



**ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER MULTILEVEL CHB
13-LEVEL MENGGUNAKAN METODE *SELECTIVE
HARMONIC ELIMINATION* PWM BERBASIS OPTIMASI
*MOTH-FLAME OPTIMIZATION***

SKRIPSI

TIARA EVIDIA WATI

2210314052

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
2026**



**ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER MULTILEVEL CHB
13-LEVEL MENGGUNAKAN METODE *SELECTIVE
HARMONIC ELIMINATION* PWM BERBASIS OPTIMASI
*MOTH-FLAME OPTIMIZATION***

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik**

TIARA EVIDIA WATI

2210314052

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
2026**

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi yang diajukan oleh :

Nama : Tiara Evidia Wati

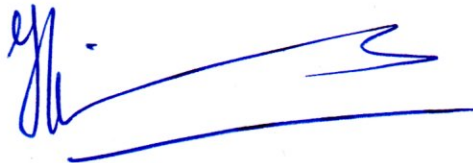
NIM : 2210314052

Program Studi : S1 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER

MULTILEVEL CHB 13-LEVEL MENGGUNAKAN
METODE *SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION*
PWM BERBASIS OPTIMASI *MOTH-FLAME*
OPTIMIZATION

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Ir. Henry Binsar Hamonangan Sitorus, S.T., M.T.

Penguji Utama



Nur Fauziah, S.T., M.T.



Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.

Penguji Lembaga



**Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah, S.T.,
M.T., IPM.**

Dekan Fakultas Teknik

Penguji I (Pembimbing)



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

**Koordinator Program Studi
Teknik Elektro**

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 21 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI

**ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER MULTILEVEL CHB
13-LEVEL MENGGUNAKAN METODE *SELECTIVE
HARMONIC ELIMINATION* PWM BERBASIS OPTIMASI
*MOTH-FLAME OPTIMIZATION***

TIARA EVIDIA WATI

NIM. 2210314052

Disetujui Oleh,

Pembimbing I



Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.

Pembimbing II



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip maupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Tiara Evidia Wati
NIM : 2210314052
Program : S1 – Teknik Elektro
Studi

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 21 Juli 2026

Yang menyatakan,



Tiara Evidia Wati

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai *civitas academica* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tiara Evidia wati
NIM : 2210314052
Program Studi : S1 – Teknik Elektro

menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER MULTILEVEL CHB 13-LEVEL MENGUNAKAN METODE *SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION* PWM BERBASIS OPTIMASI *MOTH-FLAME OPTIMIZATION*

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 21 Juli 2026

Yang menyatakan,



Tiara Evidia Wati

ANALISIS DAN SIMULASI INVERTER MULTILEVEL CHB 13-LEVEL MENGGUNAKAN METODE *SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION* PWM BERBASIS OPTIMASI *MOTH-FLAME OPTIMIZATION*

Tiara Evidia Wati

ABSTRAK

Inverter multilevel *Cascaded H-Bridge* (CHB) banyak digunakan dalam aplikasi konversi energi karena mampu menghasilkan tegangan keluaran mendekati sinusoidal dengan jumlah komponen yang efisien. Namun, proses pensaklaran pada inverter ini masih menghasilkan distorsi harmonisa yang dapat menurunkan kualitas daya listrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mensimulasikan inverter CHB 13-Level menggunakan metode *Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation* (SHEPWM) yang dioptimasi dengan algoritma *Moth-Flame Optimization* (MFO) untuk menentukan sudut pensaklaran optimal guna mengeliminasi harmonisa orde rendah. Simulasi dilakukan pada MATLAB/Simulink dengan variasi *Modulation Index* (MI) sebesar 0.55 hingga 1.00 pada beban Resistor (R) dan Induktor-Kapasitor (LC). Hasil pengujian karakteristik tegangan menunjukkan gelombang keluaran berbentuk *staircase* 13-tingkat dengan rasio V_{rms} terhadap $V_{pp}/2$ konsisten sebesar 0.707 pada beban Resistor, mendekati gelombang sinusoidal ideal, sedangkan pada beban LC bentuk *staircase* tetap terbentuk baik meski terdapat sedikit pergeseran fasa dan penghalusan transisi akibat komponen reaktif, dengan nilai V_{pp} dan V_{rms} yang hanya berbeda tipis (kurang dari 3 V) dibandingkan beban Resistor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma MFO berhasil menentukan sudut pensaklaran optimal dengan nilai fitness terkecil sebesar 0.00027 pada $MI = 0.80$. Nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) terendah diperoleh sebesar 5.09% pada beban R pada $MI = 0.85$ dan 5.22% pada beban LC pada $MI = 0.60$. THD tertinggi terjadi pada $MI = 0.95$, yaitu 10.03% di beban R dan 9.79% di beban LC, berkorelasi dengan kenaikan nilai fitness tajam mendekati kondisi overmodulation. Penelitian ini membuktikan bahwa metode SHEPWM berbasis MFO efektif meningkatkan kualitas tegangan keluaran inverter CHB 13-Level.

Kata kunci: *Inverter Multilevel, Cascaded H-Bridge, SHEPWM, Moth-Flame Optimization, Total Harmonic Distortion.*

ANALYSIS AND SIMULATION OF 13-LEVEL CASCADED H-BRIDGE MULTILEVEL INVERTER USING SELECTIVE HARMONIC ELIMINATION PWM METHOD BASED ON MOTH-FLAME OPTIMIZATION

Tiara Evidia Wati

ABSTRACT

Cascaded H-Bridge (CHB) multilevel inverters are widely used in energy conversion applications because they can produce output voltages that closely approximate a sinusoidal waveform with an efficient number of components. However, the switching process in this inverter still produces harmonic distortion that can degrade power quality. This research aims to analyze and simulate a CHB 13-Level inverter using the Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation (SHEPWM) method optimized with the Moth-Flame Optimization (MFO) algorithm to determine the optimal switching angles for eliminating low-order harmonics. Simulations were conducted in MATLAB/Simulink with a Modulation Index (MI) ranging from 0.55 to 1.00, tested on Resistor (R) and Inductor-Capacitor (LC) loads. The voltage characteristic test results show that the output waveform forms a 13-level staircase with a consistent V_{rms} -to- $V_{pp}/2$ ratio of 0.707 on the Resistor load, closely approximating an ideal sinusoidal waveform, while on the LC load the staircase waveform is still formed properly despite a slight phase shift and smoothing at the voltage-level transitions caused by the reactive components, with V_{pp} and V_{rms} values differing only slightly (less than 3 V) from the Resistor load. The results show that the MFO algorithm successfully determined the optimal switching angles with the smallest fitness value of 0.00027 at $MI = 0.80$. The lowest Total Harmonic Distortion (THD) was 5.09% on the R load at $MI = 0.85$ and 5.22% on the LC load at $MI = 0.60$. The highest THD occurred at $MI = 0.95$, reaching 10.03% on the R load and 9.79% on the LC load, correlating with a sharp increase in the fitness value near the overmodulation condition. This research demonstrates that the MFO-based SHEPWM method effectively improves the output voltage quality of the CHB 13-Level inverter.

Keywords: *Multilevel Inverter, Cascaded H-Bridge, SHEPWM, Moth-Flame Optimization, Total Harmonic Distortion*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul " Analisis Dan Simulasi Inverter Multilevel Chb 13-Level Menggunakan Metode *Selective Harmonic Elimination* Pwm Berbasis Optimasi *Moth-Flame Optimization* ". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, kesehatan, serta kelapangan waktu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kedua orang tua penulis yang tercinta, yang tiada henti memberikan semangat, dukungan moril maupun materil, serta doa yang selalu dipanjatkan demi kelancaran dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Segala pengorbanan dan kasih sayang yang diberikan tidak akan pernah bisa terbalaskan, dan menjadi salah satu alasan terbesar penulis untuk terus bertahan hingga akhir..
3. Bapak Ir. Ferdianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I, yang dengan penuh kesabaran telah membimbing, mengarahkan, serta memberikan banyak ilmu selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung. Terima kasih atas waktu dan perhatian yang telah diluangkan di tengah kesibukan Bapak.
4. Ibu Luh Krisnawati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang senantiasa memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun, sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik dan terarah. Terima kasih atas segala bimbingan yang telah diberikan.
5. Seluruh teman-teman angkatan 2022 Teknik Elektro UPN Veteran Jakarta, yang telah menjadi teman seperjuangan sejak awal perkuliahan hingga detik ini. Terima kasih atas segala bentuk dukungan, semangat,

serta kebersamaan yang telah diberikan kepada penulis selama perkuliahan.

6. Teman-teman "13", terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan dukungan yang selalu diberikan selama ini. Semoga pertemanan kita tetap terjaga meski nanti kita sudah sibuk dengan jalan masing-masing.
7. Untuk Liemala dan Putri, yang telah menemani penulis melewati suka dan duka selama masa perkuliahan. Kalian selalu ada untuk mendengarkan keluh kesah, memberi semangat di saat penulis mulai *burnout*, dan menjadi tempat berbagi cerita yang paling nyaman. Terima kasih atas kebersamaan dan dukungan kalian yang begitu berarti, hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
8. Teruntuk Rubio Azza Arafah, terima kasih telah menjadi sosok yang selalu hadir dan setia menemani penulis melewati setiap proses, terutama di penghujung masa perkuliahan yang penuh tantangan. Terima kasih atas kesabaran dalam mendengarkan setiap keluh kesah, atas dukungan emosional yang tak pernah putus, serta semangat yang terus diberikan ketika penulis merasa lelah, kehilangan arah, bahkan berada di titik *burnout*. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan selalu dibalas dengan kebahagiaan dan keberkahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, sehingga terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga karya ini bermanfaat dan dapat menjadi referensi bagi pembaca.

Jakarta, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Inverter	11
2.3. Multilevel Inverter (MLI).....	12
2.3.1. Cascaded <i>H-Bridge</i> (CHB) MLI	13
2.4. Total Harmonic Distortion (THD)	15
2.4.1. THD Tegangan.....	15
2.4.2. TDD Arus.....	16
2.5. Fast Fourier Transform (FFT)	18
2.6. Teknik Modulasi pada Multilevel Inverter.....	18
2.6.1. <i>Selective Harmonic Elimination Pulse Width modulation</i> (SHEPWM)	19
2.6.2. <i>Moth-Flame Optimization</i> (MFO).....	23

2.7. Perancangan Filter Pasif.....	24
2.7.1. Filter LC	24
2.8. MATLAB	25
2.9. <i>SIMULINK</i>	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Diagram Alir	27
3.1.1. Studi Literatur	27
3.1.2. Rumusan Masalah	28
3.1.3. Perancangan Sistem.....	28
3.1.4. Simulasi.....	38
3.1.5. Pengumpulan Data	40
3.1.6. Pengolahan dan Analisis Data.....	41
3.1.7. Kesimpulan dan Saran.....	42
3.2. Perangkat Penelitian.....	43
3.2.1. Perangkat Keras.....	43
3.2.2. Perangkat Lunak.....	43
3.3. Tempat Penelitian.....	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Hasil Optimasi Algoritma <i>Moth-Flame Optimization</i> (MFO) dan Metode <i>Selective Harmonic Elimination Pulse Width Modulation</i> (SHEPWM)...	44
4.1.1. Nilai <i>Fitness</i>	50
4.1.2. Iterasi.....	52
4.2. Hasil Sudut Optimum.....	53
4.3. Data Parameter PWM.....	55
4.3.1. <i>Pulse Width</i>	55
4.3.2. <i>Phase Delay</i>	57
4.4. Hasil Simulasi dan Pengujian Inverter CHB 13-Level	60
4.4.1. Pola Pensaklaran pada CHB 13-Level	61
4.4.2. Pengujian Karakteristik CHB 13-Level	68
4.5. Analisis Harmonisa dan Total Harmonic Distortion (THD)	77
4.5.1. Analisis THD pada <i>beban</i> Resistor.....	78
4.5.2. Analisis THD pada beban LC	88

4.5.3. Perbandingan THD pada CHB 13-Level dengan beban Resistor dan LC	96
4.6. Korelasi Nilai <i>Fitness</i> terhadap THD	98
BAB 5 PENUTUP.....	101
5.1. Kesimpulan.....	101
5.2. Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perangkat Inverter dengan Gelombang Sinus Murni.....	11
Gambar 2.2 Klasifikasi Multilevel Inverter.....	12
Gambar 2.3 Topologi CHB 5 MLI.....	13
Gambar 2.4 Topologi CHB 13-level	14
Gambar 2.5 Grafik keluaran CHB 13-level.....	15
Gambar 2.6 Pengelompokan Teknik Modulasi untuk MLI.....	19
Gambar 2.7 Gelombang Sinusoidal.....	20
Gambar 2.8 Klasifikasi SHEPWM.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Perancangan Sistem.....	29
Gambar 3.3 Rangkain 1 Sel H-Bridge pada MATLAB/Simulink	30
Gambar 3.4 Rangkaian 13 Inverter CHB pada MATLAB/Simulink	31
Gambar 3.5 Proses optimasi MFO	36
Gambar 3.6 Langkah-Langkah Simulasi.....	39
Gambar 4.1 a). <i>Main.m</i> , b). <i>Get_Function_details.m</i> , c). <i>Initialization.m</i> , d). <i>MFO.m</i> , e). <i>Func_plot.m</i>	47
Gambar 4.2 Tampilan Hasil Optimasi.....	49
Gambar 4.3 Grafik Nilai Fitness Hasil Optimasi Algoritma MFO terhadap Variasi <i>Modulation Index</i> (MI).....	51
Gambar 4.4 Grafik Iterasi Hasil Optimasi Algoritma MFO terhadap Variasi <i>Modulation Index</i> (MI).....	52
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Hasil Simulasi MLI CHB 13-level	61
Gambar 4.6 Pola Pensaklaran untuk CHB 13-level : $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$	62
Gambar 4.7 Pola Pensaklaran untuk CHB 13-level : $S_{11}, S_{21}, S_{31}, S_{41}, S_{51}, S_{61}$	63
Gambar 4.8 Pola Pensaklaran untuk CHB 13-level : $S_{12}, S_{22}, S_{32}, S_{42}, S_{52}, S_{62}$	65
Gambar 4.9 Pola Pensaklaran untuk CHB 13-level : $S_{13}, S_{23}, S_{33}, S_{43}, S_{53}, S_{63}$	66
Gambar 4.10 Pola Pensaklaran untuk CHB 13-level : $S_{14}, S_{24}, S_{34}, S_{44}, S_{54}, S_{64}$...	68
Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Karakteristik pada beban Resistor (30Ω). 69	
Gambar 4.12 Tegangan V_{pp} pada MLI CHB 13-level dengan beban Resistor (30Ω).....	70
Gambar 4.13 Tegangan V_{rms} pada MLI CHB 13-level dengan beban Resistor (30Ω).....	71
Gambar 4.14 Grafik Hasil Pengujian Karakteristik pada beban Resistor (150Ω)72	
Gambar 4.15 Tegangan V_{pp} pada MLI CHB 13-level dengan beban Resistor (150Ω).....	73

Gambar 4.16 Tegangan Vrms pada MLI CHB 13-level dengan beban Resistor (150Ω)	74
Gambar 4.17 Grafik Hasil Pengujian Karakteristik pada beban LC	75
Gambar 4.18 Tegangan Vpp pada MLI CHB 13-level dengan beban LC	76
Gambar 4.19 Tegangan Vrms pada MLI CHB 13-level dengan beban LC	77
Gambar 4.20 Tampilan analisis <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD) menggunakan FFT pada MATLAB	78
Gambar 4.21 Hasil Analisis THD MLI CHB 13-level pada beban Resistor.....	79
Gambar 4.22 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.55	80
Gambar 4.23 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.60	81
Gambar 4.24 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.65	82
Gambar 4.25 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.70	83
Gambar 4.26 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.75	83
Gambar 4.27 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.80	84
Gambar 4.28 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.85	85
Gambar 4.29 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.90	86
Gambar 4.30 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.95	86
Gambar 4.31 Hasil analisis THD pada FFT di MI 1.00	87
Gambar 4.32 Hasil Analisis THD MLI CHB 13-level pada beban LC.....	88
Gambar 4.33 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.55	89
Gambar 4.34 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.60	90
Gambar 4.35 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.65	91
Gambar 4.36 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.70	91
Gambar 4.37 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.75	92
Gambar 4.38 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.80	93
Gambar 4.39 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.85	94
Gambar 4.40 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.90	94
Gambar 4.41 Hasil analisis THD pada FFT di MI 0.95	95
Gambar 4.42 Hasil analisis THD pada FFT di MI 1.00	96
Gambar 4.43 Perbandingan THD pada beban resistor dan LC	97
Gambar 4.44 Nilai <i>Fitness</i> , THD Resistor, dan THD LC terhadap Variasi MI ..	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2.2 Ketentuan standar IEE 519:2022 untuk nilai maksimum THD	16
Tabel 2.3 Ketentuan standar IEEE 519:2022 untuk nilai maksimum TDD	17
Tabel 3.1 Parameter <i>Set-Up</i> untuk inverter CHB 13-level [8]	32
Tabel 3.2 Pola Pensaklaran CHB 13-level MLI [40]	33
Tabel 4.1 Sudut Pensaklaran Optimum	54
Tabel 4.2 Data Parameter Sudut <i>Pulse Width</i> (α_1 – α_6)	57
Tabel 4.3 Data <i>Phase Delay</i> (Konversi Waktu) Sudut Penyalaan (α_1 – α_6)	59
Tabel 4.4 Data <i>Phase Delay</i> (Konversi Waktu) Sudut Penyalaan (α_1 – α_6)	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Pemrograman Pada Optimasi MFO Dengan Metode SHEPWM

Lampiran 2. Rangkaian Simulasi CHB 13-Level

Lampiran 3. Hasil Konvergensi Optimasi MFO

Lampiran 4. Hasil Pengujian Karakteristik dengan Beban R 30 ohm

Lampiran 5. Hasil Pengujian Karakteristik dengan Beban R 150 ohm

Lampiran 6. Hasil Pengujian Karakteristik dengan Beban LC