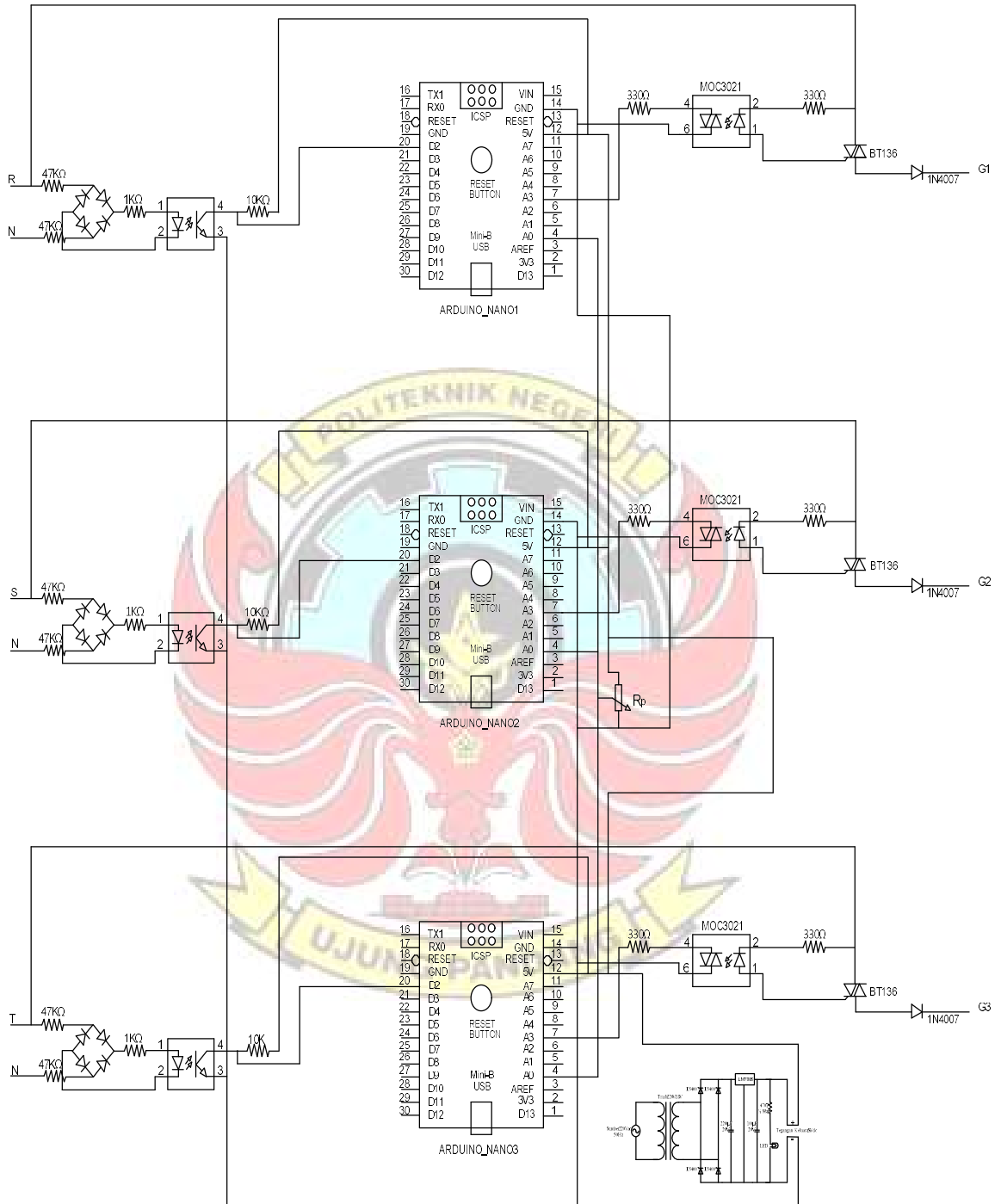
    if (preVal != outVal)
    {
        USE_SERIAL.print("lampValue -> ");
        printSpace(dimmer.getPower());
        USE_SERIAL.print(outVal);
        USE_SERIAL.println("%");
    }
    delay(50);
}
```



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized red and white bird with its wings spread, perched on a blue gear. Below the bird, a yellow banner contains the text "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN 2

(Rangkaian Kontrol)



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized red and white bird with its wings spread, perched on a blue gear. Below the bird, a yellow banner contains the text "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN 3

(Foto Kegiatan)

Lampiran 3a Pembuatan kotak alat



Gambar 3a Pembuatan kotak alat

Lampiran 3b Pemasangan rangkaian pada kotak alat



Gambar 3b Pemasangan rangkaian pada kotak alat



Lampiran 3c Pegujian alat



Gambar 3c Pengujian alat





KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10 Tamalanrea, Makassar 90245
☎ 0411-585368, 585367, 585365 Fax: 0411-586043
E-mail : pnup@polupg.ac.id
Home Page : <http://www.polupg.ac.id>

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN TUGAS AKHIR

NUR HAJAR ASWAD

(34217002)

YOSRA GALLARAN

(34217016)

NO.	TANGGAL	REVISI	PARAF
1.	Selasa, 11/08/2020	Perbaiki laporan bab 3	<i>KB</i>
2.	Rabu, 26/08/2020	Menggambar Rangkaian kontrol	<i>KB</i>
3.	Selasa, 1/09/2020	Perbaiki Rangkaian kontrol	<i>KB</i>
4.	Kamis, 10/09/2020	Menyanti IC TCA ke Microcontroller	<i>KB</i>
5.	Senin, 14/09/2020	Pengujian pada Rangkaian kontrol	<i>KB</i>
6.	Kamis, 24/09/2020	Perbaiki laporan Bab 3	<i>KB</i>
7.	Jum'at 25/09/2020	Perbaiki laporan 3 - 4	<i>KB</i>
8.	Rabu, 30/09/2020	<i>Ace</i> 30/9/2020	

Makassar, 29 September 2020

Dosen Pembimbing I,

Marhatang, S.ST.M.T.
NIP: 19741117 200212 1 002



LEMBAR ASISTENSI LAPORAN TUGAS AKHIR

NUR HAJAR ASWAD (34217002)

YOSRA GALLARAN (34217016)

NO.	TANGGAL	REVISI	PARAF
1.	Rabu, 04/03/2020	Pendahuluan tentang konverter tiga-fasa bintang	
2.	Senin, 09/03/2020	Lanjut pembahasan konverter tiga-fasa bintang	
3.	Rabu, 11/03/2020	- Pembahasan pola-pola konduksi pada beberapa nilai sudut penundaan. - Pembahasan tugas	
4.	Selasa 31/03/2020	- Pembahasan - Pembahasan tugas	
5.	Jum'at, 3/04/2020	Pembahasan dan perbaikan tugas	
6.	Senin, 27/04/2020	Mengambil contoh saklar 18 kaki dan mempelajari prinsip kerjanya.	
7.	Senin, 11/05/2020	Mengambil contoh potensiasesor dan mempelajari prinsip kerjanya.	
8.	Sabtu, 23/05/2020	- Mempelajari materi penyearah terkendali 3 fasa semi jembatan	
9.	Selasa, 26/05/2020	- Mempelajari materi penyearah terkendali 3 fasa semi jembatan	
10.	Kamis, 28/05/2020	- Mempelajari materi penyearah terkendali 3 fasa semi jembatan.	
11.	Senin, 01/06/2020	Mempelajari cara menentukan arus tegangan dari tirisor dan dioda yang	

Makassar, 20-05-2020

Dosen Pembimbing II,

Ir. Remigius, S.T., M.T.
NIP: 19621210 199003 1 005



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
Jalan Perintis Kemerdekaan KM 10 Tamalanrea, Makassar 90245
☎ 0411-585368, 585367, 585365 Fax 0411-586043
E-mail : pnup@polupg.ac.id
Home Page : http://www.polupg.ac.id

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN TUGAS AKHIR

NUR HAJAR ASWAD

(34217002)

YOSRA GALLARAN

(34217016)

NO.	TANGGAL	REVISI	PARAF
12.	Kamis, 04/06/2020	- Mempelajari perbandingan penyuarah tiga fasa setengah gelombang, semikonverter dan gelombang penuh.	
13.	Sabtu, 06/06/2020	- Mempelajari bentuk gelombang keluaran Penyuarah 3 fasa semikonverter.	
14.	Kamis, 11/06/2020	- Mempelajari rangkaian trigger dengan menggunakan IC TCA 785	
15.	Sabtu, 13/06/2020	- Mempelajari bentuk keluaran 1 fasa Setengah gelombang dan gelombang penuh sistem Center tap dan jembatan	
16.	Kamis, 18/06/2020	- pembahasan rangkaian kontrol	
17.	Senin, 22/06/2020	- presentasi kemajuan tugas akhir	
18.	Jumat 26/06/2020	- konsultasi dan pemeriksaan alat	
19.	Minggu, 27/06/2020	- Asistensi bab 1-3	

Makassar, 30-06-2020

Dosen Pembimbing II,

Ir. Remigius, S.T., M.T.
NIP: 19621210 199003 1 005

**PRAKTIKUM ELEKTRONIKA DAYA
PENYEARAH SEMIKONVERTER TIGA FASA**



Penyusun :

Nur Hajar Aswad	342 17 002
Yosra Gallaran	342 17 016

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020**

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan pertolongan-Nya, sehingga penyusunan *Job sheet* ini dapat diselesaikan. *Job sheet* ini bersumber dari bahan ajar Elektronika Daya yang penulis pelajari selama ini.

Job sheet ini akan digunakan dalam kegiatan praktikum Elektronika Daya di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Semoga bermanfaat.



Makassar, Desember 2020
Penyusun,

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Penyearah semikonverter tiga-fasa	1
Gambar 2	Bentuk gelombang masukan dari semikonverter tiga-fasa	3
Gambar 3	Diagram rangkaian dari penyearah semikonverter tiga fasa	7



DAFTAR ISI

	Hal.
SAMPUL	i
PRAKATA	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
PENYEARAH SEMIKONVERTER TIGA-FASA	
1.1 Tujuan Percobaan.....	1
1.2 Teori Dasar.....	1
1.3 Diagram Rangkaian.....	7
1.4 Alat dan Bahan.....	7
1.5 Prosedur Percobaan.....	7
1.6 Hasil Percobaan.....	9
1.7 Perhitungan dan Analisa Hasil Percobaan.....	11
1.8 Kesimpulan	11
DAFTAR PUSTAKA	12

PERCOBAAN I PENYEARAH SEMIKONVERTER TIGA-FASA

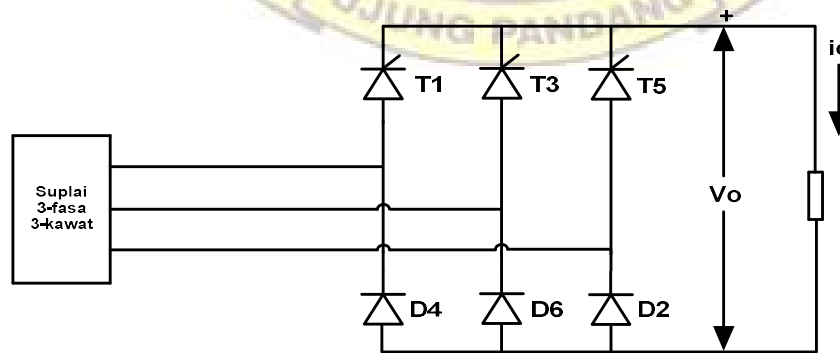
A. TUJUAN PERCOBAAN

Setelah melaksanakan praktikum, diharapkan praktikan dapat :

- Menjelaskan prinsip kerja penyearah semi konverter tiga fasa.
- Membuat rangkaian penyearah semi konverter tiga fasa.
- Mengukur besaran-besaran output dan input dari suatu rangkaian penyearah semi konverter tiga fasa.
- Menghitung parameter-parameter untuk kerja suatu rangkaian penyearah semi konverter tiga fasa.

B. TEORI DASAR

Gambar 1 memperlihatkan diagram rangkaian penyearah semikonverter tiga-fasa terkendali. Sistem konverter ini hanya membutuhkan catu daya *ac* tiga-fasa tiga-kawat tanpa titik netral (*n*) atau boleh juga catu daya *ac* tiga-fasa empat-kawat namun titik netral (*n*) tidak terpakai. Yang dimaksud semikonverter dalam hal ini adalah konverter jembatan yang setengah dari komponennya adalah *thyristor* dan setengahnya lagi adalah dioda.



Gambar 1 Penyearah semikonverter tiga-fasa.

Tegangan fasa pada input penyearah dalam hal ini dimisalkan mempunyai persamaan

$$V_a = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

$$V_b = V_m \sin (\omega t - 2\pi / 3) \dots\dots\dots (2)$$

$$V_c = V_m \sin (\omega t + 2\pi / 3) \dots\dots\dots (3)$$

Berdasarkan persamaan (1), (2) dan (3) diatas, maka tegangan antara – fasa pada input penyearah adalah :

$$v_{ab} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) \dots\dots\dots (4)$$

$$v_{ac} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) \dots\dots\dots (5)$$

$$v_{bc} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (6)$$

$$v_{ba} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - \frac{5\pi}{6}) \dots\dots\dots (7)$$

$$v_{ca} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{5\pi}{6}) \dots\dots\dots (8)$$

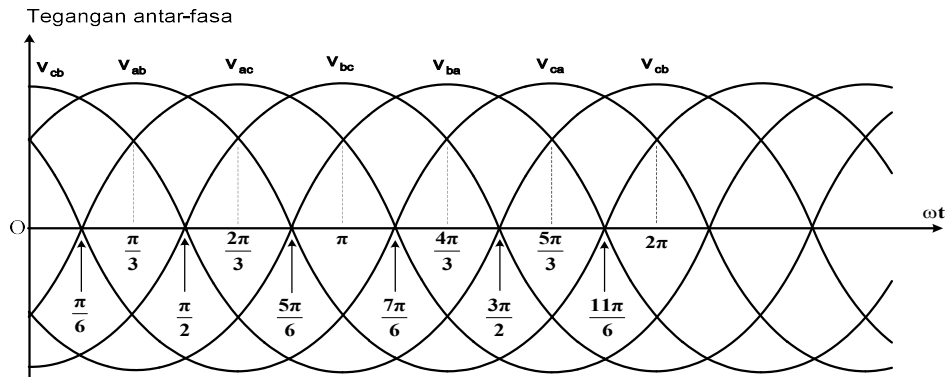
$$v_{cb} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

V_m = harga maksimum tegangan fasa pada input penyearah

$\omega t = 2\pi ft$ = sudut fasa sesaat gelombang tegangan input

f = frekuensi gelombang tegangan input



Gambar 2 Bentuk gelombang masukan dari semikonverter tiga-fasa

Prinsip operasi dalam rangkaian konverter ini adalah bahwa tegangan antar fasa yang terbesar pada suatu saat akan menentukan pasangan *thyristor*-dioda mana yang konduksi pada saat itu. Dalam hal ini dioda akan tetap konduksi jika potensial titik katodanya mempunyai harga negatif yang terbesar. Sedangkan *thyristor* tetap akan konduksi selama potensial titik anodanya mempunyai harga positif yang terbesar, sambil memperhitungkan sudut penundaan α . Artinya jika tanpa sudut penundaan ($\alpha = 0^\circ$) dalam selang $\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan pada Gambar 2, *thyristor* T1 cenderung untuk konduksi. Dalam selang $\frac{5\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2}$ dari gelombang tegangan masukan, *thyristor* T3 cenderung untuk konduksi dan dalam selang $\frac{3\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{13\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, *thyristor* T5 cenderung untuk konduksi. Sementara itu dalam selang $-\frac{\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2}$ dari gelombang tegangan masukan pada Gambar 2, dioda D6 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α . Dalam selang $\frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, dioda D2 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α , dan dalam selang $\frac{7\pi}{6} \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{6}$ dari gelombang tegangan masukan, dioda D4 cenderung untuk konduksi tanpa dipengaruhi oleh α .

Beberapa besaran dan parameter penyearahan dapat dituliskan sebagai berikut.

1. Beban Resistif atau Beban Induktif dengan Dioda *Freewheeling*

a. Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ (Modus Kontinu)

$$V_{dc} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (10)$$

$$= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (11)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)} \dots\dots\dots (12)$$

$$= V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos 2\alpha)} \dots\dots\dots (13)$$

b. Untuk $\alpha = 60^\circ$ (Modus Kontinu)

$$V_{dc} = \frac{9V_m\sqrt{3}}{4\pi} \dots\dots\dots (14)$$

$$= \frac{9V_s\sqrt{6}}{4\pi} \dots\dots\dots (15)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} \dots\dots\dots (16)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} \dots\dots\dots (17)$$

c. Untuk $60^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ (Modus Diskontinu)

$$V_{dc} = \frac{3V_m\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (18)$$

$$= \frac{3V_s\sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (19)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]} \dots\dots\dots (20)$$

$$= V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]} \dots\dots\dots (21)$$

2. Beban Induktif Tinggi

a. Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ (Modus Kontinu)

Untuk $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$, baik beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling* maupun beban induktif tinggi mempunyai bentuk gelombang tegangan keluaran yang sama. Jadi :

$$V_{dc} = \frac{3 V_m \sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = \frac{3 V_s \sqrt{6}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \dots\dots\dots (22)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} (1 + \cos 2\alpha)} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3} \cos^2 \alpha}{4\pi}} \dots\dots\dots (23)$$

$$= V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} (1 + \cos 2\alpha)} = V_s \sqrt{3 + \frac{9\sqrt{3} \cos^2 \alpha}{2\pi}} \dots\dots\dots (24)$$

b. Untuk $\alpha = 60^\circ$ (Modus Kontinu)

Untuk $\alpha = 60^\circ$, baik beban resistif atau induktif dengan dioda *freewheeling* maupun beban induktif tinggi mempunyai bentuk gelombang tegangan keluaran yang sama. Jadi :

$$V_{dc} = \frac{9 V_m \sqrt{3}}{4\pi} = \frac{9 V_s \sqrt{6}}{4\pi} \dots\dots\dots (25)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{9}{4\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} = V_s \sqrt{\frac{9}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right]} \dots\dots\dots (26)$$

c. Untuk $60^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ (Modus Kontinu)

$$V_{dc} = \frac{9 V_m}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \dots\dots\dots (27)$$

$$= \frac{9 V_s \sqrt{2}}{2\pi} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \dots\dots\dots (28)$$

$$V_{rms} = V_m \sqrt{\frac{3}{2} - \frac{9\sqrt{3}}{8\pi} \cos\left(2\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)} \dots\dots\dots (29)$$

1. Faktor bentuk (*form factor*, FF), didefinisikan sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{dc}}{V_{rms}} \dots\dots\dots(30)$$

2. Faktor kerut (*ripple factor*, RF), didefinisikan sebagai berikut:

$$RF = \sqrt{(FF)^2 - 1} \dots\dots\dots(31)$$

3. Efisiensi penyearahan, didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{V_{rms} \cdot I_{rms}} \dots\dots\dots(32)$$

4. Faktor utilisasi transformator (*transformutilisation factor*, TUF), didefinisikan sebagai berikut:

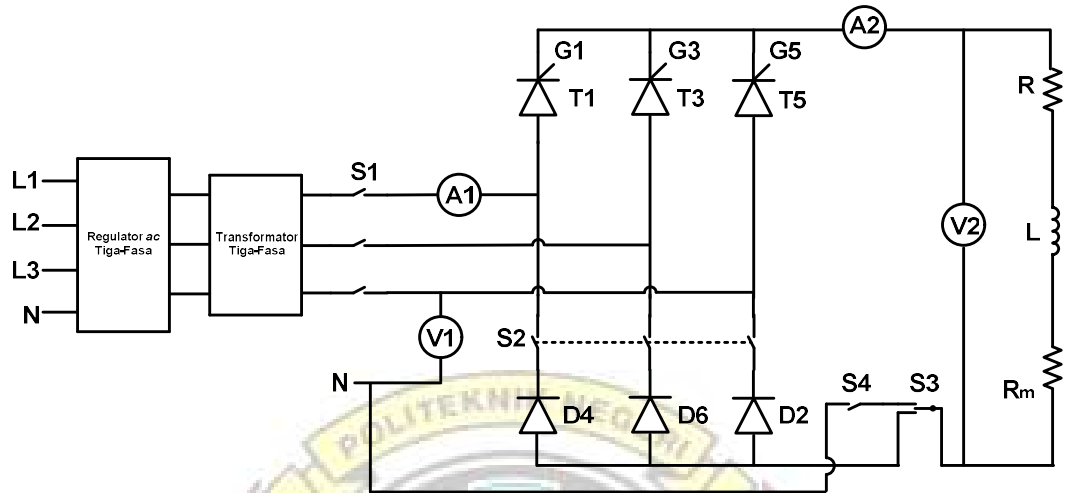
$$TUF = \frac{P_{dc}}{S_i} = \frac{V_{dc} \cdot I_{dc}}{3(V_s I_s)} \dots\dots\dots(33)$$

5. Faktor kecuraman (*crest factor*, CF), didefinisikan sebagai berikut:

$$CF = \frac{I_{s(peak)}}{I_s} \dots\dots\dots(34)$$



C. DIAGRAM RANGKAIAN



Gambar 3 Diagram rangkaian penyearah semikonverter tiga-fasa

D. ALAT DAN BAHAN

1. Osiloskop
2. Regulator *ac* tiga-fasa
3. Transformator tiga-fasa
4. Amperemeter
5. Voltmeter
6. Resistor
7. Tahanan geser
8. Kabel secukupnya

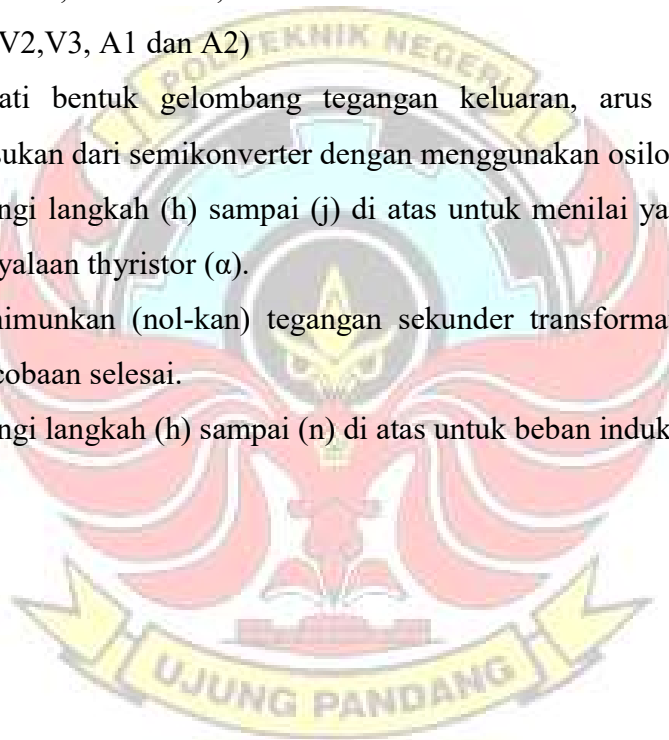
E. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Semikonverter tiga-fasa
 - a. Telitilah semua alat dan komponen sebelum digunakan.
 - b. Dalam keadaan saklar (MCB) tiga-fasa pada meja percobaan (*work bench*) terbuka (*off*), hubungkan terminal jala-jala dengan terminal masukan pada regulator *ac* tiga-fasa (auto-transformator tiga-fasa).

- c. Hubungkan belitan-belitan disisi primer dan sekunder transformator tiga-fasa sehingga membentuk sambungan Y-Y (bintang-bintang). Harus diperhatikan bahwa sisi tegangan tinggi (220/380 V), berfungsi sebagai sisi primer dan sisi tegangan rendah (127/220 V) berfungsi sebagai sisi sekunder.
- d. Buatlah rangkaian daya dari semikonverter tiga-fasa ini seperti pada Gambar 3. R_m adalah resistor dengan resistansi 1Ω , atau gunakan tahanan geser yang resistansinya disetel pada nilai 1Ω . Mula-mula akan di uji beban resistif.
- e. Hubungkan terminal alat kontrol (*trigger*: G1,G3,G5) dengan gerbang-gerbang dari *thyristor* (G1,G3,G5). Harus diperhatikan bahwa jika tidak bermaksud mengukur arus, maka terminal amperemeter pada modul dihubung singkat. Terminal voltmeter jangan sekali-kali dihubung singkat.
- f. Hubungkan terminal sekunder transformator tiga-fasa dengan terminal masukan dari modul semikonverter tiga-fasa.
- g. Dalam keadaan keluaran regulator *ac* tiga-fasa minimum, masukan (*on*-*kan*) saklar-saklar (MCB) tiga-fasa pada meja percobaan.
- h. Dalam keadaan saklar S1,S2, dan S3 tertutup dan saklar S4 terbuka, naikkan tegangan keluaran regulator *ac* tiga-fasa hingga tegangan sekunder transformator tiga-fasa (per-fasa atau antar fasa) mencapai nilai yang ditentukan/diinginkan.
- i. Aturilah potensiogeser dari alat kontrol (*trigger*) sehingga menimbulkan suatu nilai dari sudut penyalan *thyristor* (α).
- j. Catatlah nilai rata-rata dan efektif dari tegangan masukan, tegangan keluaran, arus beban, dan arus masukan semikonverter. [lihat penunjukan V1,V2,V3, A1 dan A2)
- k. Amati bentuk gelombang tegangan keluaran, arus beban, dan arus masukan dari semikonverter dengan menggunakan osiloskop.

- l. Ulangi langkah (h) sampai (j) di atas untuk menilai yang lain dari sudut penyalan thyristor (α).
 - m. Minimalkan (nol-kan) tegangan sekunder transformator tiga-fasa, dan percobaan selesai.
 - n. Ulangi langkah (h) sampai (n) di atas untuk beban induktif.
2. Konverter tiga-fasa setengah gelombang
- a. Telitilah semua alat dan komponen sebelum digunakan.
 - b. Dalam keadaan saklar (MCB) tiga-fasa pada meja percobaan (work bench) terbuka (off), hubungkan terminal jala-jala dengan terminal masukan pada regulator ac tiga-fasa (auto-transformator tiga-fasa).
 - c. Hubungkan belitan-belitan disisi primer dan sekunder transformator tiga-fasa sehingga membentuk sambungan Y-Y (bintang-bintang). Harus diperhatikan bahwa sisi tegangan tinggi (220/380 V), berfungsi sebagai sisi primer dan sisi tegangan rendah (127/220 V) berfungsi sebagai sisi sekunder.
 - d. Buatlah rangkaian daya dari semikonverter tiga-fasa ini seperti pada Gambar 3. R_m adalah resistor dengan resistansi 1Ω , atau gunakan tahanan geser yang resistansinya disetel pada nilai 1Ω . Mula-mula akan di uji beban resistif.
 - e. Hubungkan terminal alat kontrol (trigger: G1,G3,G5) dengan gerbang-gerbang dari thyristor (G1,G3,G5). Harus diperhatikan bahwa jika tidak bermaksud mengukur arus, maka terminal amperemeter pada modul dihubung singkat. Terminal voltmeter jangan sekali-kali dihubung singkat.
 - f. Hubungkan terminal sekunder transformator tiga-fasa dengan terminal masukan dari modul semikonverter tiga-fasa.
 - g. Dalam keadaan keluaran regulator ac tiga-fasa minimum, masukan (on-kan) saklar-saklar (MCB) tiga-fasa pada meja percobaan.

- h. Dalam keadaan saklar S1,S2, dan S3 tertutup dan saklar S4 terbuka, naikan tegangan keluaran regulator ac tiga-fasa hingga tegangan sekunder transformator tiga-fasa (per-fasa atau antar fasa) mencapai nilai yang ditentukan/diinginkan.
- i. Aturilah potensiogeser dari alat kontrol (trigger) sehingga menimbulkan suatu nilai dari sudut penyalaan thyristor (α).
- j. Catatlah nilai rata-rata dan efektif dari tegangan masukan, tegangan keluaran, arus beban, dan arus masukan semikonverter. [lihat penunjukan V1,V2,V3, A1 dan A2]
- k. Amati bentuk gelombang tegangan keluaran, arus beban, dan arus masukan dari semikonverter dengan menggunakan osiloskop.
- l. Ulangi langkah (h) sampai (j) di atas untuk menilai yang lain dari sudut penyalaan thyristor (α).
- m. Minimalkan (nol-kan) tegangan sekunder transformator tiga-fasa, dan percobaan selesai.
- n. Ulangi langkah (h) sampai (n) di atas untuk beban induktif.



F. HASIL PERCOBAAN

Tabel hasil pengujian semikonverter berbeban resistif

No	Resistansi beban (Ω)	A ($^{\circ}$)	I_s (A)	$I_{s(av)}$ (A)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan Keluaran			Arus Beban	
							$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$V_{rms}^{***)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1											
2											
3											
4											
5											

Ket : *) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari

***) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta

***)) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari



Tabel hasil pengujian semikonverter berbeban Induktif

No	Resistansi beban (Ω)	α ($^\circ$)	I_s (A)	$I_{s(av)}$ (A)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan Keluaran			Arus Beban	
							$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$V_{rms}^{***)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1											
2											
3											
4											
5											

Ket : *) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari
 **) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta
 ***) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari



Tabel hasil pengujian konverter setengah gelombang berbeban resistif

No	Resistansi beban (Ω)	α ($^{\circ}$)	I_s (A)	$I_{s(av)}$ (A)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan Keluaran			Arus Beban	
							$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$V_{rms}^{***)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1											
2											
3											
4											
5											

Ket : *) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari
 **) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta
 ***) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari



Tabel hasil pengujian konverter setengah gelombang berbeban induktif

No	Resistansi beban (Ω)	α ($^\circ$)	I_s (A)	$I_{s(av)}$ (A)	V_s (V)	$V_{s(L-L)}$ (V)	Tegangan Keluaran			Arus Beban	
							$V_{dc}^{*)}$ (V)	$V_{rms}^{**)}$ (V)	$V_{rms}^{***)}$ (V)	$I_{dc}^{*)}$ (A)	$I_{rms}^{***)}$ (A)
1											
2											
3											
4											
5											

Ket : *) = Alat ukur asas kumparan bergerak magnet permanen merek Ferrari
 **) = Alat ukur asas besi bergerak merek Veneta
 ***) = Alat ukur asas elektronik merek Ferrari



G. PERHITUNGAN DAN ANALISIS HASIL PERCOBAAN

1. Dari data percobaan anda, hitunglah :
 - Faktor bentuk (FF)
 - Faktor kerut (RF)
 - Faktor kecuraman (CF)
 - Faktor utilisasi suplai (TUF)
 - Efisiensi penyearahan
2. Bandingkan antara hasil percobaan anda dan hasil perhitungan menurut teori, serta berikan ulasan.

H KESIMPULAN

Berikan kesimpulan atas hasil-hasil percobaan anda



DAFTAR PUSTAKA

Aswad, Nur Hajar dan Yosra Gallaran. 2020. *Rancang Bangun Modul Praktikum Semikonverter Tiga-Fasa*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Ujung Pandang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Tandioga, Remigius. 2000. *Elektronika Daya*. Diktat. Tidak diterbitkan. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

