



**PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN LISTRIK
DC TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT* AMPLITUDO, DURASI,
DUTY-CYCLE DAN FREKUENSI TERKOMBINASI**

SKRIPSI

Oleh

**Findi Diansari
NIM 110210102057**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN
LISTRIK DC TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT*
AMPLITUDO, DURASI, *DUTY-CYCLE* DAN FREKUENSI
TERKOMBINASI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Pendidikan Fisika dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan (S. Pd.)

Oleh

Findi Diansari
NIM 110210102057

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Budi Santoso, Ibunda Budiwanti Rahayu, kakakku Atika Purnamasari dan Finda Khoirun Nisa tercinta serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan doa dalam setiap perjuanganku serta curahan kasih sayang yang telah diberikan selama ini;
2. Guru-guruku sejak Taman Kanak-Kanak sampai Perguruan Tinggi, yang telah memberikan ilmu, membimbing dengan kesabaran dan keikhlasan hati;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusanmu yang lain) dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap (Q.S Al-Insyirah)¹



¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 2008. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Penerbit Dipenogoro.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

nama : Findi Diansari

NIM : 110210102057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 07 Agustus 2017

Yang menyatakan,

Findi Diansari
NIM 110210102057

SKRIPSI

**PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN
LISTRIK DC TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT*
AMPLITUDO, DURASI, *DUTY-CYCLE* DAN FREKUENSI
TERKOMBINASI**

Oleh

Findi Diansari
NIM 110210102057

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sudarti, M. Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Alex Harijanto, M. Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 07 Agustus 2017

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M. Kes.
NIP. 19620123 198802 2 001

Drs. Alex Harijanto, M. Si.
NIP. 19641117 199103 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M. Si.
NIP. 19620401 198702 1 001

Drs. Bambang Supriadi, M. Sc.
NIP 19680710 199302 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M. Sc., Ph. D
NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

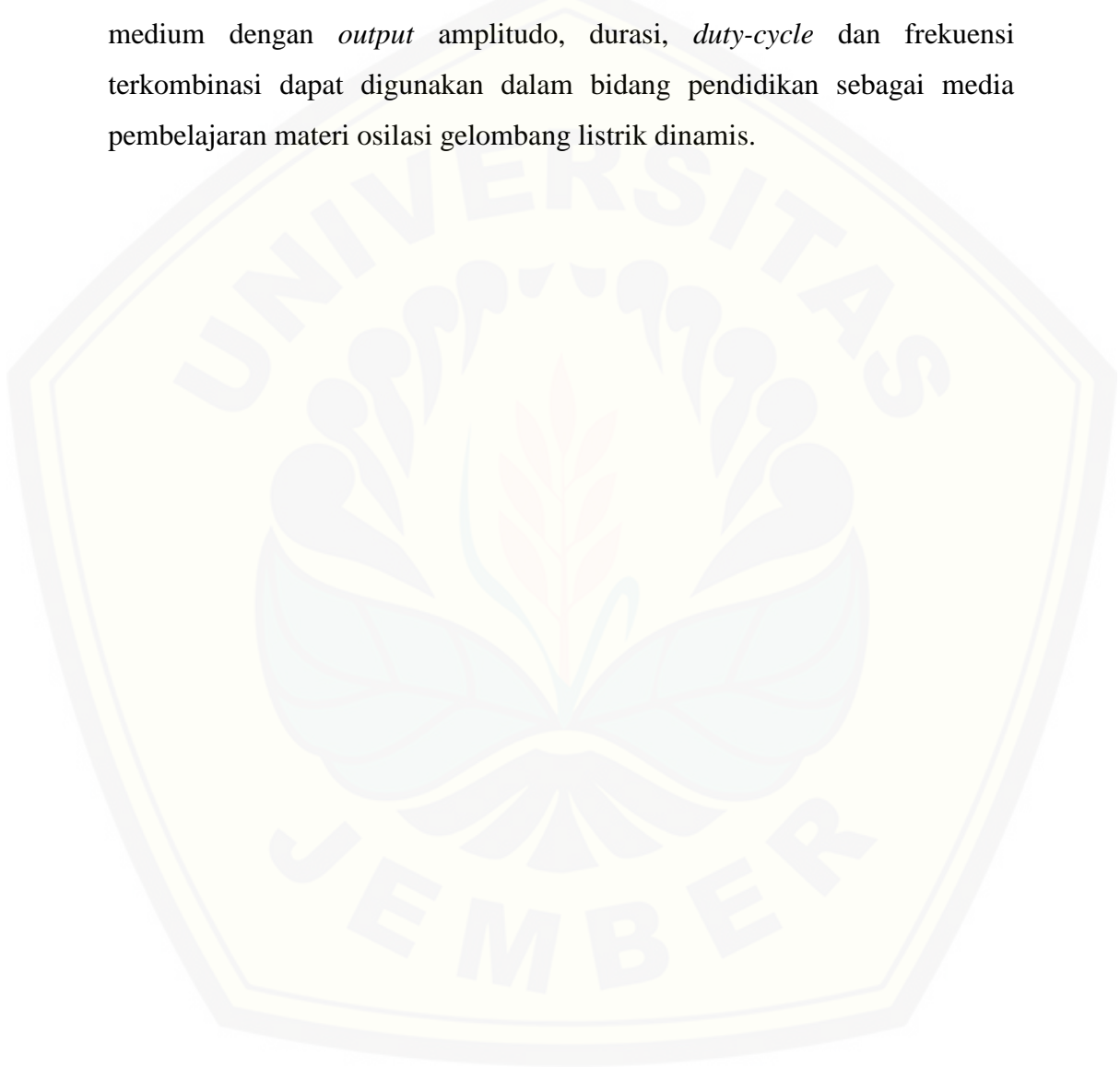
Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi; Findi Diansari; 110210102057; 2017: 114 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Perpaduan frekuensi telah banyak diaplikasikan dalam dunia elektronik dan desain sistem telekomunikasi terkini serta berpotensi untuk diaplikasikan dalam sistem rangkaian analog khususnya pada bidang pangan, kesehatan dan lingkungan melalui teknologi pulsa medan listrik. Perpaduan spesifikasi pulsa medan listrik dapat berperan dalam efisiensi beberapa proses secara berkelanjutan. Namun, generator pulsa medan listrik konvensional sulit untuk menghasilkan *output* pulsa medan listrik dengan spesifikasi yang terkombinasi. Perumusan masalah pada penelitian ini adalah: 1) bagaimanakah rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi; dan 2) bagaimanakah hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah: 1) mendesain rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi, dan 2) memperoleh hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi. Jenis penelitian merupakan penelitian dan pengembangan yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Sebelum pengambilan data penelitian, telah dilaksanakan proses validasi logis dengan hasil kriteria validitas secara

deskriptif sebesar 90,90 % dan tingkat validitas sangat valid atau dapat digunakan tanpa revisi.

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *research and development design* oleh Borg & Gall hingga tahap *operational product revision* dengan teknik pengumpulan data melalui proses simulasi rangkaian melalui *software* NI MultisimTM 14.0. Adapun teknik analisis data menggunakan teknik deskriptif. Dalam penelitian ini diperoleh kesimpulan penelitian sebagai berikut: 1) rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi terdiri atas tujuh jenis sub-sirkuit penyusun *prototype*, yaitu sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama, sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua, sub-sirkuit osilator *relay*, sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* dengan AC *voltage-regulator* 150 V_{AC}, sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* dengan AC *voltage-regulator* 200 V_{AC}, sub-sirkuit *symmetrical type cockroft-walton voltage multilier* satu fasa, dan sub-sirkuit *transistor-based pulsed power supply*; 2) rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi menghasilkan spesifikasi output terkombinasi sebagai berikut: amplitudo 1,36 kV_{DC}; *duty cycle* 29,77 %; frekuensi 1,15 Hz dan pulsa medan listrik 1,36 kV_{DC}/cm pada detik ke-0 sampai dengan detik ke 15,9 serta spesifikasi output 1,66 kV_{DC}; *duty-cycle* 42,04 %; frekuensi 1,98 Hz dan pulsa medan listrik 1,66 kV_{DC}/cm pada detik ke 15,9 sampai dengan detik ke 20,9. Sedangkan saran dari peneliti berdasarkan hasil penelitian adalah: a) Mekanisme rangkaian osilator 555 *timer* menghasilkan pulsa pertama yang memiliki lebar pulsa 58,528 % - 59,7 % lebih besar dibandingkan dengan pulsa pada siklus periode berikutnya, dengan demikian sebaiknya mengurangi sebesar 58,528 % sampai dengan 59,7 % pada t_H yang diekspektasikan sebagai pengatur durasi pulsa pada rangkaian osilator *relay* jika memerlukan dua kombinasi spesifikasi terhadap *output* dari *prototype*; b) Rangkaian *transistor-based*

pulsed power supply menghasilkan *output* pulsa yang bergeser sebesar 180° , dengan demikian sebaiknya menukar nilai t_H dan t_L (yang diekspektasikan) satu sama lain saat melakukan perhitungan matematis untuk menentukan spesifikasi komponen dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah; c) Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi dapat digunakan dalam bidang pendidikan sebagai media pembelajaran materi osilasi gelombang listrik dinamis.



PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Dafik, M. Sc., Ph. D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah menerbitkan permohonan izin untuk melakukan penelitian ini;
2. Ibu Dr. Dwi Wahyuni, M. Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA yang telah memfasilitasi persyaratan-persyaratan untuk melaksanakan skripsi ini;
3. Bapak Drs. Bambang Supriadi, M. Sc., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memfasilitasi persyaratan-persyaratan untuk melaksanakan skripsi ini;
4. Ibu Dr. Sudarti, M. Kes., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Drs. Alex Harijanto, M. Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam bimbingan sejak awal hingga selesainya penulisan skripsi ini;
5. Bapak Drs. Trapsilo Prihandono, M. Si selaku Validator instrumen penelitian yang telah telah memvalidasi instrumen sebelum penelitian dilakukan;
6. Bapak Drs. Alex Harijanto, M. Si., selaku Kepala Laboratorium Pendidikan Fisika dan yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian;

7. Ibu Erni Midiawati, S. Si. selaku Teknisi Laboratorium Elektronika Dasar Pendidikan Fisika yang telah banyak membantu dan memfasilitasi laboratoriumnya selama penelitian;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari adanya keterbatasan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya-karya selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Jember, Agustus 2017

Penulis

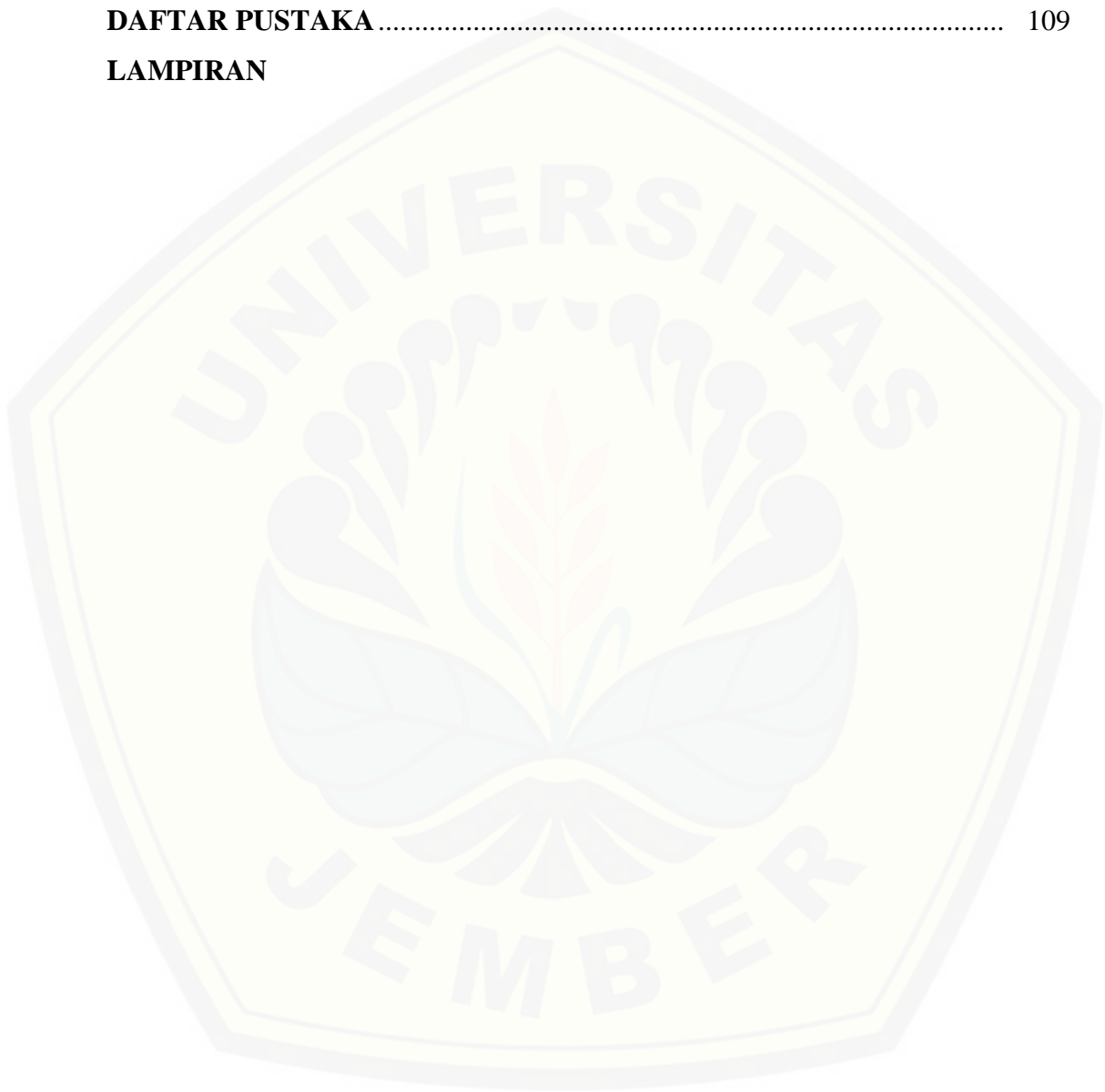
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Kapasitor pada Rangkaian RC.	7
2.1.1 <i>Charging</i> Kapasitor pada Rangkaian RC	7
2.1.2 <i>Discharging</i> Kapasitor pada Rangkaian RC.....	10
2.2 <i>Oscillator</i> dengan <i>555 Timer</i>	11
2.3 Rangkaian RLC	17
2.4 Rangkaian RLC dengan Input Arus dan Tegangan Gelombang Persegi.....	18
2.5 Regulator Sinusoidal AC dengan Rangkaian Antiparalel Dioda Zener	21

2.6	<i>Symmetrical Type Cocroft-Walton Voltage Multiplier</i>	
	Satu Fasa	22
2.7	<i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i>	26
2.8	Dua Kawat Paralel dengan Panjang Tak Hingga	
	Bermuatan Berlawanan	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1	Jenis Penelitian	30
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3	Batasan Penelitian	31
3.4	Gambaran Umum dan Definisi Operasional	31
3.5	Desain Penelitian	34
3.6	<i>Research and Information Collecting</i>	35
3.7	<i>Planning</i>	35
	3.7.1 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama	36
	3.7.2 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua	36
	3.7.3 <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	37
	3.7.4 <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i>	
	Satu Fasa	39
	3.7.5 <i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i>	40
3.8	<i>Develop Preliminary Form of Product</i>	41
	3.8.1 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama	41
	3.8.2 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua	43
	3.8.3 <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	44
	3.8.4 <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i>	
	Satu Fasa	48
	3.8.5 <i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i>	49
	3.8.6 <i>Visualisasi Output</i>	50
3.9	<i>Preliminary Field Testing (Validasi Logis)</i>	50
	3.9.1 Validator	50
	3.9.2 Format Validasi	50
	3.9.3 Analisis	51

3.10	<i>Main Product Revision</i>	51
3.11	<i>Main Field Testing (Uji Coba Produk)</i>	51
3.11.1	Variabel	51
3.11.2	Prosedur.....	51
3.11.3	Analisis	52
3.12	<i>Operational Product Revision</i>	52
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Hasil dan Pembahasan	53
4.1.1	Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama	54
4.1.2	Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua.....	58
4.1.3	Sub-Sirkuit Osilator <i>Relay</i>	63
4.1.4	Kombinasi Dua Buah Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah	67
4.1.5	Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	71
4.1.6	Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 150 V _{AC}	76
4.1.7	Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 200 V _{AC}	82
4.1.8	Kombinasi Dua Buah Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i>	87
4.1.9	Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Waton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa dengan <i>Input</i> 150 V _{AC}	91
4.1.10	Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Waton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa dengan <i>Input</i> 200 V _{AC}	94
4.1.11	Sub-Sirkuit Transistor-Based Pulsed Power Supply dengan Sumber Tegangan 1,44 kV _{DC}	96
4.1.12	Sub-Sirkuit Transistor-Based Pulsed Power Supply dengan Sumber Tegangan 1,81 kV _{DC}	99

4.1.13 <i>Prototype</i> Secara Keseluruhan	102
BAB 5. PENUTUP	107
5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN	



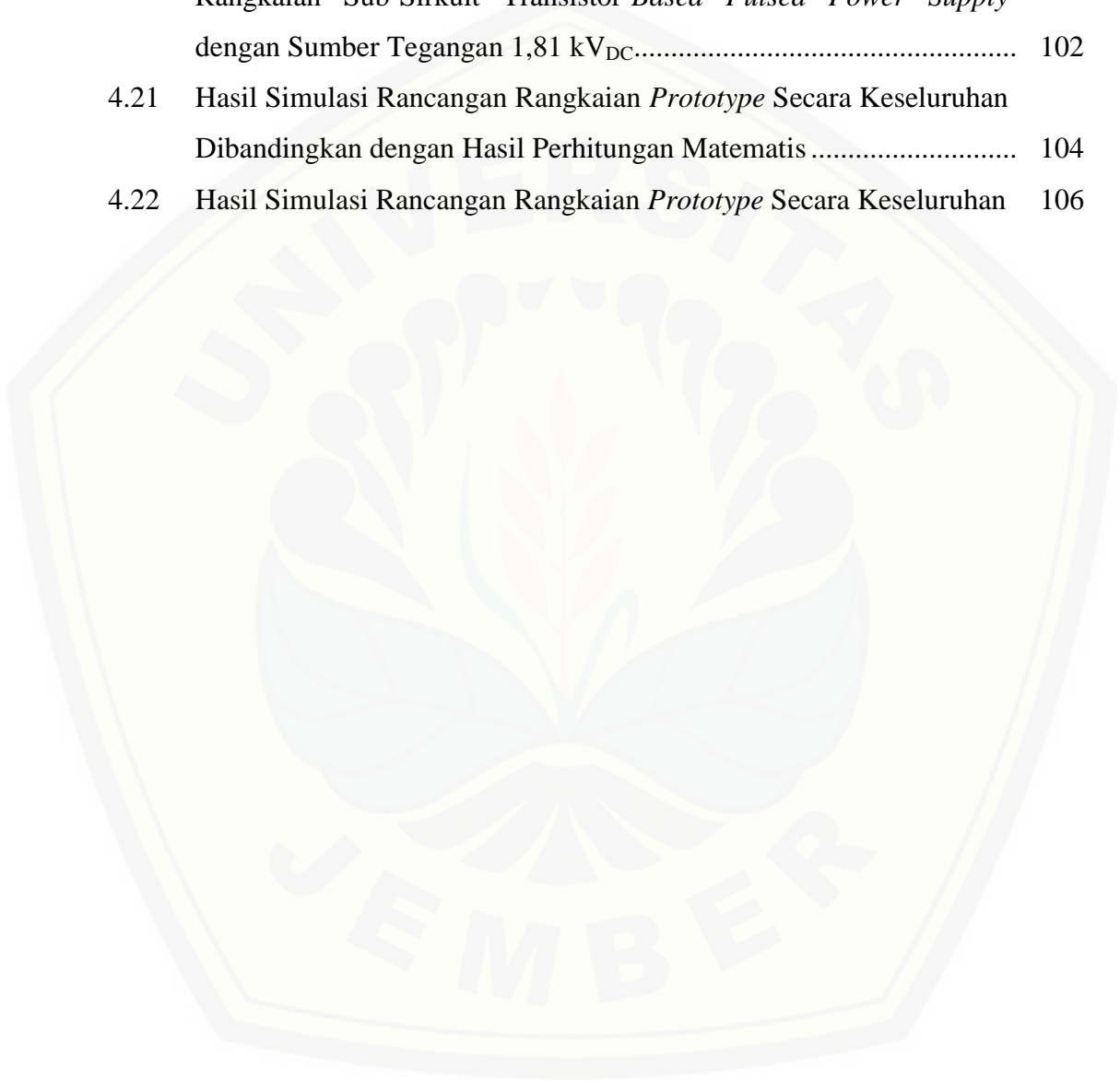
DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Spesifikasi <i>Output</i> yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama	36
3.2 Spesifikasi <i>Output</i> yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua	37
3.3 Spesifikasi <i>Output</i> yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	38
3.4 Spesifikasi <i>Output</i> yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa.....	40
3.5 Spesifikasi <i>Output</i> yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit <i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i>	40
3.6 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama.....	41
3.7 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan <i>Rating</i> Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama.....	42
3.8 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua.....	43
3.9 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan <i>Rating</i> Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua	44
3.10 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	45
3.11 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan <i>Rating</i> Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	46

3.12	Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa	48
3.13	Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan <i>Rating</i> Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa	48
3.14	Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Transistor- <i>Based Pulsed Power Supply</i>	49
3.15	Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan <i>Rating</i> Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Transistor- <i>Based Pulsed Power Supply</i>	49
4.1	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	56
4.2	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama	58
4.3	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	60
4.4	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua	62
4.5	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Osilator Relay</i> Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	65
4.6	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Osilator Relay</i>	67
4.7	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Kombinasi Dua Buah Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	69
4.8	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis ..	73

4.9	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i>	76
4.10	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 150 V_{AC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis.....	79
4.11	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 150 V_{AC}	81
4.12	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 200 V_{AC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis.....	84
4.13	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> 200 V_{AC}	87
4.14	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Kombinasi Dua Buah Sub-Sirkuit <i>Sinusoidal-Voltage Source</i> yang Terhubung dengan AC <i>Voltage-Regulator</i> Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	88
4.15	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa dengan <i>Input</i> 150 V_{AC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis.....	93
4.16	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i> Satu Fasa dengan <i>Input</i> 200 V_{AC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis.....	96
4.17	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i> dengan Sumber Tegangan 1,44 kV_{DC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	98
4.18	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit <i>Transistor-Based Pulsed Power Supply</i> dengan Sumber Tegangan 1,44 kV_{DC}	99

4.19	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Transistor- <i>Based Pulsed Power Supply</i> dengan Sumber Tegangan 1,81 kV _{DC} Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	101
4.20	Spesifikasi Tambahan dari <i>Output</i> Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Sub-Sirkuit Transistor- <i>Based Pulsed Power Supply</i> dengan Sumber Tegangan 1,81 kV _{DC}	102
4.21	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian <i>Prototype</i> Secara Keseluruhan Dibandingkan dengan Hasil Perhitungan Matematis	104
4.22	Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian <i>Prototype</i> Secara Keseluruhan	106



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Rangkaian RC dengan saklar tertutup	7
2.2 Respon dari Rangkaian RC dengan pengisian kapasitor sesuai dengan persamaan 2.1.7	8
2.3 Respon tegangan pada rangkaian RC sesuai dengan persamaan 2.1.8.....	9
2.4 Respon arus pada rangkaian RC sesuai dengan persamaan 2.1.9	9
2.5 Pengosongan kapasitor	10
2.6 Skema 8 pin DIP IC 555 timer	11
2.7 Blok diagram dari IC 555 timer	13
2.8 Rangkaian <i>oscillator</i> gelombang persegi dengan IC 555 timer	13
2.9 Skema <i>output</i> pulsa tinggi (t_H) pada IC 555 timer	14
2.10 Skema <i>output</i> pulsa randaj (t_L) pada IC 555 timer	15
2.11 Rangkaian RLC	17
2.12 Dua siklus pertama dari arus dan tegangan kapasitor pada rangkaian RLC	20
2.13 Rangkaian regulator sinusoidal AC.....	21
2.14 Rangkaian regulator sinusoidal AC dengan <i>input</i> sebesar 10 V	21
2.15 Perbandingan bentuk gelombang input dan output pada regulator sinusoidal AC	22
2.16 Rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa	22
2.17 Rangkaian ekivalen dari beberapa model operasi yang saling berhubungan: (a) model 1 (t_1-t_2), (b) model 2 (t_2-t_3), (c) model 3 (t_3-t_4), dan (4) model 4 (t_4-t_5).....	23
2.18 Rangkaian transistor- <i>based pulsed power supply</i>	26
2.19 Dua buah penampang kawat sejajar bermuatan berlawanan.....	27
3.1 Diagam alir perancangan <i>prototype</i>	32

3.2	Desain penelitian <i>research and development</i> hingga tahap <i>operational product revision</i>	35
3.3	Tampilan awal <i>software</i> NI Multisim™ 14.0	41
4.1	Rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama.	54
4.2	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama.....	55
4.3	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama.....	56
4.4	Rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua.....	59
4.5	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua.....	60
4.6	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua... ..	61
4.7	Rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i>	63
4.8	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i>	64
4.9	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i>	65
4.10	Rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah... ..	68
4.11	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah.....	68
4.12	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i> sebagai pengatur durasi <i>output</i> dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah.....	69
4.13	Rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i>	72
4.14	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i>	73

4.15	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i>	74
4.16	Rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC}	77
4.17	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC}	78
4.18	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC}	79
4.19	Rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC}	82
4.20	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC}	83
4.21	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC}	84
4.22	Rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i>	87
4.23	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit <i>sinusoidal-voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i>	88
4.24	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i> sebagai pengatur durasi <i>output</i> dari sub-sirkuit <i>sinusoidal voltage source</i>	89
4.25	Rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa dengan <i>input</i> 150 V _{AC} (a) rangkaian sub-sirkuit penuhl (b) rangkaian dua <i>stage</i>	92

4.26	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa dengan <i>input</i> 150 V _{AC}	93
4.27	Rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa dengan <i>input</i> 200 V _{AC} (a) rangkaian sub-sirkuit penuhl (b) rangkaian dua <i>stage</i>	94
4.28	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa dengan <i>input</i> 200 V _{AC}	95
4.29	Rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based <i>pulsed power supply</i> dengan sumber tegangan 1,44 kV _{DC}	97
4.30	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based <i>pulsed power supply</i> dengan sumber tegangan 1,44 kV _{DC}	98
4.31	Rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based <i>pulsed power supply</i> dengan sumber tegangan 1,81 kV _{DC}	100
4.32	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based <i>pulsed power supply</i> dengan sumber tegangan 1,81 kV _{DC}	101
4.33	Rancangan rangkaian <i>prototype</i> secara keseluruhan.....	103
4.34	<i>Output</i> berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian <i>prototype</i> secara keseluruhan.....	103
4.35	Lebar pulsa pertama dari rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator <i>relay</i> sebagai pengatur durasi <i>output</i> dari rangkaian <i>prototype</i> secara keseluruhan.....	104
4.1.1	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V _{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama	123
4.1.2	<i>Output duty-cycle, fall-time</i> dan <i>rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama	123

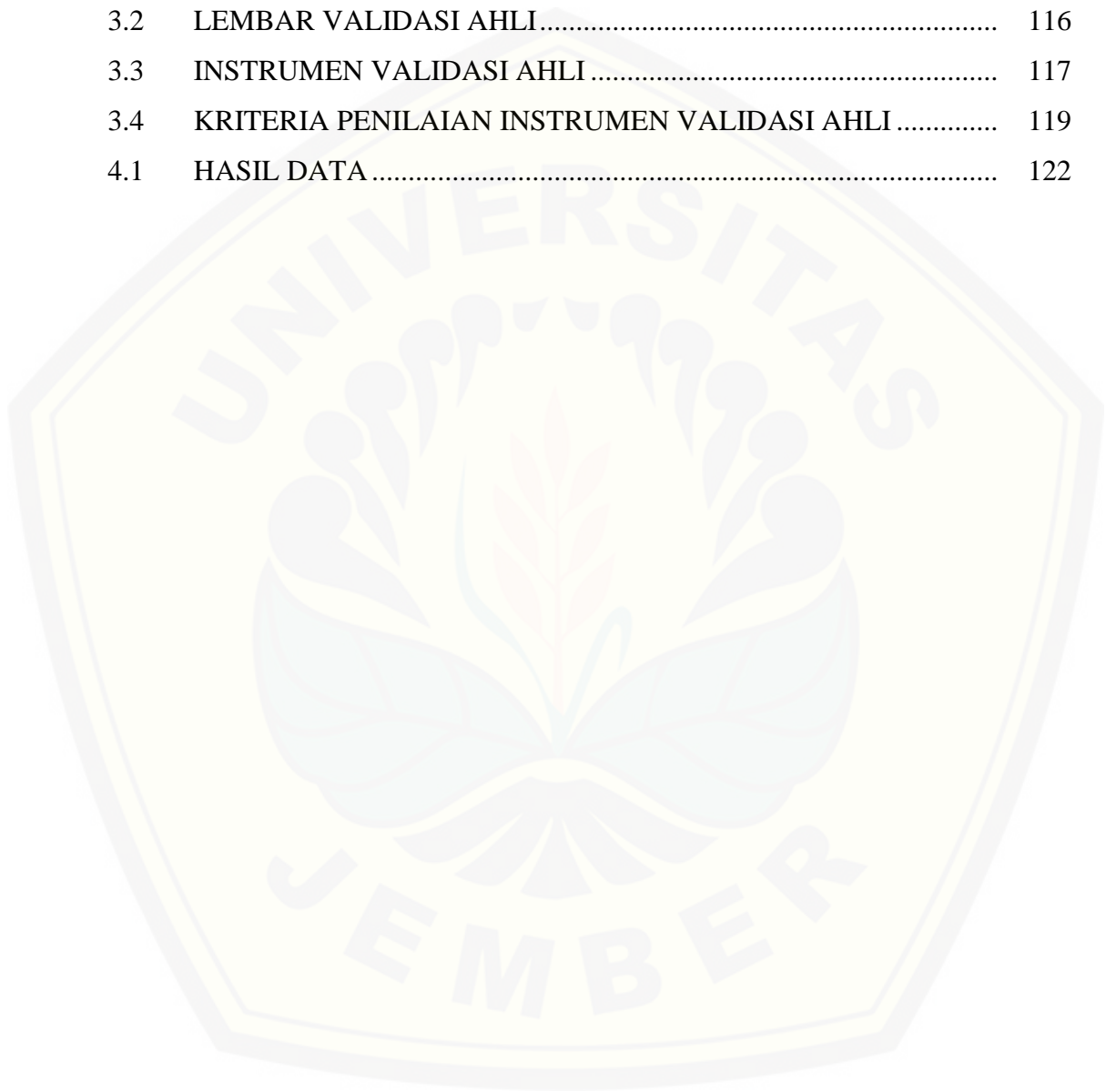
4.1.3	<i>Output</i> tegangan maksimum (V_{\max}) dan tegangan minimum (V_{\min}) dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama	124
4.1.4	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua.....	124
4.1.5	<i>Output duty-cycle, fall-time</i> dan <i>rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua...	125
4.1.6	<i>Output</i> tegangan maksimum (V_{\max}) dan tegangan minimum (V_{\min}) dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua.....	125
4.1.7	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i>	126
4.1.8	<i>Output duty-cycle, fall-time</i> dan <i>rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i>	126
4.1.9	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V_{AC}	127
4.1.10	<i>Output duty-cycle, fall-time</i> dan <i>rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V_{AC}	127
4.1.11	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V_{AC}	128
4.1.12	<i>Output duty-cycle, fall-time</i> dan <i>rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V_{AC}	128
4.1.13	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian <i>transistor-based pulsed power supply</i> dengan sumber tegangan 1,44 kV_{DC}	129

4.1.14	<i>Output duty-cycle, fall-time dan rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based pulsed power supply dengan sumber tegangan 1,44 kV _{DC}	129
4.1.15	<i>Output</i> tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based pulsed power supply dengan sumber tegangan 1,81 kV _{DC}	130
4.1.16	<i>Output duty-cycle, fall-time dan rise-time</i> dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based pulsed power supply dengan sumber tegangan 1,81 kV _{DC}	130



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 MATRIKS PENELITIAN.....	115
3.2 LEMBAR VALIDASI AHLI.....	116
3.3 INSTRUMEN VALIDASI AHLI	117
3.4 KRITERIA PENILAIAN INSTRUMEN VALIDASI AHLI	119
4.1 HASIL DATA	122



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mair & Xiu (2000) memaparkan bahwa perpaduan frekuensi telah banyak diaplikasikan dalam dunia elektronik dan desain sistem telekomunikasi terkini. Pemadu frekuensi dapat dideskripsikan sebagai sebuah peralatan elektronik aktif yang menerima sebuah frekuensi referensi dan kemudian menghasilkan satu atau lebih frekuensi baru sesuai dengan perintah kata. Teknik memadukan frekuensi secara konvensional dapat diklasifikasikan dalam tiga tipe, antara lain *phase-locked loop* (PLL), *mix/filter/divide* (*direct analog*) dan *direct digital*. Masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode PLL (*phase-locked loop*) telah banyak digunakan dalam industri, namun kesulitan utama dari metode ini adalah sebuah rentang frekuensi yang luas tidak dapat diperoleh dengan mudah melalui PLL. Selain itu, pergantian frekuensi dengan cepat sulit untuk diperoleh. Pemaduan frekuensi dengan teknik *direct-analog* menggunakan komponen fungsional dari perkalian, pembagian dan manipulasi matematis lainnya untuk memproduksi frekuensi yang diinginkan, dimana proses ini umumnya adalah sebuah proses yang sangat mahal. Adapun *direct-digital-synthesis* (DDS) menggunakan logika dan memori untuk mengkonstruksi secara *digital* frekuensi yang diinginkan untuk kemudian dikonversi menjadi sinyal analog menggunakan sebuah *digital-to-analog* (D/A) *converter* dimana pelaksanaannya merupakan sumber kemacetan dalam metode ini.

Sebuah penelitian yang telah dipatenkan memaparkan sebuah metode pemaduan frekuensi (Xiu & You, 2005) dengan memadukan metode PLL dengan *voltage controlled oscillator* (VCO) (Xiu & You, 2008) dimana frekuensi yang dihasilkan dapat berganti dengan cepat (Xiu, 2012: 40), dapat dijeda, direntangkan dan disela (Xiu, 2012: 55). Berdasarkan keunggulan tersebut, aplikasi perpaduan frekuensi dalam penerapannya berpotensi untuk tidak hanya terbatas dalam aplikasi digital dan sistem telekomunikasi, namun dapat diaplikasikan dan memberi banyak manfaat dalam sistem analog khususnya dalam kaitannya dengan pengolahan makanan, kesehatan dan lingkungan. Salah satu

teknologi yang dapat mengaplikasikan fungsi tersebut adalah teknologi pulsa medan listrik atau *pulsed electric fields* (PEF). *Pulsed power*, dalam hal ini pulsa tegangan listrik, merupakan sebuah skema dimana energi yang tersimpan dilepaskan sebagai energi listrik kepada beban dalam wujud sebuah pulsa tunggal yang singkat atau sebagai beberapa pulsa dengan kecepatan pengulangan yang terkontrol (Bluhm, 2006). Adapun, medan listrik dikatakan timbul dalam suatu media apabila terdapat muatan listrik yang menyebar di dalamnya dan memiliki suatu gaya yang diberikan terhadap media tersebut (Attwood, 1932). Dengan demikian, generator pulsa medan listrik merupakan suatu peralatan elektronik yang menghasilkan suatu pulsa medan listrik dengan kecepatan pengulangan terkontrol melalui dua buah elektroda yang tersusun secara paralel.

Grenier (2006) memaparkan bahwa kegunaan dari pulsa medan listrik atau *pulsed electric field* (PEF) telah dimanfaatkan pada aplikasi bioteknologi yang diantaranya aplikasi perlakuan pada sel kanker, terapi gen, *drug-delivery* pada sel dan jaringan juga inaktivasi mikroorganisme dengan proses non-termal; pemrosesan makanan; serta aplikasi bidang industri yang termasuk di dalamnya proses penyaringan partikel gas menggunakan metode pengendapan elektrostatis. Selanjutnya, Vorobiev *et al.* (2008) juga memaparkan bahwa elektroteknologi yang penerapannya berdasar pada efek dari pulsa medan listrik menjadi sangat menarik dalam kaitannya dengan pengolahan makanan. Teknik ini memungkinkan peningkatan efisiensi proses ekstraksi dari tanaman pangan, baik ekstraksi intrasel dari mikroalga (Goettel *et al.*, 2013); kalsium tak larut dari tulang (Yin dan He, 2007); fenol (Delsart *et al.*, 2012); polifenol (Luengo *et al.*, 2013); *anthocyanin* (Gachovska *et al.*, 2010); sukrosa (Lopez *et al.*, 2009); *red beetroot pigment* (Chalermchat *et al.*, 2004); polisakarida (Yongguang *et al.*, 2006), serta dehidrasi dari komponen *biosolids*. Metode pulsa medan listrik dapat menjaga sifat gizi, fungsional, struktural, dan sensorik dari produk dengan lebih baik daripada teknologi ekstraksi konvensional. Di samping itu, perlakuan pulsa medan listrik sangat efektif untuk pemisahan bioproduk dan dehidrasi limbah makanan (Vorobiev *et al.*, 2008), reduksi kandungan pestisida pada buah (Zhang

et al., 2011), inaktivasi enzim tidak menguntungkan (Giner *et al.*, 2002; Quitao-Teixeira *et al.*, 2008) serta pemurnian minyak nabati (Guderjan *et al.*, 2005).

Perpaduan spesifikasi pulsa medan listrik, diantaranya amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi pulsa medan listrik dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sampel yang dipapar jika dibandingkan dengan pemaparan pulsa medan listrik dengan spesifikasi tunggal. Spesifikasi amplitudo pulsa medan listrik terhadap enzim memberikan efek peningkatan aktivitas enzim jika amplitudo di bawah 12 kV dan sebaliknya memberikan efek penurunan aktivitas hingga inaktivasi enzim jika amplitudo di atas 17 kV yang dapat disimpulkan bahwa perlakuan pulsa medan listrik dengan spesifikasi yang berbeda dapat menyebabkan beberapa perubahan bentuk yang menyebabkan kenaikan atau penurunan aktivitas enzim (Ohshima *et al.*, 2007). Hal tersebut terkait dengan korelasi antara fluktuasi dinamis dan gerakan internal protein penyusun enzim dengan aktivitas enzim yang bersangkutan (Gao, 2003) dan peran medan listrik dalam proses transpot melalui membran sel serta proses polarisasi ion pada membran sel yang dapat menyebabkan elektroporasi *reversible* maupun *irreversible* (Bluhm, 2006). Durasi pulsa medan listrik yang berbeda dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap disintegrasi pada jaringan sel (De Vito *et al.*, 2008) dalam kaitannya dengan elektroporasi secara *reversible* untuk penyisipan gen dan obat serta elektroporasi secara *irreversible* untuk proses ekstraksi. *Duty-cycle* pada pulsa medan listrik dapat berperan dalam memberikan jeda pada proses pergantian spesifikasi pulsa medan listrik jika dikondisikan dalam sebuah siklus yang memiliki frekuensi rendah. Perpaduan frekuensi pulsa medan listrik dapat memberi efek dalam proses penggabungan tetes-tetes minyak dan memberikan kondisi konstan lebih besar pada minyak (Peng *et al.*, 2015). Berdasarkan hal tersebut, perpaduan spesifikasi pulsa medan listrik dapat berperan dalam efisiensi proses yang melibatkan beberapa proses berbeda secara berkelanjutan pada sampel yang sama, salah satunya pada sel hewani.

Namun demikian, generator pulsa medan listrik konvensional sulit untuk menghasilkan sebuah *output* pulsa medan listrik dengan amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi yang terkombinasi, di samping itu periode *output* (T) dapat

dengan tiba-tiba berubah menjadi dua kalinya ($2T$) atau saat *duty-cycle output* yang diinginkan sebesar 94% atau lebih maka akan terdapat penurunan amplitudo sebesar 50% atau lebih jika arus *output* sebesar 100 mA (Stahl, 2000). Dengan demikian, penulis melakukan sebuah penelitian dengan judul “**Perancangan Prototype Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan Output Amplitudo, Durasi, Duty-Cycle dan Frekuensi Terkombinasi**”. Amplitudo yang dipilih sebagai *output* untuk menguji kinerja dari *prototype* adalah sebesar 1,5 kV dan 2 kV berdasar pada salah satu penerapan pulsa medan listrik dengan spesifikasi terkombinasi pada sel hewani dengan pertimbangan bahwa perlakuan pulsa medan listrik dengan amplitudo 1,5 kV/cm efektif dalam pelepasan *anthocyanins* pada buah anggur merlot yang berperan sebagai senyawa bioprotektif terhadap oksidasi (Leong *et al.*, 2015), adapun perlakuan pulsa medan listrik dengan amplitudo 2 kV/cm merupakan amplitudo maksimum di dalam rentang elektroporasi efektif pada sel hewani (Nickoloff, 1995: 35-38) dimana kedua peran tersebut dapat diterapkan dalam sebuah perlakuan tunggal yang berkesinambungan pada sel hewani, contoh bidang pangan adalah pada *fillet* tipis ikan laut mentah untuk mengekstrak antioksidan (Leong *et al.*, 2015) kemudian menyisipkan senyawa antioksidan tersebut ke dalam jaringan sel ikan laut yang bertujuan untuk memperpanjang daya simpan dari ikan laut yang terkait, sedangkan pada bidang kesehatan sebagai perlakuan penyisipan ekstrak temulawak ke dalam sel atau jaringan kanker sebagai *growth-inhibitor* (Anand *et al.*, 2008) kemudian berlanjut pada proses apoptosis pada sel yang terkait (Beebe *et al.*, 2003). *Prototype* ini terdiri atas DC *power source*, generator pulsa tegangan rendah bagian pertama, generator pulsa tegangan rendah bagian kedua, *sinusoidal-voltage source*, *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa dan *transistor-based pulsed power supply*. Diharapkan, melalui penelitian ini dapat merancang dan mengkaji sebuah rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik yang mampu untuk menghasilkan *output* pulsa medan listrik tegangan medium dengan spesifikasi amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi?
- b. Bagaimanakah hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi?

1.3 Tujuan Penelitian

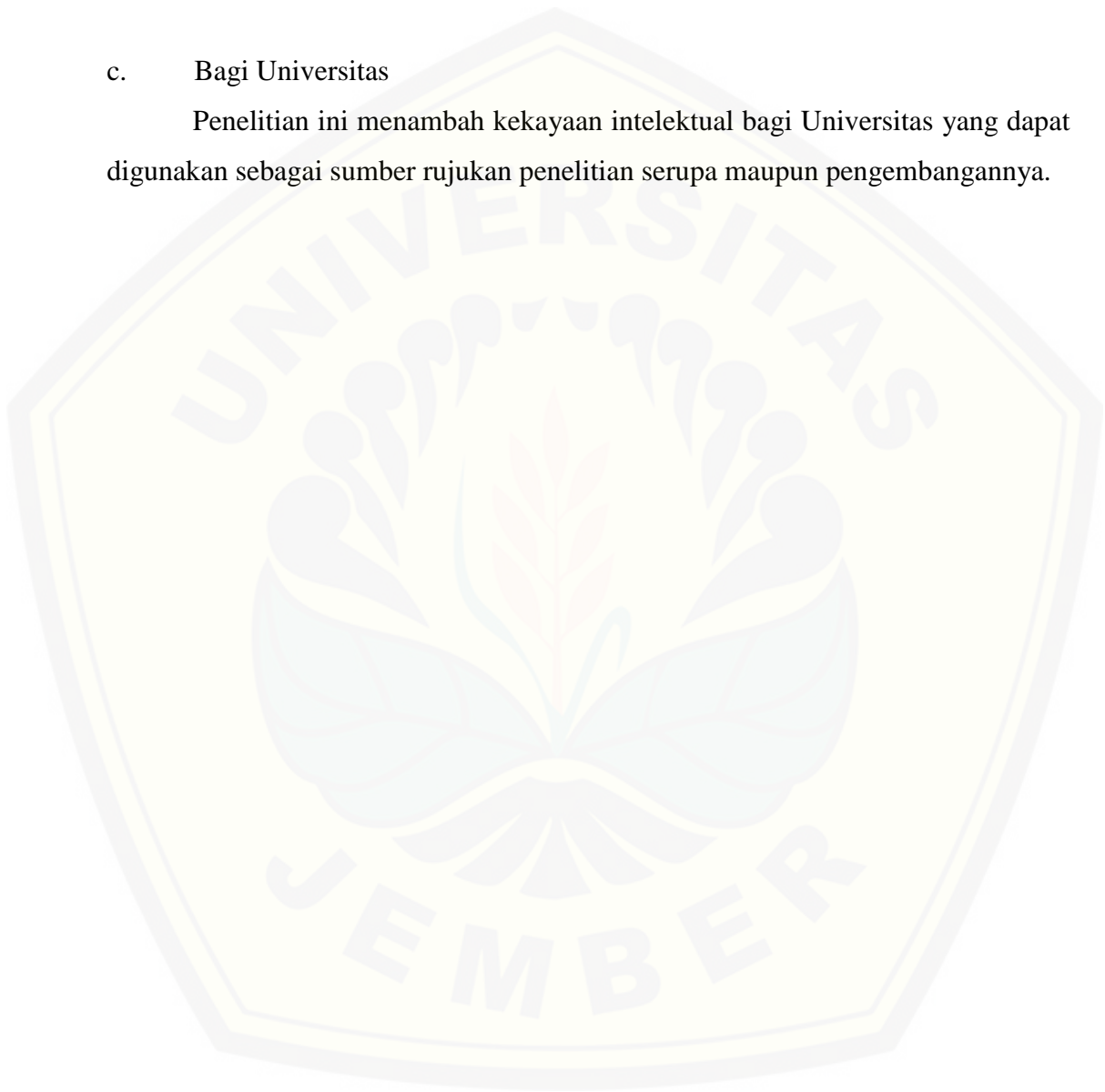
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendesain rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.
- b. Memperoleh hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Bagi Penulis
 1. Penelitian ini merupakan sebuah wujud kreativitas nyata bagi penulis dalam menganalisis dan menemukan solusi bagi permasalahan yang sedang diteliti.
 2. Penelitian ini merupakan sebuah wadah penalaran bagi penulis untuk mengembangkan kemampuannya dalam analisis fisika dan penerapannya dalam kehidupan nyata.
- b. Bagi Mahasiswa dan Masyarakat Umum
 1. Penelitian ini dapat menjadi sebuah referensi keilmiah untuk dikembangkan dan atau disempurnakan dalam sebuah penelitian baru berikutnya.

2. Penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi bagi teknologi perancangan *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan output amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.
- c. Bagi Universitas
- Penelitian ini menambah kekayaan intelektual bagi Universitas yang dapat digunakan sebagai sumber rujukan penelitian serupa maupun pengembangannya.

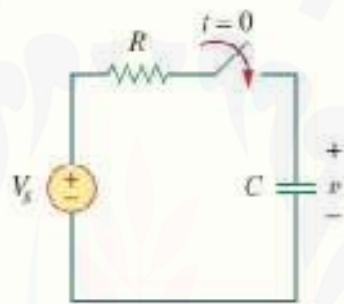


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Charging dan Discharging Kapasitor pada Rangkaian RC

2.1.1 Charging Kapasitor pada Rangkaian RC

Ketika sebuah sumber DC pada sebuah rangkaian RC menyala, sumber tegangan atau sumber arus DC tersebut dapat dimodelkan sebagai sebuah fungsi tindakan (*step response*), yang bermakna sebuah respon dari rangkaian terkait dengan sebuah aplikasi dari sumber tegangan atau sumber arus DC secara tiba-tiba (Alexander dan Sadiku, 2013: 273-274).



Gambar 2.1 Rangkaian RC dengan saklar tertutup (Sumber: Alexander dan Sadiku, 2013: 274)

Berdasarkan pada Gambar 2.1 di atas, diasumsikan bahwa:

$$v(0^-) = v(0^+) = V_0 \dots \dots \dots (2.1.1)$$

dimana $v(0^-)$ adalah tegangan yang melalui kapasitor sesaat sebelum saklar tertutup dan $v(0^+)$ adalah tegangan kapasitor setelah saklar tertutup. Dengan mengaplikasikan hukum arus Kirchoff, diperoleh sebagai berikut:

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v - V_s u(t)}{R} = 0 \text{ atau } \frac{dv}{dt} + \frac{v}{RC} = \frac{V_s}{RC} u(t) \dots \dots \dots (2.1.2)$$

dimana v adalah tegangan yang melalui kapasitor dan $u(t)$ adalah *unit step function* dalam *switching function*. Untuk $t > 0$, persamaan (2.1.2) menjadi:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{RC} = \frac{V_s}{RC} \dots \dots \dots (2.1.3)$$

Menyusun kembali persamaan (2.1.3) sehingga diperoleh:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{v - V_s}{RC} \text{ atau } \frac{dv}{v - V_s} = -\frac{dt}{RC} \dots \dots \dots (2.1.4)$$

Mengintegrasikan kedua sisi dan mendapati kondisi awal sebagai berikut:

$$\ln(v - V_s) \Big|_{V_s}^{v(t)} = -\frac{t}{RC} \Big|_0^t$$

$$\ln[v(t) - V_s] - \ln(V_0 - V_s) = -\frac{t}{RC} + 0$$

atau $\ln \frac{v - V_s}{V_0 - V_s} = -\frac{t}{RC}$(2.1.5)

Mengekspansi kedua sisi hingga diperoleh:

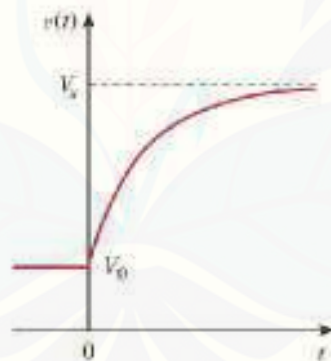
$$\frac{v - V_s}{V_0 - V_s} = e^{-t/\tau}, \text{ dimana } \tau = RC$$

$$v - V_s = (V_0 - V_s)e^{-t/\tau}$$

atau $v(t) = V_s + (V_0 - V_s)e^{-t/\tau}$ dengan $t > 0$(2.1.6)

Maka, $v(t) = \begin{cases} V_0, & t < 0 \\ V_s + (V_0 - V_s)e^{-t/\tau}, & t > 0 \end{cases}$(2.1.7)

Hal ini disebut sebagai respon komplit dari rangkaian RC terhadap aplikasi tiba-tiba dari sumber tegangan DC, mengasumsikan kapasitor mulai ter-input dengan muatan. Jika diasumsikan $V_s > V_0$, sebuah plot $v(t)$ adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Respon dari rangkaian RC dengan pengisian kapasitor sesuai dengan persamaan 2.1.7 (Sumber: Alexander dan Sadiku, 2013: 275)

Jika mengasumsikan bahwa kapasitor belum terisi terlebih dahulu, maka didapati $V_0 = 0$ pada persamaan (2.1.7), sehingga:

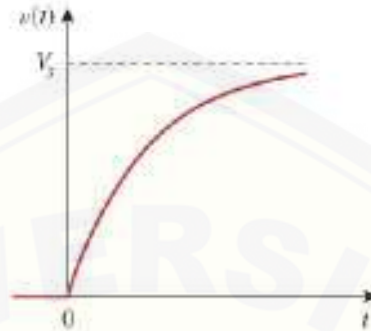
$$v(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ V_s(1 - e^{-t/\tau}), & t > 0 \end{cases}$$
.....(2.1.8)

Sedangkan arus yang melalui kapasitor diperoleh dari persamaan (2.1.8) menggunakan $i(t) = C \frac{dv}{dt}$ dan diperoleh:

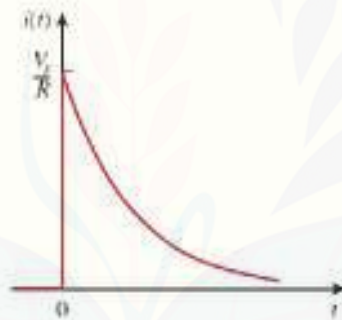
$$i(t) = C \frac{dv}{dt} = \frac{C}{\tau} V_s e^{-t/\tau}, \text{ dimana } \tau = RC \text{ dan } t > 0, \text{ atau}$$

$$i(t) = \frac{V_s}{R} e^{-t/\tau} u(t) \dots \dots \dots (2.1.9)$$

Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 berikut menunjukkan plot dari tegangan kapasitor $v(t)$ dan arus kapasitor $i(t)$.



Gambar 2.3 Respon tegangan pada rangkaian RC sesuai dengan persamaan 2.1.8 (Sumber: Alexander dan Sadiku, 2013: 275)



Gambar 2.4 Respon arus pada rangkaian RC sesuai dengan persamaan 2.1.9 (Sumber: Alexander dan Sadiku, 2013: 275)

Respon komplit dapat dituliskan pula sebagai:

Complete response = *natural response* (energi yang tersimpan) + *forced response* (*independent source*) atau $v = v_n + v_f \dots \dots \dots (2.1.10)$

dimana $v_n = V_0 e^{-t/\tau}$ dan $v_f = V_s (1 - e^{-t/\tau})$. Sehingga diperoleh:

$$v = V_0 e^{-t/\tau} + V_s (1 - e^{-t/\tau}) \dots \dots \dots (2.1.11)$$

Persamaan (2.1.11) di atas sesuai dengan persamaan (2.1.7), v_f disebut sebagai *forced response* karena terjadi dalam rangkaian RC ketika eksternal “force”, dalam hal ini sebuah sumber tegangan, diaplikasikan (Alexander dan Sadiku, 2013: 274-275).

2.1.2 Discharging Kapasitor pada Rangkaian RC

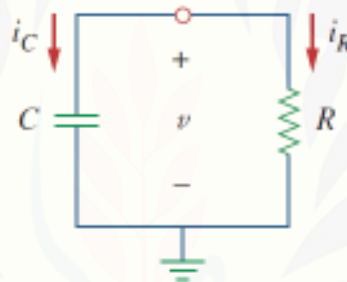
Proses *discharging* atau pengosongan kapasitor terjadi ketika sumber arus dan tegangan DC pada rangkaian RC tiba-tiba mati atau ter-*switch off* sehingga energi yang telah tersimpan di dalam kapasitor terlepas menuju resistor. Sejak kapasitor memulai proses pengisian, dapat diasumsikan bahwa pada $t = 0$, tegangan awal adalah:

$$v(0) = V_0 \dots \dots \dots (2.1.12)$$

dengan mengorespondingkan nilai dari energi yang tersimpan sebagai:

$$w(0) = \frac{1}{2} CV^2_0 \dots \dots \dots (2.1.13)$$

Mengaplikasikan hukum arus Kirchoff pada node atas dari rangkaian pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Pengosongan kapasitor (Sumber: Alexander dan Sadiku, 2013: 255)

maka diperoleh:

$$i_C + i_R = 0 \dots \dots \dots (2.1.14)$$

dengan mendefinisikan $i_C = C \frac{dv}{dt}$ dan $i_R = \frac{v}{R}$, maka diperoleh:

$$C \frac{dv}{dt} + \frac{v}{RC} = 0 \dots \dots \dots (2.1.15)$$

$$\text{atau } \frac{dv}{dt} + \frac{v}{RC} = 0 \dots \dots \dots (2.1.16)$$

persamaan di atas merupakan persamaan diferensial orde pertama, sejak hanya terdapat penurunan pertama dari v . Untuk menyelesaikannya, dapat diubah menjadi:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{1}{RC} dt \dots \dots \dots (2.1.17)$$

Mengintegalkan kedua sisi akan diperoleh:

$$\ln v = -\frac{t}{RC} + \ln A$$

dimana $\ln A$ adalah integral konstan, maka:

$$\ln \frac{v}{A} = -\frac{t}{RC} \dots \dots \dots (2.1.18)$$

Menggunakan eksponensial diperoleh:

$$v(t) = Ae^{-t/RC}$$

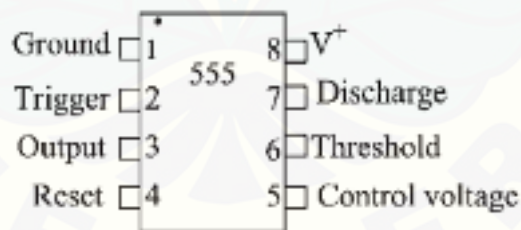
Namun, dari kondisi awal yaitu $v(0) = A = V_0$. Dengan demikian:

$$v(t) = V_0 e^{-t/RC} \dots \dots \dots (2.1.19)$$

Respon tegangan di atas juga disebut dengan *natural response* dari rangkaian RC. Sebuah *natural response* dari sebuah rangkaian RC berdasar pada sifat (dalam hal ini arus dan tegangan) dari rangkaian itu sendiri dengan tanpa sumber eksitasi eksternal (Alexander dan Sadiku, 2013: 255).

2.2. Oscillator dengan 555 Timer

IC 555 telah banyak digunakan dalam beragam *oscillator* gelombang persegi dan aplikasi pada generator pulsa dengan kemampuan menghasilkan frekuensi maksimum 500 kHz sampai dengan 2 MHz (Williamson-labs, 2015). Skema 8 pin DIP dan blok diagram dari 555 timer adalah sebagai berikut:



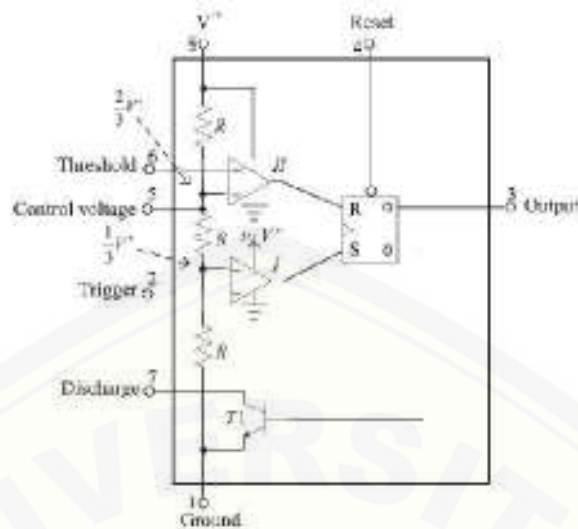
Gambar 2.6 Skema 8 pin DIP IC 555 timer (Sumber: Gonzalez, 2007: 382)

Jabaran fungsi dari masing-masing pin pada IC 555 timer (Gonzalez, 2007: 382-383) antara lain sebagai berikut:

- Pin 1 (*Ground*): pin untuk fungsi *ground* pada rangkaian.
- Pin 2 (*Trigger*): ketika *input* tegangan pada pin 2 jatuh di bawah dari $V^+/3$, maka *output* dari komparator I berubah keadaannya (dari rendah ke tinggi)

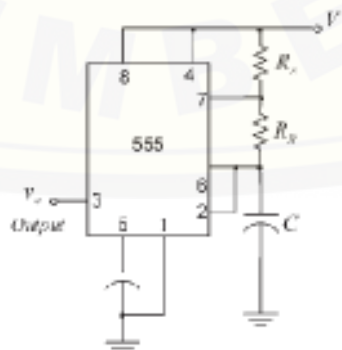
yang menyebabkan *flip-flop* menyala ($S = 1$) dan *output* Q dari flip-flop menjadi tinggi. Hal ini akan menghasilkan *output* yang tinggi pada pin 3.

- c. Pin 3 (*Output*): *Output* secara normal rendah, dan menjadi tinggi ketika sinyal *trigger* drop di bawah $V^+/3$. *Output* dari rangkaian *driver* (atau *power*) dapat menghasilkan arus maksimum 200 mA.
- d. Pin 4 (*Reset*): *Timer* 555 dapat dicatu hanya ketika tegangan pada pin reset berada di bawah 1V. Jika pin 4 di-*ground*-kan, siklus *trigger* akan terinterupsi. Pada proses normal, pin 4 biasanya dihubungkan dengan V^+ .
- e. Pin 5 (*Control Voltage*): Sebuah tegangan eksternal dihubungkan terhadap pin 5 dapat digunakan untuk mengubah tegangan referensi pada komparator. Pada kondisi normal, tegangan referensi yang digunakan adalah $2V^+/3$ dan pin 5 dalam kondisi tidak terhubung atau sebuah kapasitor $0,01 \mu\text{F}$ dihubungkan dari pin 5 ke *ground* untuk memfilter *noise* apapun yang dapat menyebabkan kesalahan *trigger*.
- f. Pin 6 (*Threshold*): Ketika tegangan input pada pin 6 lebih besar dari $2V^+/3$, maka *output* dari komparator II berubah kondisinya (dari rendah menuju tinggi). Kemudian *flip-flop* menjadi ter-*reset* (contohnya $R = 1$) menyebabkan Q menjadi rendah dan tegangan pada *output* pin 3 menjadi rendah. Sesaat sejak $Q = 1$, transistor *T* akan menyala dan menghubungkan pin 7 ke *ground*.
- g. Pin 7 (*Discharge*): Pin *discharge* terhubung dengan kolektor pada transistor *T*. Transistor dalam keadaan *off* ketika $Q = 1$ (contohnya saat *output*nya tinggi) dan $Q = 0$. Serta transistor dalam keadaan *on* ketika $Q=0$ (contohnya saat *output*nya rendah) dan $Q = 1$. Pin ini umumnya digunakan untuk mengontrol *charging* atau *discharging* dari sebuah kapasitor yang terhubung di antara pin 7 dan *ground*.
- h. Pin 8 (*Supply Voltage*): Tegangan suplai dapat berada dalam rentang 4,5V hingga 18V. IC 555 *timer* pada dasarnya didesain untuk operasi 5V agar dapat kompatibel dengan komponen TTL.



Gambar 2.7 Blok diagram dari IC 555 timer (Sumber: Gonzalez, 2007)

Berdasar pada Gambar 2.7 di atas, IC 555 timer terdiri atas dua buah komparator yang mengontrol output dari *flip-flop*. Output dari *flip-flop* dipasangkan pada pin *output* (pin 3) melalui sebuah rangkaian *output driver*. Output dari *flip-flop* juga mengontrol keadaan *on* dan *off* dari transistor *T*. Transistor juga dimaksudkan sebagai transistor *discharge* sejak berfungsi sebagai *switch* dan mengontrol *charging* atau *discharging* dari sebuah kapasitor eksternal yang terhubung dari pin 7 menuju *ground*. Tiga resistor internal (umumnya $R = 5k\Omega$) menghasilkan sebuah pembagian tegangan yang menyediakan terminal *input* positif dari komparator I pada $V^+/3$, dan terminal *input* negatif dari komparator (Gonzalez, 2007: 381).



Gambar 2.8 Rangkaian *oscillator* gelombang persegi dengan IC 555 timer (Sumber: Gonzalez, 2007: 385)

Persamaan siklus pengisian kapasitor (Digital Electronics™, 2009: 2) adalah sebagai berikut:

$$V_C = (V_{Final} - V_{Initial}) \times (1 - e^{-t/RC}) + V_{Initial} \dots \dots \dots (2.2.1)$$

dimana:

- V_C : tegangan yang melalui kapasitor
- V_{Final} : tegangan yang melalui kapasitor yang terisi penuh
- $V_{Initial}$: tegangan awal yang melalui kapasitor saat kapasitor mulai proses pengisian

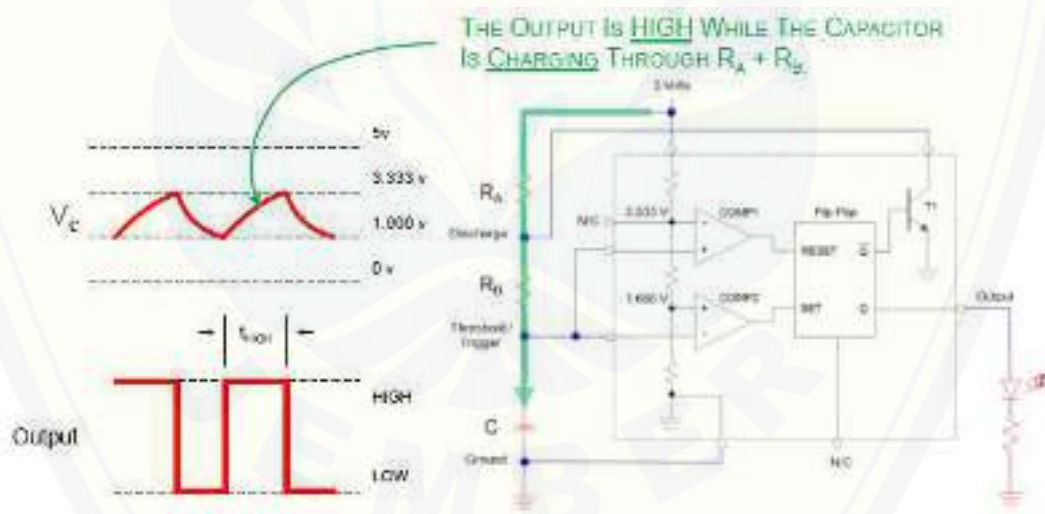
Persamaan (2.2.1) di atas merupakan penjabaran dari persamaan pengisian kapasitor pada rangkain RC seperti pada persamaan (2.1.7), yaitu:

$$V_C = V_{Final} - V_{Final}e^{-t/RC} - V_{Initial} + V_{Initial}e^{-t/RC} + V_{Initial}$$

$$V_C = V_{Initial}e^{-t/RC} - V_{Final}e^{-t/RC} + V_{Final}$$

$$\text{atau } V_C = (V_{Initial} - V_{Final})e^{-t/RC} + V_{Final}$$

$$\text{sesuai dengan } v(t) = V_s(1 - e^{-t/\tau})$$



Gambar 2.9 Skema *output* pulsa tinggi (t_H) pada IC 555 timer (Sumber: Digital Electronics™, 2009: 3)

Berdasarkan pada Gambar 2.9 di atas, waktu saat *output* pulsa tinggi (t_H) diperoleh melalui:

$$V_C = (V_{Final} - V_{Initial}) \times (1 - e^{-t/RC}) + V_{Initial}$$

$$\frac{2}{3}V_{CC} = \left(V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}\right) \times (1 - e^{-t/RC}) + \frac{1}{3}V_{CC}$$

$$\frac{2}{3}V_{CC} = \left(\frac{2}{3}V_{CC}\right) \times (1 - e^{-t/RC}) + \frac{1}{3}V_{CC}$$

$$\frac{\frac{2}{3}V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC}}{\frac{2}{3}V_{CC}} = (1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{1}{2} = (1 - e^{-t/RC})$$

$$-\frac{1}{2} = -e^{-t/RC}$$

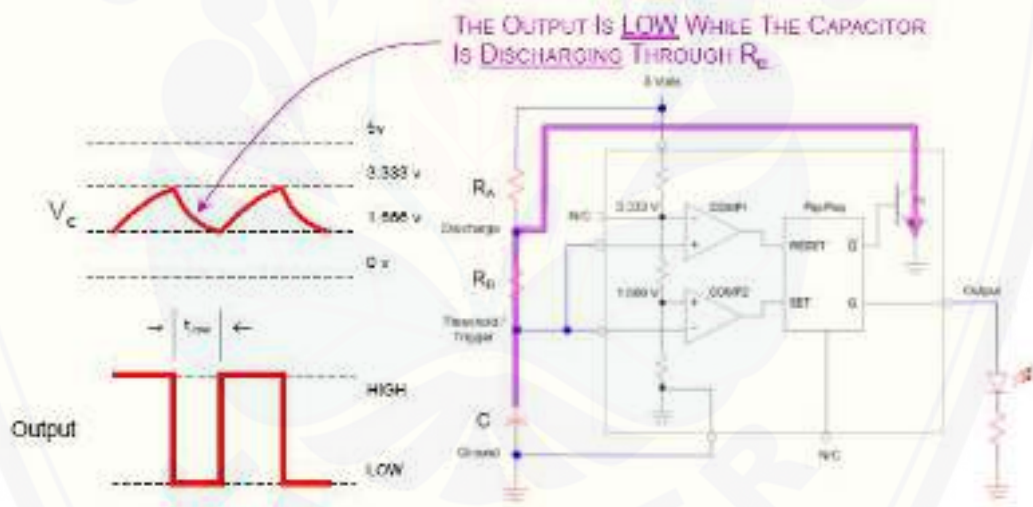
$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-t/RC})$$

$$-0,693 = -\frac{t}{RC}$$

$$t_H = 0,693 RC$$

$$t_H = 0,693(R_A + R_B)C \dots \dots \dots (2.2.2)$$

(Digital Electronics™, 2009: 6).



Gambar 2.10 Skema output pulsa rendah (t_L) pada IC 555 timer (Sumber: Digital Electronics™, 2009: 3)

Berdasarkan Gambar 2.10 di atas, siklus pengosongan kapasitor diperoleh melalui:

$$V_C = (V_{Initial} - V_{Final}) \times (e^{-t/RC}) \dots \dots \dots (2.2.3)$$

dimana:

V_C : tegangan yang melalui kapasitor

V_{Final} : tegangan yang melalui kapasitor yang terisi penuh

$V_{Initial}$: tegangan awal yang melalui kapasitor saat kapasitor mulai proses pengisian

(Digital Electronics™, 2009: 2).

Persamaan (2.2.3) di atas sesuai dengan persamaan pengosongan kapasitor pada rangkaian RC, mengingat besar V_{Final} pada siklus pengosongan kapasitor adalah 0V. Adapun, waktu saat *output* pulsa rendah (t_L) diperoleh melalui:

$$V_C = (V_{Initial} - V_{Final}) \times (e^{-t/RC})$$

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \left(\frac{2}{3}V_{CC} - 0\right) \times (e^{-t/RC})$$

$$\frac{1}{3}V_{CC} = \left(\frac{2}{3}V_{CC}\right) \times (e^{-t/RC})$$

$$\frac{\frac{1}{3}V_{CC}}{\frac{2}{3}V_{CC}} = (e^{-t/RC})$$

$$\frac{1}{2} = (e^{-t/RC})$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-t/RC})$$

$$-0,693 = -\frac{t}{RC}$$

$$t_L = 0,693 \times R \times C$$

$$t_L = 0,693 \times R_B \times C \dots\dots\dots(2.2.4)$$

(Digital Electronics™, 2009: 6).

dengan frekuensi dari pulsa dihitung melalui:

$$T = t_H + t_L$$

$$T = [0,693(R_A + R_B)C] + [0,693R_B C]$$

$$T = 0,693(R_A + 2R_B)C$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{0,693(R_A + 2R_B)C}$$

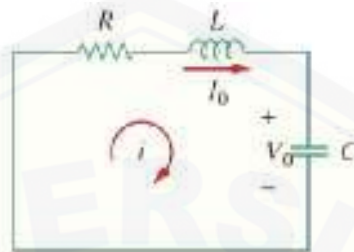
$$\text{atau } f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \dots\dots\dots(2.2.5)$$

adapun, *duty-cycle* D didefinisikan sebagai rasio dari waktu saat *output* tinggi (t_H) terhadap waktu total siklus, atau:

$$D = \frac{t_H}{T} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \dots\dots\dots(2.2.6)$$

(Gonzalez, 2007).

2.3. Rangkaian RLC



Gambar 2.11 Rangkaian RLC

Berdasarkan Gambar 2.11 di atas, tegangan mula-mula pada kapasitor adalah V_0 dan arus mula-mula pada induktor adalah I_0 . Ketika $t = 0$, maka:

$$v(0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt = V_0 \dots\dots\dots(2.3.1)$$

$$i(0) = I_0 \dots\dots\dots(2.3.2)$$

Mengaplikasikan hukum tegangan Kirchoff pada loop rangkaian pada Gambar 2.11:

$$Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = 0 \dots\dots\dots(2.3.3)$$

Untuk menghilangkan integral, perlu mendiferensialkan dengan berdasar pada t dan menyusun kembali persamaan di atas sehingga diperoleh:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0 \dots\dots\dots(2.3.4)$$

Persamaan (2.3.4) merupakan persamaan diferensial orde kedua. Untuk menyelesaikan persamaan (2.3.4) diperlukan dua kondisi mula-mula, yaitu nilai mula-mula dari i dan turunan pertamanya atau nilai mula-mula dari i dan v . Nilai mula-mula dari i diketahui dari persamaan (2.3.2). Sedangkan nilai mula-mula dari turunan i diperoleh dari persamaan (2.3.1) dan (2.3.3), yaitu:

$$Ri(0) + L \frac{di(0)}{dt} + V_0 = 0, \text{ atau } \frac{di(0)}{dt} = -\frac{1}{L}(RI_0 + V_0) \dots\dots\dots(2.3.5)$$

Dengan dua kondisi mula-mula pada persamaan (2.3.2) dan (2.3.5), persamaan (2.3.4) dapat diselesaikan melalui bentuk eksponensial:

$$i = Ae^{st} \dots\dots\dots(2.3.6)$$

dimana A dan s adalah konstan. Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3.6) pada persamaan (2.3.4) dan melalui diferensiasi, diperoleh:

$$As^2e^{st} + \frac{AR}{L}se^{st} + \frac{A}{LC}e^{st} = 0$$

$$\text{atau } Ae^{st} \left(s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} \right) = 0 \dots\dots\dots(2.3.7)$$

Karena $i = Ae^{st}$ adalah asumsi penyelesaian yang dicoba untuk ditemukan, hanya pernyataan dalam tanda kurung yang dapat menjadi nol:

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0 \dots\dots\dots(2.3.8)$$

Persamaan kuadrat ini diketahui sebagai persamaan karakteristik dari diferensial persamaan (2.3.4), saat akar-akar dari persamaan menjabarkan karakter dari i .

Kedua akar dari persamaan (2.3.8) adalah sebagai berikut:

$$s_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \dots\dots\dots(2.3.9)$$

$$s_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \dots\dots\dots(2.3.10)$$

Sebuah cara yang lebih ringkas untuk menyatakan akar-akar persamaan kuadrat (2.3.8) adalah:

$$s_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}, \text{ dan } s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \dots\dots\dots(2.3.11)$$

$$\text{dimana, } \alpha = \frac{R}{2L} \text{ dan } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(2.3.12)$$

Akar-akar s_1 dan s_2 disebut sebagai frekuensi natural dengan satuan neper per sekon (Np/s) karena keduanya terkait dengan respon rangkaian. Sedangkan ω_0 diketahui sebagai frekuensi resonansi dalam satuan radian per sekon (rad/s), serta α adalah frekuensi neper dalam satuan neper per sekon (Alexander dan Sadiku, 2013: 319-321).

2.4. Rangkaian RLC dengan *Input* Arus dan Tegangan Gelombang Persegi

Pulsa sinusoidal dapat dihasilkan dari sebuah osilator gelombang persegi yang terhubung seri dengan rangkaian RLC. Pulsa gelombang persegi dikonversi menjadi pulsa sinusoidal dengan besar frekuensi yang sama. Tegangan input v_i

adalah sama dengan V_d pada separuh gelombang pertama dan $-V_d$ pada separuh gelombang kedua. Arus pada rangkaian adalah i dan tegangan kapasitor adalah v_C . Arus mula-mula adalah I_0 dan tegangan mula-mula kapasitor adalah V_{C0} . Berdasar hukum tegangan Kirchoff:

$$L \frac{di}{dt} + v_C = V_d \dots \dots \dots (2.4.1)$$

Persamaan untuk kapasitor adalah:

$$C \frac{dv_C}{dt} = i \dots \dots \dots (2.4.2)$$

Penyelesaian dari persamaan di atas pada $t \geq t_0$ adalah sebagai berikut:

$$i(t) = I_0 \cos \omega_0(t - t_0) + \frac{V_d - V_{C0}}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_0) \dots \dots \dots (2.4.3)$$

$$\text{dan } v_C(t) = V_d - (V_d - V_{C0}) \cos \omega_0(t - t_0) + Z_0 I_0 \sin \omega_0(t - t_0) \dots \dots \dots (2.4.4)$$

$$\text{dimana, frekuensi resonansi } \omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (2.4.5)$$

dan karakteristik impedansi Z_0 adalah:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \Omega \dots \dots \dots (2.4.6)$$

Diasumsikan rangkaian beroperasi pada resonansi, ω_0 dari input gelombang persegi = ω_0 dari rangkaian RLC. Sudut waktu dipilih saat $t_0 = 0$ dan $t = 0$ pada permulaan gelombang persegi. Arus mula-mula yang melalui L dan tegangan mula-mula yang melalui C adalah nol. Persamaan untuk i dan v_C menjadi:

$$i(t) = \frac{V_d}{Z_0} \sin \omega_0 t \dots \dots \dots (2.4.7)$$

$$v_C(t) = V_d - V_d \cos \omega_0 t \dots \dots \dots (2.4.8)$$

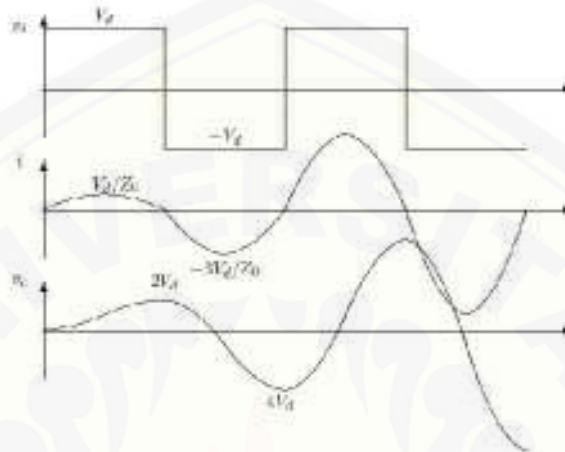
Arus mulai dan berakhir pada nilai nol, dengan nilai puncak yaitu $\frac{V_d}{Z_0}$. Arus mula-mula untuk setengah gelombang berikutnya adalah nol. Tegangan kapasitor dimulai pada nilai nol tapi bertambah hingga nilai $2V_d$, dimana nilai tegangan tersebut akan menjadi nilai tegangan mula-mula pada siklus berikutnya.

Untuk separuh siklus yang kedua, tegangan yang diaplikasikan adalah $-V_d$. Waktu mulai yaitu t_0 adalah separuh periode dari gelombang persegi. Arusnya adalah:

$$i(t) = \frac{-V_d - 2V_d}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_0) \dots \dots \dots (2.4.9)$$

dan tegangan kapasitor adalah:

$$v_c(t) = -V_d(-V_d - 2V_d) \cos \omega_0(t - t_0) \dots \dots \dots (2.4.10)$$

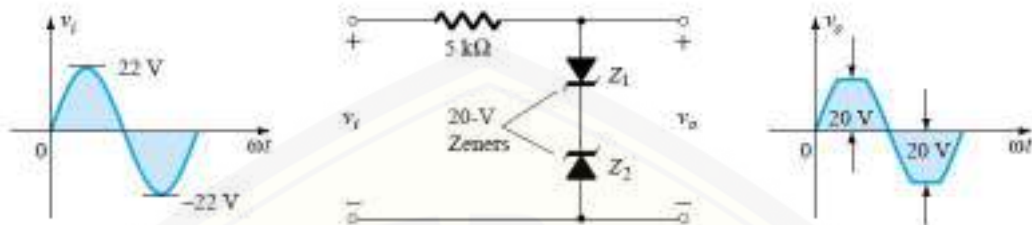


Gambar 2.12 Dua siklus pertama dari arus dan tegangan kapasitor pada rangkaian RLC (Sumber: Johnson, 2001: 9)

Arus dimulai dan berhenti pada nilai nol, namun pada separuh siklus ini nilai puncak tegangan mencapai $-3V_d/Z_0$. Faktor $t - t_0$ dimulai pada nilai nol pada permulaan separuh siklus yang kedua sehingga fungsi cos dimulai pada +1 dan menuju -1 . Tegangan kapasitor dimulai pada $2V_d$ dan berakhir pada $4V_d$, yang akan menjadi nilai mula-mula pada separuh siklus yang ketiga. Nilai puncak arus adalah $V_d/Z_0, -3V_d/Z_0, +5V_d/Z_0, -7V_d/Z_0$, dan seterusnya, terjadi pada titik tengah pada masing-masing separuh siklus. Nilai tegangan puncak dari kapasitor adalah $2V_d, -4V_d, 6V_d, -8V_d$, dan seterusnya, terjadi pada masing-masing akhir dari separuh siklus. Tegangan kapasitor tertinggal 90° dari gelombang arus, yang merupakan hubungan standar diantara tegangan dan arus yang melalui kapasitor. (Johnson, 2001: 7-9)

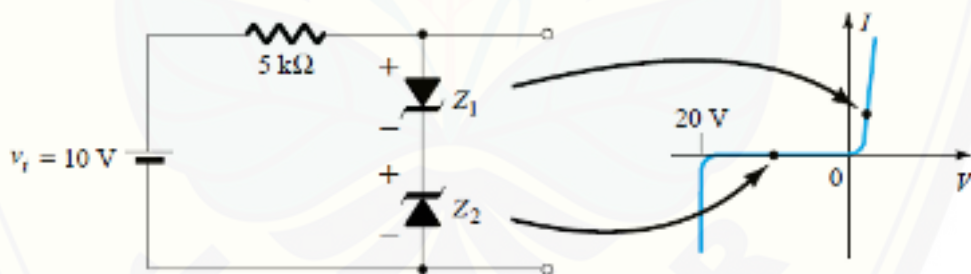
2.5. Regulator Sinusoidal AC dengan Rangkaian Antiparalel Dioda Zener

Dua buah dioda zener yang terangkai secara antiparalel dapat digunakan sebagai regulator AC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut:



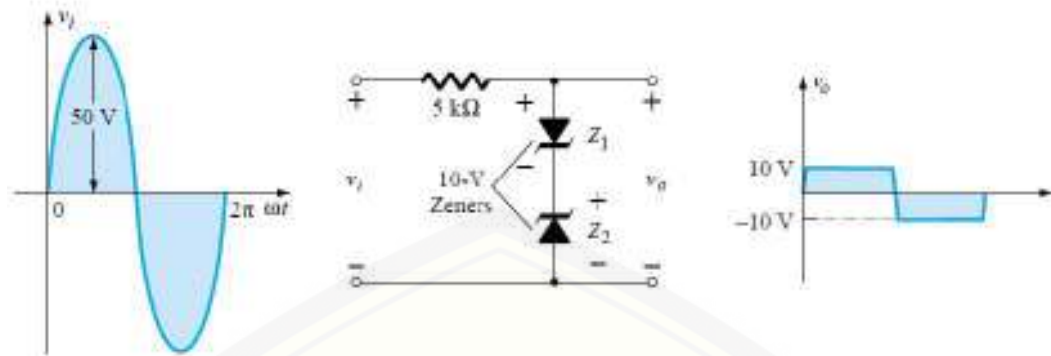
Gambar 2.13 Rangkaian regulator sinusoidal AC (Sumber: Boylestad dan Nashelsky, 2009: 93)

Jika input rangkaian kurang dari total V_{Z1} dan V_{Z2} seperti pada Gambar 2.14, maka input dan output akan berlanjut menduplikasi satu sama lain hingga mencapai 20 V hal ini karena dioda zener Z_1 berada pada wilayah dengan nilai impedansi rendah sedangkan impedansi dari dioda zener 2 atau Z_2 cukup tinggi, sesuai dengan representasi rangkaian terbuka.



Gambar 2.14 Rangkaian regulator sinusoidal AC dengan *input* sebesar 10 V (Sumber: Boylestad dan Nashelsky, 2009: 93)

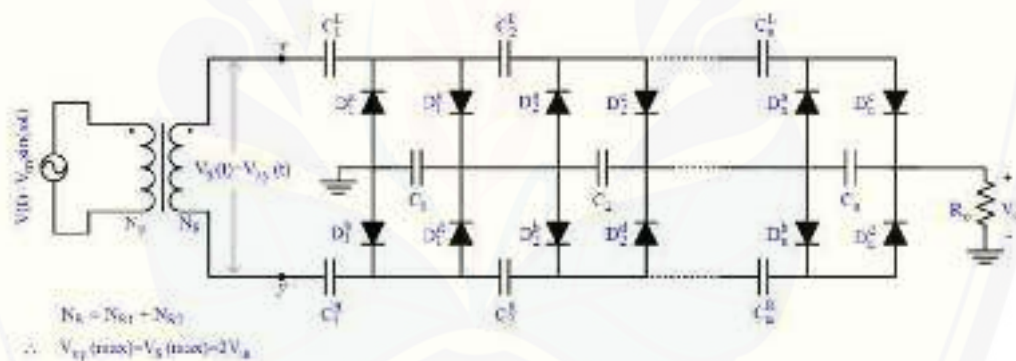
Bentuk gelombang yang dihasilkan oleh regulator sinusoidal AC tidak murni berupa sinusoidal, namun nilai rms nya lebih rendah dari nilai *input*nya, menyesuaikan dengan nilai total tegangan dioda zener yang digunakan seperti pada Gambar 2.15 berikut:



Gambar 2.15 Perbandingan bentuk gelombang input dan output pada regulator sinusoidal AC (Sumber: Boylestad dan Nashelsky, 2009: 94)

2.6 Symmetrical Type Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Satu Fasa

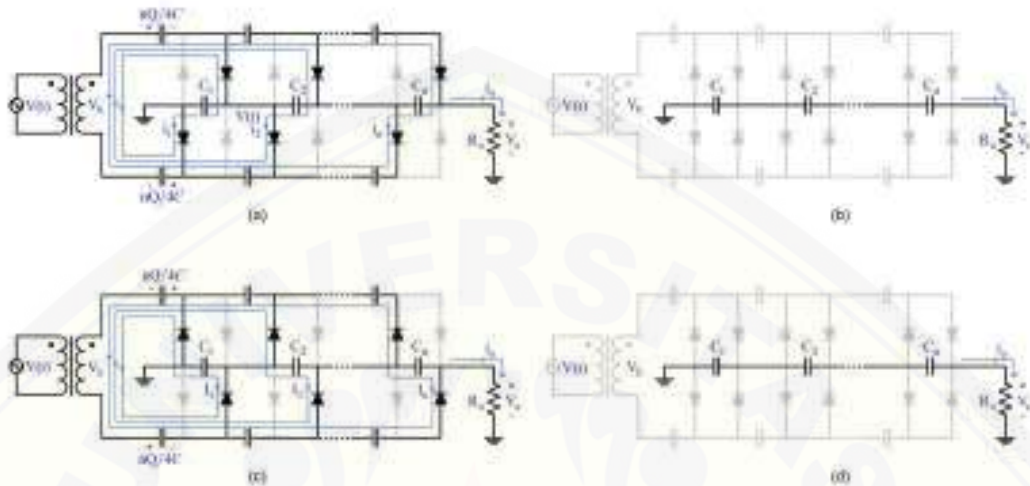
Gambar 2.16 di bawah menunjukkan diagram dari *n-stage* rangkaian *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa oleh Iqbal (2012).



Gambar 2.16 Rangkaian *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa (Sumber: Iqbal, 2012: 5)

Berdasarkan Gambar 2.16 di atas, *input* rangkaian *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa bersumber dari sumber tegangan AC yaitu $V(t) = V \sin(\omega t)$. Kapasitor osilasi ($C_1^L, C_2^L, \dots, C_n^L$) dan ($C_1^R, C_2^R, \dots, C_n^R$) pada rangkaian *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa dihubungkan pada sisi *input* rangkaian, sedangkan beban dihubungkan lurus melalui kapasitor filter (C_1, C_2, \dots, C_n). Adapun nilai maksimum dari input tegangan adalah $V_S(\max) = V_{xy}(\max) = 2V_{in}$.

Prinsip kerja dari rangkaian *symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier* satu fasa dapat dijelaskan melalui bantuan siklus pada Gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 Rangkaian ekivalen dari beberapa model operasi yang saling berhubungan: (a) model 1 (t_1-t_2), (b) model 2 (t_2-t_3), (c) model 3 (t_3-t_4), dan (4) model 4 (t_4-t_5) (Sumber: Iqbal, 2012: 7)

Berdasarkan Gambar 2.17 di atas, jika $I_o = 0$, maka tidak akan ada *ripple* atau *voltage-drop* sehingga tegangan luaran untuk dengan tanpa adanya beban adalah $V_o = n V_s(\max)$. Sedangkan, jika $I_o \neq 0$, maka kapasitor filter akan mengalami *discharge* atau pengosongan kapasitor melalui beban dan *recharge* atau mengalami pengisian kapasitor sebesar dua kali nilai puncak pada setiap siklus dari tegangan *input*. Dengan demikian, terdapat dua model pengisian yaitu model 1 & 3 serta dua model pengosongan yaitu model 2 & 4 dalam satu siklus operasi lengkap seperti pada Gambar 2.17 di atas. Adapun nilai puncak tegangan AC yang melalui kapasitor dirumuskan melalui persamaan

$$V_I^L(\max) = V_I^R(\max) = \frac{nQ}{4C} = \frac{nI_o}{4fC} \dots \dots \dots (2.6.1)$$

dimana n adalah jumlah *stages*, C adalah kapasitansi dan $Q = I_o/f$ adalah suplai arus pada beban tiap siklus dari tegangan *input*. Persamaan (2.6.1) menunjukkan bahwa jika arus beban adalah nol, maka tidak ada tegangan yang muncul melalui pasangan kapasitor pada *stage* pertama.

Luaran *voltage-ripple* δV diproduksi oleh proses pengisian dan pengosongan periodik pada kapasitor filter. Saat muatan Q ditransfer pada beban dalam waktu $T = 1/f$ oleh kapasitor C_1 atau kapasitor filter, oleh karena proses pengisian dan pengosongan terjadi dua kali dalam setiap siklus dari tegangan *input*, maka serangkaian muatan yang ditransfer oleh C_1 pada beban dalam separo siklus adalah $Q/2$. Secara bersamaan seluruh kapasitor lainnya (seperti C_2, \dots, C_{n-1}, C_n) mengirim muatan $Q/2$ pada beban. Dengan demikian *ripple-voltage* $\delta V_1, \delta V_2, \dots, \delta V_n$ yang melalui kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n berturut-turut adalah

$$\delta V_1 = Q/2C_1, \delta V_2 = Q/2C_2, \dots, \delta V_n = Q/2C_n \dots\dots\dots(2.6.2)$$

Sehingga total *voltage-ripple* adalah:

$$\delta V = Q/2 \left(1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n \right) \dots\dots\dots(2.6.3)$$

karena $C_1 = C_2 = C_n = C$, maka $\delta V = Q/2C (1 + 1 + \dots + 1)$

$$\delta V = nQ/2C = nI_o/2fC \dots\dots\dots(2.6.4)$$

dimana n adalah jumlah *stage*, f adalah frekuensi dari sumber AC, C adalah kapasitansi dari masing-masing kapasitor pengali dan I_o adalah arus beban.

Luaran *voltage-drop* adalah berbeda antara luaran tegangan dengan tanpa beban dan dengan beban. Secara ideal, jika tidak ada arus yang melalui terminal *output* dari rangkaian pengali tegangan, maka masing-masing kapasitor filter akan termuati hingga V_s (max) dan kemudian total tegangan luaran adalah $n V_s$ (max). Sedangkan, jika sebuah beban dihubungkan pada terminal *output* dari rangkaian pengali tegangan, maka beberapa *voltage-drop* terjadi melalui kapasitor osilasi, konsekuensinya adalah tegangan luaran dari rangkaian pengali tegangan tidak akan mencapai hingga $n V_s$ (max). Total dari *voltage-drop* dapat ditentukan dengan menemukan kemudian menjumlahkan individual *voltage-drop* pada kapasitor filter sebagai berikut:

Voltage-drop ΔV_1 pada kapasitor C_1 adalah

$$\Delta V_1 = nQ/4C_1^L + nQ/4C_1^R = \left(C_1^L + C_1^R / C_1^L C_1^R \right) \left(nQ/4 \right) \dots\dots\dots(2.6.5)$$

Diasumsikan bahwa $C^L_1 = C^R_1 = C$, maka diperoleh

$$\Delta V_1 = Q/C (n/2) \dots \dots \dots (2.6.6)$$

Demikian pula *voltage-drop* ΔV_2 , ΔV_3 , dan ΔV_4 pada kapasitor C_2 , C_3 dan C_4 adalah:

$$\Delta V_2 = Q/C (n/2 + [n/2 - 1/2]) \dots \dots \dots (2.6.7)$$

$$\Delta V_3 = Q/C (n/2 + [n/2 - 1/2] + [n/2 - 1/2]) \dots \dots \dots (2.6.8)$$

$$\Delta V_3 = Q/C (n/2 + [n/2 - 1/2] + [n/2 - 1/2] + [n/2 - 3/2]) \dots \dots \dots (2.6.9)$$

Melalui cara yang sama, *voltage-drop* ΔV_n pada kapasitor C_n adalah:

$$\Delta V_n = Q/C (n/2 + [n/2 - 1/2] + [n/2 - 1/2] + [n/2 - 3/2] + \dots + [n/2 - n - 2/2] + [n/2 - n - 1/2])$$

Sehingga, total *voltage-drop* ΔV diketahui sebagai:

$$\Delta V = \frac{Q}{4} \left[\left(\frac{2n}{c} + \frac{2n}{c} + \dots + \frac{2n}{c} \right) + \left(0 + \frac{2n}{c} + \frac{4n}{c} + \frac{6n}{c} + \dots + \frac{2(n^2-n)}{c} \right) \right] - \left(0 + \frac{2}{c} + \frac{6}{c} + \frac{12}{c} + \dots + \frac{n^2-n}{c} \right) \dots \dots \dots (2.6.10)$$

$$\text{atau } \Delta V = \frac{Q}{4c} \left[(2n + 2n + \dots + 2n) + (0 + 2n + 4n + 6n + \dots + 2(n^2 - n)) \right] - (0 + 2 + 6 + 12 + \dots + (n^2 - n)) \dots \dots \dots (2.6.11)$$

$$\text{Disederhanakan menjadi } \Delta V = \frac{Q}{c} \left[\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{6} + \frac{n}{12} \right] \dots \dots \dots (2.6.12)$$

Menggunakan $Q = I_o \cdot T = I_o / f$ maka:

$$\Delta V = \frac{I_o}{fc} \left[\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{6} + \frac{n}{12} \right] \dots \dots \dots (2.6.13)$$

Dengan demikian, total luaran tegangan rata-rata ditentukan sebagai:

$$V_{O(av)} = n V_S (\text{max}) - \Delta V - \delta V / 2 \dots \dots \dots (2.6.14)$$

Menggunakan persamaan (2.6.1) dan (2.6.4) maka diperoleh

$$V_{O(av)} = n V_S (\text{max}) - \frac{I_o}{fc} \left[\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{6} + \frac{n}{3} \right] \dots \dots \dots (2.6.15)$$

(Iqbal, 2012).

Penambahan resistor dalam rangkaian, yaitu pada bagian *input* dan *output* dioda penyearah berfungsi sebagai komponen pembagi tegangan untuk meningkatkan batasan *rating* maksimum tegangan dioda penyearah sekaligus sebagai proteksi dioda terhadap tegangan berlebih (Hara, 1967).

2.7 Transistor-Based Pulsed Power Supply

Transistor-based pulsed power supply merupakan salah satu rangkaian yang berfungsi sebagai penguat pulsa tegangan dengan *rise-time* yang pendek (Van der Veeke, 1972). Rangkaian ini terdiri atas dua buah transistor yang tersusun secara seri dengan tujuan untuk membagi tegangan tinggi sumber terhadap transistor berdasarkan nilai tegangan maksimum dari masing-masing transistor untuk tujuan *cost-effective*. Berikut adalah rangkaian dari *transistor-based pulsed power supply*.



Gambar 2.18 Rangkaian transistor-based pulsed power supply (Sumber: Van der Veeke, 1972: 1.702)

Berdasarkan Gambar 2.18 di atas, tegangan tinggi sumber akan terbagi pada transistor melalui resistor R_1 dan R_2 dimana

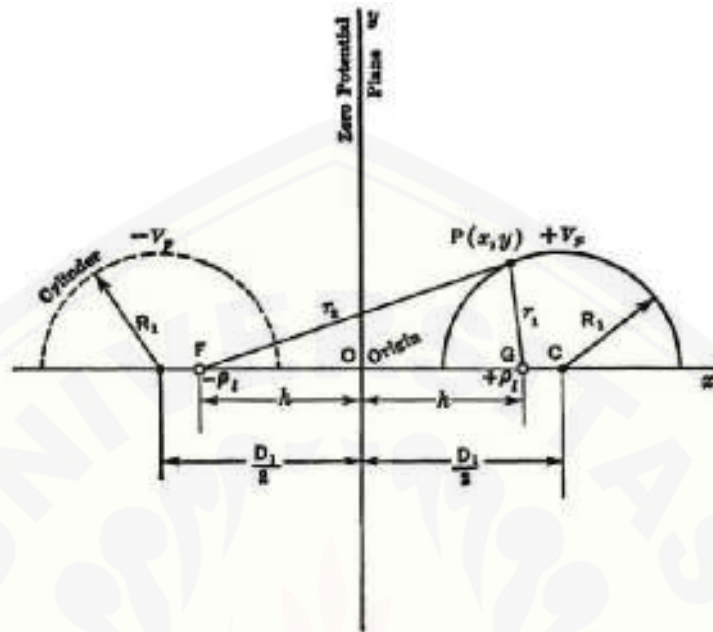
$$R_1 = R_2 = R \dots \dots \dots (2.7.1)$$

Lamanya t_r (*rise time*) dari arus kolektor pada masing-masing transistor ditentukan oleh persamaan $t_{r(\text{collector})} = R_C \times C \dots \dots \dots (2.7.2)$

Sedangkan lamanya t_r (*rise time*) dari *output* pulsa pada beban berdasarkan pada persamaan $t_{r(\text{load})} = R_C \times C_{\text{load}} \dots \dots \dots (2.7.3)$

(Van der Veeke, 1972).

2.8 Dua Kawat Paralel dengan Panjang Tak Hingga Bermuatan Berlawanan



Gambar 2.19 Dua buah penampang kawat sejajar bermuatan berlawanan (Sumber: Attwood, 1932: 85)

Berdasarkan Gambar 2.19 di atas, besar nilai potensial absolut V_P pada suatu titik P merupakan perbedaan potensial diantara titik P dan titik O dengan besar potensial nol, yaitu:

$$V_P = \frac{(+\rho_l)}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_1} + \frac{(-\rho_l)}{2\pi\epsilon} \ln \frac{h}{r_2}$$

$$V_P = \frac{\rho_l}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ volts} \dots \dots \dots (2.8.1)$$

dimana $\rho_l = 2\pi\rho_s$ Coulomb/m.....(2.8.2)

dan $\rho_s = \frac{Q}{A}$ Coulomb/m².....(2.8.3)

Nilai ρ_l dan ϵ adalah konstan, persamaan (2.8.3) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\frac{r_2}{r_1} = e^{\left(\frac{2\pi\epsilon V_P}{\rho_l}\right)} \dots \dots \dots (2.8.4)$$

Berdasarkan koordianat kartesius, koordinat titik P adalah (x,y) yang diukur dari titik O, yaitu:

$$r_2^2 = (h + \bar{x})^2 + \bar{y}^2 \dots \dots \dots (2.8.5)$$

$$r_1^2 = (h - \bar{x})^2 + \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.8.6)$$

Namun, saat $r_2^2 = A^2 r_1^2$ dari persamaan (2.8.4), maka:

$$(h + \bar{x})^2 + \bar{y}^2 = A^2 [(h - \bar{x})^2 + \bar{y}^2] \dots\dots\dots(2.8.7)$$

Jika persamaan di atas disusun kemabli, akan diperoleh:

$$\left(\bar{x} - h \frac{A^2+1}{A^2-1}\right)^2 + (\bar{y})^2 = \left(h \frac{2A}{A^2-1}\right)^2 \dots\dots\dots(2.8.8)$$

dengan demikian, persamaan dari lingkaran dengan pusat koordinat $\left(+h \frac{A^2+1}{A^2-1}, 0\right)$

$$\text{atau } \frac{D_1}{2} = h \frac{A^2+1}{A^2-1} \dots\dots\dots(2.8.9)$$

$$\text{dan radius sama dengan } h \frac{2A}{A^2-1} = R_1 \dots\dots\dots(2.8.10)$$

Berdasarkan dua persamaan terakhir, dapat diperoleh h yang berhubungan dengan D_1 dan R_1 sebagai:

$$R_1^2 = h^2 \left[\frac{A^2+1}{A^2-1} - 1 \right] = h^2 \left[\left(\frac{D_1}{2h}\right)^2 - 1 \right] = \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - h^2 \dots\dots\dots(2.8.11)$$

$$\text{dimana } h = \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - R_1^2} \dots\dots\dots(2.8.12)$$

$$\text{dan dapat dilihat bahwa } A = \frac{D_1}{2R_1} + \sqrt{\left(\frac{D_1}{2R_1}\right)^2 - 1} = \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots(2.8.13)$$

Berdasarkan persamaan (2.8.9):

$$\frac{D_1}{2R_1} = \frac{A^2 + 1}{2A}$$

$$\text{kemudian } \sqrt{\left(\frac{D_1}{2R_1}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{A^2+1}{2A}\right)^2 - 1} = \frac{A^2+1}{2A}$$

$$\text{dan } \frac{D_1}{2R_1} + \sqrt{\left(\frac{D_1}{2R_1}\right)^2 - 1} = \frac{A^2+1}{2A} + \frac{A^2-1}{2A} = A = \frac{r_2}{r_1}$$

Sehingga, nilai potensial absolut dari titik P adalah:

$$V_P = \frac{\rho l}{2\pi\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\rho l}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{D_1}{2R_1} + \sqrt{\left(\frac{D_1}{2R_1}\right)^2 - 1} \right] \dots\dots\dots(2.8.14)$$

Beda potensial diantara kawat bermuatan berlawanan adalah:

$$\Delta V = 2V_P = \frac{\rho l}{\pi\epsilon} \ln \left[\frac{D_1}{2R_1} + \sqrt{\left(\frac{D_1}{2R_1}\right)^2 - 1} \right] \text{ volts} \dots\dots\dots(2.8.15)$$

$$\text{atau } \Delta V = \frac{\rho l}{\pi\epsilon} \cosh^{-1} \left(\frac{D_1}{2R_1} \right) \dots\dots\dots(2.8.16)$$

(Attwood, 1932: 85-87).

Ketika tegangan dihasilkan pada dua buah elektrode yang tersusun secara parallel, maka medan listrik yang dihasilkan adalah:

$$\overline{E}_p = V/d \dots \dots \dots (2.8.17)$$

dimana, V adalah besar tegangan dalam kV dan d adalah jarak di antara dua elektroda dalam sentimeter (Barbosa-Canovas *et al.*, 1999: 7).



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai tahapan perancangan *prototype* yang termasuk di dalamnya prinsip kerja dari masing-masing sub-sirkuit yang merupakan unit-unit penyusun *prototype*, tahapan validasi rancangan *prototype* serta prosedur penggunaan rancangan *prototype* untuk pengambilan data dalam judul penelitian “Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi”.

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu penelitian dan pengembangan, sehingga penelitian ini dirancang untuk memperoleh produk. Produk yang dimaksud yaitu rancangan dan hasil simulasi dari *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle*, dan frekuensi terkombinasi. Rancangan *prototype* generator pulsa medan listrik yang dikembangkan berupa generator pulsa medan listrik dengan spesifikasi *output*, baik amplitudo, durasi, *duty-cycle*, dan frekuensi yang terkombinasi.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan dari kegiatan penelitian dalam judul penelitian “Perancangan *Prototype* Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan *Output* Amplitudo, Durasi, *Duty-Cycle* dan Frekuensi Terkombinasi” akan dilaksanakan pada:

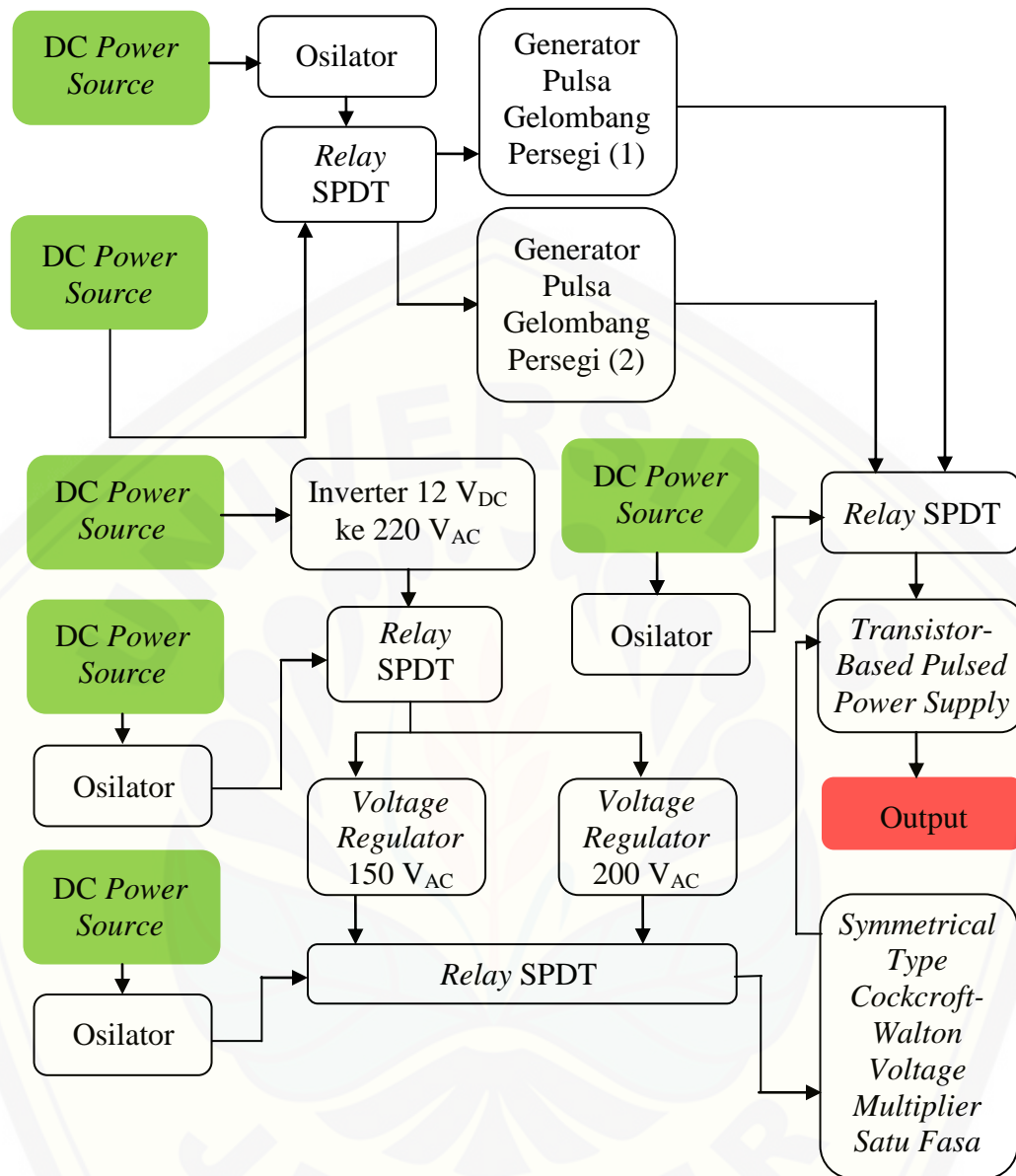
- a. Tempat : Laboratorium Elektronika Dasar Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember
- b. Waktu : Bulan Desember tahun 2016

3.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian terfokus pada perolehan data *output* dari hasil simulasi *prototype* yaitu berupa pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan besar amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi yang dihasilkan melalui *software* NI MultisimTM 14.0. Tegangan medium yang dimaksudkan adalah berdasarkan klasifikasi oleh *The Electrochemical Commission* yang tertuang dalam IEC 60038, yaitu tegangan yang berada di dalam rentang antara 1 kV hingga 35 kV (Electro Technik, 2011). Adapun besar tegangan yang diambil dalam penelitian ini adalah berkisar antara 1,5 kV hingga 2 kV.

3.4 Gambaran Umum dan Definisi Operasional

Pada dasarnya, *prototype* yang dirancang menerapkan sistem produksi dua jenis pulsa tegangan secara bergantian oleh generator pulsa tegangan rendah yang terpisah serta terdiri atas desain rangkaian yang berbeda dengan hampir tanpa adanya jeda antara *output* dari generator pulsa tegangan rendah bagian pertama dengan *output* dari generator pulsa tegangan rendah bagian kedua. Dengan kata lain, *output* bagian kedua akan segera menyusul dan seolah tersambung secara berurutan dengan *output* bagian pertama. Kedua *output* tersebut akan menuju sebuah *relay* SPDT yang sama untuk kemudian menuju sub-sirkuit berikutnya, antara lain sub-sirkuit *transistor-based pulsed power supply* dengan sumber tegangan tinggi berupa rangkaian *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa yang *input*-nya bersumber dari rangkaian *sinusoidal-voltage source* untuk secara keseluruhan menghasilkan *output* berupa pulsa medan listrik DC tegangan medium yang terkombinasi *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensinya.



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan *prototype*

Berdasarkan pada Gambar 3.1 di atas, definisi operasional dari masing-masing sub-sirkuit dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. DC Power Source

Sub-sirkuit ini merupakan sumber arus dan tegangan listrik searah (DC) yang bersumber dari adaptor.

2. Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

Sub-sirkuit ini terdiri atas rangkaian *blocking* terhadap *input* setelah DC *power source* menyala selama 10 detik yang tersusun dari komponen adaptor, osilator, *relay* SPDT, dan generator pulsa gelombang persegi bagian pertama. *Input* tegangan sebesar 9 V_{DC} untuk menghasilkan *output* berupa pulsa tegangan rendah DC dengan besar amplitudo 9 V_{DC}, durasi 10 detik, *duty-cycle* 68,8% dan frekuensi 1,1544 Hz.

3. Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

Sub-sirkuit ini terdiri atas rangkaian *blocking* terhadap *input* setelah DC *power source* menyala selama 15 detik dan waktu tunda *output* selama 10 detik sejak DC *power source* menyala yang tersusun dari komponen adaptor, osilator, *relay* SPDT, dan generator pulsa gelombang persegi bagian pertama. *Input* tegangan sebesar 9 V_{DC} untuk menghasilkan *output* berupa pulsa tegangan rendah dengan besar amplitudo 9 V_{DC}, durasi 5 detik, *duty-cycle* 54,67%, dan frekuensi 1,9822 Hz.

4. Sinusoidal-Voltage Source

Sub-sirkuit ini merupakan *input* bagi sub-sirkuit *symmetrical cockroft-walton voltage multiplier* yang terdiri atas inverter 12 V_{DC} ke 220 V_{AC}, osilator, *relay* SPDT, regulator AC 150 V_{AC}, dan regulator AC 200 V_{AC} untuk menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi 505 Hz dan amplitudo sebesar 150 V_{AC} pada 10 detik pertama kemudian dengan amplitudo sebesar 200 V_{AC} pada 5 detik berikutnya.

5. Symmetrical Type Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Satu Fasa

Sub-sirkuit ini merupakan *high voltage source* bagi sub-sirkuit MOSFET-based *pulsed power supply*, dimana komponen penyusunnya terdiri atas dioda penyearah, kapasitor dan resistor untuk menghasilkan *output* berupa pulsa DC tegangan medium sebesar $\pm 1,5$ kV_{DC} pada durasi

10 detik pertama dan $\pm 2 \text{ kV}_{\text{DC}}$ pada durasi 5 detik berikutnya sebagai hasil dari penguatan *input* dari 10 *stages* rangkaian *multiplier*.

6. Transistor-Based Pulsed Power Supply

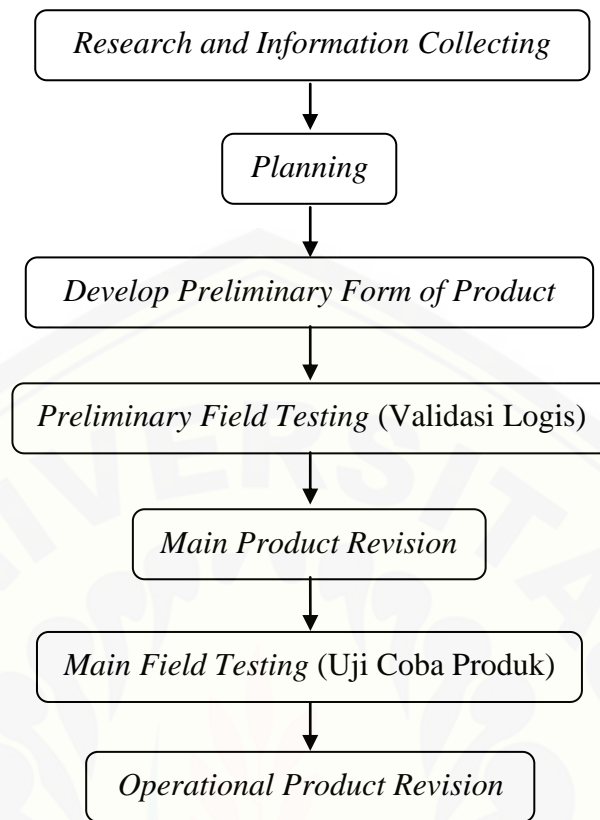
Sub-sirkuit ini merupakan rangkaian yang tersusun dari komponen transistor, kapasitor serta resistor dengan *output* pulsa tegangan AC sebesar kurang lebih mendekati besar tegangan *high voltage source*, yaitu dengan amplitudo sebesar $\pm 1,5 \text{ kV}_{\text{DC}}$ pada durasi 10 detik pertama dan dengan amplitudo sebesar $\pm 2 \text{ kV}_{\text{DC}}$ pada durasi 5 detik berikutnya.

7. Visualisasi Output

Kinerja sub-sirkuit penyusun *prototype* serta *prototype* secara keseluruhan akan dianalisis melalui instrumen visualisasi *output* berupa osiloskop yang terdapat dalam *software* NI MultisimTM 14.0.

3.5 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan menerapkan metode penelitian *Research and Development* (R&D). Sugiyono (2009: 407) berpendapat bahwa metode *Research and Development* (R&D) atau metode penelitian dan pengembangan digunakan untuk menghasilkan suatu produk tertentu dan menguji keefektifan dari produk tersebut. Adapun, tahapan dari metode penelitian *Research and Development* (R&D) yang dikembangkan oleh Borg dan Gall (1983: 775) adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Desain penelitian *research and development* hingga tahap *operational product revision* (Sumber: Borg & Gall, 1983: 775)

3.6 *Research and Information Collecting*

Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan permasalahan yang dikaji, pengukuran kebutuhan, penelitian dalam skala kecil, dan persiapan untuk merumuskan kerangka kerja penelitian (Haryati, 2012: 14-15). Adapun literatur yang diperoleh bersumber dari buku, *data sheet*, jurnal, materi *workshop*, paten, prosiding, tesis, maupun *website*.

3.7 *Planning*

Tahap perencanaan dilakukan dengan menyusun rencana penelitian yang terdiri atas penentuan tujuan yang akan dicapai pada setiap tahapan, perancangan desain atau langkah-langkah penelitian dan jika mungkin/diperlukan melaksanakan studi kelayakan secara terbatas (Haryati, 2012: 15).

3.7.1 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

Berikut ini merupakan spesifikasi *output* yang diharapkan dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama beserta konsep yang dipilih dalam merealisasikannya.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Output* yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih Dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
1.	Durasi <i>output</i> selama 10 detik	<p>a. <i>Input</i> arus dan tegangan DC bersumber dari pin NO (<i>Normally Open</i>) pada <i>relay</i> SPDT yang diaktifkan oleh <i>output</i> dari <i>astable oscillator</i> dengan t_H 10 detik dan t_L 5 detik</p> <p>b. <i>Output</i> melalui pin NO (<i>Normally Open</i>) pada <i>relay</i> SPDT yang diaktifkan oleh <i>output</i> dari <i>astable oscillator</i> dengan t_H 10 detik dan t_L 5 detik kemudian terhubung dengan bagian <i>input</i> pada rangkaian <i>transistor-based pulsed power supply</i></p>	Rangkaian sederhana yang memerlukan sedikit komponen serta dapat mengontrol durasi pada dua jalur, yaitu <i>input</i> maupun <i>output</i> sekaligus
2.	Pulsa tegangan listrik yang dihasilkan memiliki lebar pulsa yang mudah untuk diamati dan dianalisis	Merancang rangkaian <i>square-wave oscillator</i> dengan periode dan <i>duty cycle</i> yang mudah untuk diamati, yaitu dengan periode 866,25 milisekon dan <i>duty-cycle</i> 68,8%	Periode dan <i>duty-cycle</i> yang panjang dapat diamati dengan jelas saat terhubung dengan lampu indikator sehingga akan memudahkan pengamatan dan analisis terhadap <i>output</i>

3.7.2 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

Berikut ini merupakan spesifikasi *output* yang diharapkan dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua beserta konsep yang dipilih dalam merealisasikannya.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Output* yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
1.	Durasi <i>output</i> selama 5 detik	<p>a. <i>Input</i> arus dan tegangan DC bersumber dari pin NC (<i>Normally Close</i>) pada <i>relay</i> SPDT yang diaktifkan saat <i>astable oscillator</i> sedang dalam kondisi t_L selama 5 detik</p> <p>b. <i>Output</i> melalui pin NC (<i>Normally Close</i>) pada <i>relay</i> SPDT yang diaktifkan oleh <i>output</i> dari <i>astable oscillator</i> pada saat kondisi t_L selama 5 detik kemudian terhubung dengan bagian <i>input</i> pada rangkaian <i>transistor-based pulsed power supply</i></p>	Rangkaian sederhana yang memerlukan sedikit komponen serta dapat mengontrol durasi pada dua jalur, yaitu <i>input</i> maupun <i>output</i> sekaligus
2.	Pulsa tegangan listrik yang dihasilkan memiliki lebar pulsa yang mudah untuk diamati dan dianalisis	Merancang rangkaian <i>square-wave oscillator</i> dengan periode dan <i>duty cycle</i> yang mudah untuk diamati, yaitu dengan periode 504,504 milisekon dan <i>duty-cycle</i> 54,67%	Periode dan <i>duty-cycle</i> yang panjang dapat diamati dengan jelas saat terhubung dengan lampu indikator sehingga akan memudahkan pengamatan dan analisis terhadap <i>output</i>

3.7.3 *Sinusoidal-Voltage Source*

Berikut ini merupakan spesifikasi *output* yang diharapkan dari sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* beserta konsep yang dipilih dalam merealisasikannya.

Tabel 3.3 Spesifikasi *Output* yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit *Sinusoidal-Voltage Source*

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
1.	Menghasilkan tegangan <i>output</i> yang dikuatkan dari DC <i>voltage source</i> serta mengubah tegangan <i>input</i> yang berupa DC menjadi berupa AC	Merancang rangkaian inverter 12 V _{DC} ke 220 V _{AC}	Rangkaian sederhana dan ekonomis dalam menguatkan sekaligus mengubah tegangan <i>input</i> yang berupa DC menjadi tegangan <i>output</i> berupa AC dengan besar tegangan yang dikuatkan sebanyak 20 kali

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
2.	Spesifikasi <i>output</i> pada durasi 10 detik pertama berbeda dengan spesifikasi <i>output</i> pada durasi 5 detik berikutnya	<p>a. Menambahkan <i>relay</i> SPDT pada bagian <i>output</i> rangkaian inverter 12 V_{DC} ke 220 V_{AC} dimana pin NO dan pin NC akan diatur durasi kerjanya oleh sebuah rangkaian osilator yang memiliki nilai t_H sebesar 10 detik serta nilai t_L sebesar 5 detik</p> <p>b. Pin NO (<i>Normally Open</i>) akan menuju rangkaian <i>voltage regulator</i> AC 150 V_{AC}</p> <p>c. Pin NC (<i>Normally Close</i>) akan menuju rangkaian <i>voltage regulator</i> AC 200 V_{AC}</p> <p>d. Menambahkan <i>relay</i> SPDT pada bagian <i>output</i> dari masing-masing rangkaian <i>voltage regulator</i> AC, baik 150 V_{AC} maupun 200 V_{AC}, dimana pin NO dan pin NC akan diatur durasi kerjanya oleh sebuah rangkaian osilator yang memiliki nilai t_H sebesar 10 detik serta nilai t_L sebesar 5 detik kemudian akan menuju pada bagian <i>input</i> dari sub-sirkuit <i>symmetrical cockcroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa</p>	Rangkaian sederhana yang memerlukan sedikit komponen serta dapat mengontrol durasi pada dua jalur <i>input</i> sekaligus

3.7.4 *Symmetrical Type Cockcroft-Walton Voltage Multiplier* Satu Fasa

Berikut ini merupakan spesifikasi *output* yang diharapkan dari sub-sirkuit *symmetrical type cockcroft-walton voltage multiplier* satu fasa beserta konsep yang dipilih dalam merealisasikannya.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Output* yang Diinginkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit *Symmetrical Type Cockcroft-Walton Voltage Multiplier* Satu Fasa

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
1.	Menguatkan <i>input</i> nya sebesar sepuluh kali	Merancang rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa yang terdiri atas 10 <i>stage</i>	Rangkaian sederhana yang memerlukan sedikit komponen
2.	Melindungi dioda penyusun rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa dari kerusakan akibat resiko tegangan yang berlebih	Menempatkan dua buah resistor <i>metal-oxide film</i> secara seri sebelum memasuki pin <i>input</i> dan setelah pin <i>output</i> pada dioda	Dapat melindungi dioda dengan mengurangi besar tegangan yang melaluinya karena menerapkan pembagian tegangan dengan dua buah resistor

3.7.5 Transistor-Based Pulsed Power Supply

Berikut ini merupakan spesifikasi *output* yang diharapkan dari sub-sirkuit transistor-based pulsed power supply beserta konsep yang dipilih dalam merealisasikannya.

Tabel 3.5 Spesifikasi *Output* yang Diharapkan Beserta Konsep yang Dipilih dalam Perancangan Sub-Sirkuit Transistor-Based Pulsed Power Supply

No.	Spesifikasi yang Diinginkan	Konsep yang Dipilih	Keunggulan
1.	Menguatkan amplitudo dari <i>input</i> pulsa tegangan rendah menjadi $\pm 1,5$ kV _{AC} pada durasi 10 detik pertama dan sebesar ± 2 kV _{AC} pada durasi 5 detik berikutnya	Merancang sebuah rangkaian Transistor-based pulsed power supply yang terhubung dengan <i>high voltage source</i> berupa rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa yang mampu menghasilkan <i>output</i> sebesar 1,5 kV _{AC} pada durasi 10 detik pertama dan sebesar ± 2 kV _{AC} pada durasi 5 detik berikutnya	Dapat menguatkan amplitudo dari <i>input</i> pulsa tegangan rendah dengan tetap mempertahankan spesifikasi orisinilnya (t_H , t_L , <i>duty-cycle</i> dan frekuensi) serta tanpa menggunakan trafo

3.8 Develop Preliminary Form of Product

Dalam tahap ini, dilakukan penyusunan bentuk permulaan dari produk yang akan dihasilkan. Termasuk dalam langkah ini adalah persiapan komponen pendukung, menyiapkan pedoman dan melakukan evaluasi terhadap kelayakan dari alat-alat pendukung (Haryati, 2012: 15). Tahap ini meliputi perhitungan matematis, penyesuaian fungsi kerja dengan spesifikasi komponen yang terkait.



Gambar 3.3 Tampilan awal *software* NI Multisim™ 14.0

3.8.1 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

Berikut ini merupakan perhitungan matematis dan kesesuaian antara fungsi kerja dengan *rating* maksimum komponen penyusun sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama.

Tabel 3.6 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
1.	Osilator pencatu <i>relay</i> SPDT yang terhubung dengan input generator pulsa gelombang persegi	<p>a. $C = 10 \mu\text{F}$, $R_A = 727 \text{ k}\Omega$ dan $R_B = 727 \text{ k}\Omega$</p> <p>b. $t_H = 0,693 (R_A + R_B) \times C$ $t_H = 0,693 (727 \text{ k}\Omega + 727 \text{ k}\Omega) \times 10 \mu\text{F}$ $t_H = 10,076219999999999 \text{ sekon}$ $t_H = 10 \text{ sekon}$</p> <p>c. $t_L = 0,693 \times R_B \times C$ $t_L = 0,693 \times 727 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}$ $t_L = 5,038109999999999 \text{ sekon}$ $t_L = 5 \text{ sekon}$</p> <p>d. $T = t_H + t_L = 10 \text{ sekon} + 5 \text{ sekon}$ $T = 15 \text{ sekon}$</p>

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
		e. $f = 1/T = 1/15 \text{ sekon} = 0,066666666667 \text{ Hz}$ f. $D = t_H/T = 10 \text{ s}/15 \text{ s} = 0,6667$ $D = 66,67 \%$
2.	Generator pulsa gelombang persegi bagian pertama	a. $C = 10 \mu\text{F}$, $R_A = 47 \text{ k}\Omega$ dan $R_B = 39 \text{ k}\Omega$ b. $t_H = 0,693 (R_A + R_B) \times C$ $t_H = 0,693 (47 \text{ k}\Omega + 39 \text{ k}\Omega) \times 10 \mu\text{F}$ $t_H = 0,59598 \text{ sekon}$ $t_H = 595,98 \text{ ms}$ c. $t_L = 0,693 \times R_B \times C$ $t_L = 0,693 \times 39 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}$ $t_L = 0,27027 \text{ sekon} = 270,27 \text{ ms}$ d. $T = t_H + t_L = 595,98 \text{ ms} + 270,27 \text{ ms}$ $T = 866,25 \text{ ms}$ e. $f = 1/T = 1/0,86625 \text{ sekon} = 1,1544 \text{ Hz}$ f. $D = t_H/T = 595,98 \text{ ms}/866,25 \text{ ms} = 0,688$ $D = 68,8 \%$

Tabel 3.7 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan *Rating* Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Pertama

No.	Komponen	Fungsi Kerja	<i>Rating</i> Maksimum
1.	IC LM555	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 15 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 15 \text{ mA}$ (Texas Instruments, 2015)
2.	Resistor 1/8 W carbon film fixed 727 k Ω	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 200 V <i>Overload Voltage</i> = 400 V $P = 1/8 \text{ W}$ (XICON, 2009)
3.	Kapasitor electrolytic 10 μF	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 16 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 49 \text{ mA}$ (XICON, 2007)
4.	Kapasitor ceramic disc 10 pF	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 50 \text{ V}_{\text{DC}}$ (KEMET Electronics Corporation, 2012)
5.	Resistor 1/2 W carbon film fixed 100 Ω	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 350 V <i>Overload Voltage</i> = 700 V $P = 1/2 \text{ W}$ (XICON, 2009)
6.	IC LM555	$V_i = 9 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 15 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 15 \text{ mA}$ (Texas Instruments, 2015)
7.	Resistor 1/8 W carbon	$V_i = 9 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 200 V

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
	<i>film fixed</i> 47 k Ω dan 39 k Ω		<i>Overload Voltage</i> = 400 V P = 1/8 W (XICON, 2009)
8.	Kapasitor <i>electrolytic</i> 10 μ F	$V_i = 9 V_{DC}$	$V_i = 16 V_{DC}$ $I_i = 49 \text{ mA}$ (XICON, 2007)
9.	Kapasitor <i>ceramic disc</i> 10 pF	$V_i = 9 V_{DC}$	$V_i = 50 V_{DC}$ (KEMET Electronics Corporation, 2012)
10.	Resistor $\frac{1}{2}$ W <i>carbon film fixed</i> 100 Ω	$V_i = 9 V_{DC}$	<i>Working Voltage</i> = 350 V <i>Overload Voltage</i> = 700 V P = $\frac{1}{2}$ W (XICON, 2009)
11.	Relay SPDT 5 V_{DC}	a. Pada pin NO dan NC $V_i = 9 V_{DC}$ b. Pada pin pencatu $V_i = 6 V_{DC}$	$P_{i(\text{coil})} = 400 \text{ Mw}$ $I_{i(\text{coil})} = 40 \text{ mA}$ (OMRON Corporation, 2016)

3.8.2 Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

Berikut ini merupakan perhitungan matematis dan kesesuaian antara fungsi kerja dengan *rating* maksimum komponen penyusun sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua.

Tabel 3.8 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
1.	Osilator pencatu relay SPDT yang terhubung dengan input generator pulsa gelombang persegi	a. $C = 10 \mu\text{F}$, $R_A = 727 \text{ k}\Omega$ dan $R_B = 727 \text{ k}\Omega$ b. $t_H = 0,693 (R_A + R_B) \times C$ $t_H = 0,693 (727 \text{ k}\Omega + 727 \text{ k}\Omega) \times 10 \mu\text{F}$ $t_H = 10,076219999999999 \text{ sekon}$ $t_H = 10 \text{ sekon}$ c. $t_L = 0,693 \times R_B \times C$ $t_L = 0,693 \times 727 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}$ $t_L = 5,038109999999999 \text{ sekon}$ $t_L = 5 \text{ sekon}$ d. $T = t_H + t_L = 10 \text{ sekon} + 5 \text{ sekon}$ $T = 15 \text{ sekon}$ e. $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{15 \text{ sekon}} = 0,06666666667 \text{ Hz}$ f. $D = \frac{t_H}{T} = \frac{10 \text{ s}}{15 \text{ s}} = 0,6667$ $D = 66,67 \%$
2.	Generator pulsa	a. $C = 10 \mu\text{F}$, $R_A = 6,8 \text{ k}\Omega$ dan $R_B = 33 \text{ k}\Omega$

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
	gelombang persegi bagian kedua	<p>b. $t_H = 0,693 (R_A + R_B) \times C$ $t_H = 0,693 (6,8 \text{ k}\Omega + 33 \text{ k}\Omega) \times 10 \mu\text{F}$ $t_H = 0,275814 \text{ sekon}$ $t_H = 275,814 \text{ ms}$</p> <p>c. $t_L = 0,693 \times R_B \times C$ $t_L = 0,693 \times 33 \text{ k}\Omega \times 6,8 \mu\text{F}$ $t_L = 0,22869 \text{ sekon}$ $t_L = 228,69 \text{ ms}$</p> <p>d. $T = t_H + t_L = 275,814 \text{ ms} + 228,69 \text{ ms}$ $T = 504,504 \text{ ms}$</p> <p>e. $f = 1/T = 1/0,504504 \text{ sekon} = 1,98 \text{ Hz}$</p> <p>f. $D = t_H/T = 275,814 \text{ ms} / 504,504 \text{ ms} = 0,5467$ $D = 54,67\%$</p>

Tabel 3.9 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan *Rating* Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Generator Pulsa Tegangan Rendah Bagian Kedua

No.	Komponen	Fungsi Kerja	<i>Rating</i> Maksimum
1.	IC LM555	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 15 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 15 \text{ mA}$ (Texas Instruments, 2015)
2.	Resistor 1/8 W carbon film fixed 727 k Ω	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 200 V <i>Overload Voltage</i> = 400 V $P = 1/8 \text{ W}$ (XICON, 2009)
3.	Kapasitor electrolytic 10 μF	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 16 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 49 \text{ mA}$ (XICON, 2007)
4.	Kapasitor ceramic disc 10 pF	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 50 \text{ V}_{\text{DC}}$ (KEMET Electronics Corporation, 2012)
5.	Resistor 1/2 W carbon film fixed 100 Ω	$V_i = 6 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 350 V <i>Overload Voltage</i> = 700 V $P = 1/2 \text{ W}$ (XICON, 2009)
6.	IC LM555	$V_i = 9 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 15 \text{ V}_{\text{DC}}$ $I_i = 15 \text{ mA}$ (Texas Instruments, 2015)
7.	Resistor 1/8 W carbon film fixed 6,8 k Ω dan 33 k Ω	$V_i = 9 \text{ V}_{\text{DC}}$	<i>Working Voltage</i> = 200 V <i>Overload Voltage</i> = 400 V $P = 1/8 \text{ W}$ (XICON, 2009)

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
8.	Kapasitor <i>electrolytic</i> 10 μ F	$V_i = 9 V_{DC}$	$V_i = 16 V_{DC}$ $I_i = 49 \text{ mA}$ (XICON, 2007)
9.	Kapasitor <i>ceramic disc</i> 10 pF	$V_i = 9 V_{DC}$	$V_i = 50 V_{DC}$ (KEMET Electronics Corporation, 2012)
10.	Resistor $\frac{1}{2}$ W <i>carbon film fixed</i> 100 Ω	$V_i = 9 V_{DC}$	<i>Working Voltage</i> = 350 V <i>Overload Voltage</i> = 700 V $P = \frac{1}{2} \text{ W}$ (XICON, 2009)
11.	Relay SPDT 5 V_{DC}	a. Pada pin NO dan NC $V_i = 6 V_{DC}$ b. Pada pin pencatu $V_i = 9 V_{DC}$	$P_{i(\text{coil})} = 400 \text{ mW}$ $I_{i(\text{coil})} = 40 \text{ mA}$ (OMRON Corporation, 2016)

3.8.3 Sinusoidal-Voltage Source

Berikut ini merupakan perhitungan matematis dan kesesuaian antara fungsi kerja dengan *rating* maksimum komponen penyusun sub-sirkuit *sinusoidal-voltage source*.

Tabel 3.10 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit *Sinusoidal-Voltage Source*

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
1.	Osilator pencatu <i>relay</i> SPDT yang terhubung dengan <i>output</i> rangkaian inverter 12 V_{DC} ke 220 V_{AC}	a. $C = 10 \mu\text{F}$, $R_A = 727 \text{ k}\Omega$ dan $R_B = 727 \text{ k}\Omega$ b. $t_H = 0,693 (R_A + R_B) \times C$ $t_H = 0,693 (727 \text{ k}\Omega + 727 \text{ k}\Omega) \times 10 \mu\text{F}$ $t_H = 10,076219999999999 \text{ sekon}$ $t_H = 10 \text{ sekon}$ c. $t_L = 0,693 \times R_B \times C$ $t_L = 0,693 \times 727 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}$ $t_L = 5,038109999999999 \text{ sekon}$ $t_L = 5 \text{ sekon}$ d. $T = t_H + t_L = 10 \text{ sekon} + 5 \text{ sekon}$ $T = 15 \text{ sekon}$ e. $f = 1/T = 1/15 \text{ sekon} = 0,06666666667 \text{ Hz}$ f. $D = t_H/T = 10 \text{ s}/15 \text{ s} = 0,6667$ $D = 66,67 \%$
2.	Osilator pada inverter 12 V_{DC} ke 220 V_{AC}	a. $C = 1 \mu\text{F}$, $R_A = 953 \Omega$ dan $R_B = 953 \Omega$ b. $t_H = 0,693 \times R_A \times C$ $t_H = 0,693 \times 953 \Omega \times 1 \mu\text{F}$ $t_H = 0,00066042899 \text{ sekon}$ $t_H = 0,66042899 \text{ ms}$

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
6.	Relay SPDT 5 V _{DC}	c. Pada pin NO dan NC V _i = 6 V _{DC} d. Pada pin pencatu V _i = 12 V _{DC}	P _{i(coil)} = 400 mW I _{i(coil)} = 40 mA (OMRON Corporation, 2016)
7.	IC LM555	V _i = 12 V _{DC}	V _i = 15 V _{DC} I _i = 15 mA (Texas Instruments, 2015)
8.	Resistor 1/8 W carbon film fixed 953 Ω	V _i = 12 V _{DC}	Working Voltage = 200 V Overload Voltage = 400 V P = 1/8 W (XICON, 2009)
9.	Kapasitor electrolytic 1 μF dan 0,01 μF	V _i = 12 V _{DC}	V _i = 16 V _{DC} I _i = 49 mA (XICON, 2007)
10.	Dioda 1N4007	V _i = 12 V _{DC}	V _i = 1000 V I _i = 1 A (ON Semiconductor, 2013)
11.	Resistor 1/2 W carbon film fixed 1 kΩ	V _i = 12 V _{DC}	Working Voltage = 350 V Overload Voltage = 700 V P = 1/2 W (XICON, 2009)
12.	IRF250	V _i = 9 V _{DC}	V _{DS} = 200V V _{GS} = 20V (Intersil Corporation, 1999)
13.	Trafo step down	I _i = Max 15 Ma	I _i = Max 500 mA (Rapid, 2007)
14.	Resistor metal-oxide film 1 W 1 kΩ, 510 Ω dan 220 Ω	V _i = 288 V _{AC}	Working Voltage = 350 V Overload Voltage = 600 V (Nic Components Corp., 2013)
15.	Dioda zener 75 V 1N5374BG	I _i = Max 15 mA	I _R = 1,9 A (On Semiconductor, 2015)
16.	Dioda zener 50 V 1N5378BG	I _i = Max 15 mA	I _R = 1,5 A (On Semiconductor, 2015)

3.8.4 *Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier* Satu Fasa

Berikut ini merupakan perhitungan matematis dan kesesuaian antara fungsi kerja dengan *rating* maksimum komponen penyusun sub-sirkuit *symmetrical cockroft-walton voltage multiplier* satu fasa.

Tabel 3.12 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit *Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier* Satu Fasa

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
1.	Rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa	<p>a. Besar <i>output</i> tegangan pada detik ke-0 sampai dengan detik ke-10 adalah:</p> $V_o = n V_s(max) - \frac{I_o}{fC} \left[\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{4} + \frac{n}{3} \right]$ $V_o = 10 \times 300 V_{AC} - \frac{4,619452398 \mu A}{710 \text{ Hz} \times 820 \text{ pF}} \left[\frac{10^3}{6} + \frac{10^2}{4} + \frac{10}{3} \right]$ $V_o = 3.000 - 1.547$ $V_o = 1,453 \text{ kV}_{DC}$ <p>b. Besar <i>output</i> tegangan pada detik ke-10 sampai dengan detik ke-15 adalah:</p> $V_o = n V_s(max) - \frac{I_o}{fC} \left[\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{4} + \frac{n}{3} \right]$ $V_o = 10 \times 400 V_{AC} - \frac{6,485000482 \mu A}{710 \text{ Hz} \times 820 \text{ pF}} \left[\frac{10^3}{6} + \frac{10^2}{4} + \frac{10}{3} \right]$ $V_o = 4.000 - 2.172$ $V_o = 1,828 \text{ kV}_{DC}$

Tabel 3.13 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan *Rating* Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit *Symmetrical Type Cockroft-Walton Voltage Multiplier* Satu Fasa

No.	Komponen	Fungsi Kerja	<i>Rating</i> Maksimum
1.	Kapasitor keramik tegangan tinggi 820 pF 2 Kv	$V_{i1} = 150 \text{ V}$ sampai dengan $\pm 1,5 \text{ kV}$ $V_{i2} = 200 \text{ V}$ sampai dengan $\pm 2 \text{ kV}$	$V_i = 2.000 V_{DC}$ (muRata, 2016)
2.	Resistor <i>metal-oxide film</i> 3 W 1 M Ω dan 200 Ω	$V_{i1} =$ maksimum 375 V $V_{i2} =$ maksimum 500 V	<i>Working Voltage</i> = 500 V <i>Overload Voltage</i> = 800 V <i>Pulse Voltage</i> = 1.500 V P = 3 W (Nic Components Corp., 2013)
3.	Dioda MUR1560	$V_{i1} =$ maksimum	$V_i = 600 \text{ V}$

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
		375 V $V_{i2} = \text{maksimum}$ 500 V	$I_i = 15 \text{ A}$ (ON Semiconductor, 2000)
4.	Dioda 1N4005	$V_{i1} = \text{maksimum}$ 375 V $V_{i2} = \text{maksimum}$ 500 V	$V_i = 600 \text{ volt}$ $I_i = 1 \text{ A}$ (ON Semiconductor, 2013)

3.8.5 Transistor-Based Pulsed Power Supply

Berikut ini merupakan perhitungan matematis dan kesesuaian antara fungsi kerja dengan *rating* maksimum komponen penyusun sub-sirkuit transistor-based pulsed power supply.

Tabel 3.14 Perhitungan Matematis dalam Perancangan Sub-Sirkuit Transistor-Based Pulsed Power Supply

No.	Bagian Sub-Sirkuit	Perhitungan Matematis
1.	Lamanya t_r (rise time) dari output pulsa pada beban	$t_r = R_C \times C_{\text{load}} = 100 \text{ k}\Omega \times 1\mu\text{F} = 0,1 \text{ sekon}$
2.	Lamanya t_r (rise time) dari arus kolektor pada transistor	$t_r = R_C \times C = 100 \text{ k}\Omega \times 100\text{pF} = 0,00001 \text{ sekon} = 10 \mu\text{s}$

Tabel 3.15 Kesesuaian Antara Fungsi Kerja dan Rating Maksimum Komponen Penyusun Sub-Sirkuit Transistor-Based Pulsed Power Supply

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
1.	Kapasitor ceramic disc 100 pF 3,15 kV	$V_{i1} = 1.500 \text{ V}_{\text{DC}}$ $V_{i2} = 2.000 \text{ V}_{\text{DC}}$	$V_i = 3.150 \text{ V}_{\text{DC}}$ (muRata, 2016)
2.	Resistor 7 W metal oxide film 100 k Ω	$V_{i1} = 1.500 \text{ V}_{\text{DC}}$ $V_{i2} = 2.000 \text{ V}_{\text{DC}}$	Working Voltage = 750 V Overload Voltage = 1.000 V Pulsed Voltage = 2.000 V P = 7 W (Nic Components Corp., 2013)
3.	Kapasitor ceramic disc 1 μF 3,15 kV	$V_{i1} = \text{maksimum}$ 1.500 V_{DC} $V_{i1} = \text{maksimum}$ 2.000 V_{DC}	$V_i = 3.150 \text{ V}_{\text{DC}}$ (muRata, 2016)
4.	Transistor PBHV8560Z	$V_{i1} (\text{collector}) =$ maksimum 5,1 V_{DC}	$V_{\text{CEO}} = 600 \text{ V}$ $V_{\text{EBO}} = 6 \text{ V}$

No.	Komponen	Fungsi Kerja	Rating Maksimum
		$V_{i2} = \text{maksimum } 750$ V_{DC} $V_{i3} = \text{maksimum}$ $1.000 V_{DC}$	$I_C = 0,5 \text{ A}$ (Nexperia, 2015)
5.	Dioda zener 1N5338B	$I_i = \text{Max } 15 \text{ mA}$	$I_R = 14,4 \text{ A}$ (ON Semiconductor, 2015)

3.8.6 Visualisasi *Output*

Output dari masing-masing sub-sirkuit penyusun *prototype* akan diuji menggunakan osiloskop yang terdapat pada *software* NI MultisimTM 14.0 untuk mengetahui besar amplitudo, durasi, *duty-cycle*, frekuensi dan bentuk gelombang yang dihasilkan.

3.9 *Preliminary Field Testing (Validasi Logis)*

3.9.1 Validator

Menurut Lembaga Akreditasi Mandiri Pendidikan Tinggi Kesehatan (2014: 3) validator adalah jabatan kehormatan, jabatan penghargaan atas kepakaran dan keamanahannya, bukan jabatan struktural dan bukan pula jabatan yang memberikan keuntungan finansial. Adapun, validator yang bertugas dalam tahap ini berjumlah tiga orang yang masing-masing adalah seorang validator ahli pada bidang rangkaian listrik.

3.9.2 Format Validasi

Dalam tahap pelaksanaan validasi ahli terhadap bentuk permulaan dari produk, masing-masing validator ahli akan mengisi lembar instrumen validasi ahli seperti yang terlampir pada Lampiran 3.2 dan Lampiran 3.3. Deskripsi kualitatif validitas rancangan *prototype* dapat diperoleh melalui proses perhitungan skor seperti yang terlampir pada Lampiran 3.4. Adapun, format lembar validasi ahli beserta deskripsi kualitatif validitas berdasarkan pada instrumen validasi oleh Akbar (2013).

3.9.3 Analisis

Kegiatan analisis dilakukan terhadap hasil validasi ahli untuk menentukan adanya revisi atau tidak terhadap desain rangkaian sebelum melaksanakan pengambilan data.

3.10 *Main Product Revision*

Dalam tahap ini, perbaikan terhadap rancangan *prototype* dilakukan berdasarkan hasil validasi ahli serta saran dan masukan dari validator ahli sehingga diperoleh rancangan *prototype* yang siap untuk mengambil data.

3.11 *Main Field Testing (Uji Coba Produk)*

3.11.1 Variabel

Variabel dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Variabel Kontrol
 - 1) *Rancangan prototype*
 - 2) *Input* tegangan, yaitu sebesar 9 V_{DC} sebagai *input* bagi masing-masing generator pulsa tegangan rendah dan sebesar 6 V_{DC} sebagai *input* bagi masing-masing osilator *relay*
- b. Variabel Terikat
 - 1) Amplitudo dari *output*.
 - 2) Durasi dari *output*.
 - 3) *Duty-cycle* dari *output*.
 - 4) Frekuensi dari *output*.

3.11.2 Prosedur

Dalam tahap pengambilan data melalui simulasi rancangan rangkaian *prototype* berdasarkan pada prosedur berikut:

- a. Menyiapkan *software* NI MultisimTM 14.0 beserta seluruh rancangan rangkaian *prototype* dan instrumen visualisasi *output*.
- b. Memeriksa kembali seluruh rangkaian dan penempatan komponen pada rancangan rangkaian *prototype* dan instrumen visualisasi *output*.

- c. Membuka *file* sub-sirkuit pertama penyusun rancangan rangkaian *prototype* pada *software* NI MultisimTM 14.0
- d. Mengaktifkan *run* pada *software*.
- e. Menonaktifkan *run* pada detik ke-20,9.
- f. Menyimpan gambar hasil simulasi dalam format JPEG.
- g. Mengulangi langkah 2 sampai dengan ke-6 untuk seluruh sub-sirkuit penyusun *prototype*.
- h. Mengulangi langkah 2 sampai dengan ke-6 untuk rancangan rangkaian *prototype* secara menyeluruh.

3.11.3 Analisis

Berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian, baik masing-masing sub-sirkuit penyusun *prototype* maupun *prototype* secara keseluruhan, dapat dianalisis secara deskriptif kesesuaian antara *output* yang diharapkan beserta hasil perhitungan matematis dibandingkan dengan *output* yang dihasilkan untuk dikaji faktor yang mempengaruhinya.

3.12 *Opertional Product Revision*

Dalam tahap ini, poin-poin perbaikan dirumuskan berdasarkan hasil analisis terhadap *output* yang dihasilkan oleh rancangan rangkaian *prototype* sehingga diperoleh referensi bagi pengembangan rancangan rangkaian *prototype* selanjutnya.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi terdiri atas tujuh jenis sub-sirkuit penyusun *prototyptpe*, yaitu: sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama, sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua, sub-sirkuit osilator *relay*, sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* dengan AC *voltage-regulator* 150 V_{AC}, sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* dengan AC *voltage-regulator* 200 V_{AC}, sub-sirkuit *symmetrical type cockroft-walton voltage multilier* satu fasa, dan sub-sirkuit *transistor-based pulsed power supply*.
- b. Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi menghasilkan spesifikasi output terkombinasi sebagai berikut: amplitudo 1,36 kV_{DC}; *duty cycle* 29,77 %; frekuensi 1,15 Hz dan pulsa medan listrik 1,36 kV_{DC}/cm pada detik ke-0 sampai dengan detik ke-15,9 serta spesifikasi output 1,66 kV_{DC}; *duty-cycle* 42,04 %; frekueansi 1,98 Hz dan pulsa medan listrik 1,66 kV_{DC}/cm pada detik ke-15,9 sampai dengan detik ke-20,9.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis terhadap hasil penelitian, diperoleh beberapa saran bagi pengembangan atau penelitian selanjutnya sebagai berikut:

- a. Mekanisme rangkaian osilator 555 *timer* menghasilkan pulsa pertama yang memiliki lebar pulsa 58,528 % - 59,7 % lebih besar dibandingkan dengan pulsa pada siklus periode berikutnya, dengan demikian sebaiknya mengurangi sebesar 58,528 % sampai dengan 59,7 % pada t_H yang diekspektasikan sebagai pengatur durasi pulsa pada rangkaian osilator *relay* jika memerlukan dua kombinasi spesifikasi terhadap *output* dari *prototype*.

- b. Rangkaian transistor-*based pulsed power supply* menghasilkan *output* pulsa yang bergeser sebesar 180° , dengan demikian sebaiknya menukar nilai t_H dan t_L (yang diekspektasikan) satu sama lain saat melakukan perhitungan matematis untuk menentukan spesifikasi komponen dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah.
- c. Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi dapat digunakan dalam bidang pendidikan sebagai media pembelajaran materi osilasi gelombang listrik dinamis.



DAFTAR PUSTAKA**Buku**

- Akbar, Sa'dun. 2013. *Instrumen Perangkat Pembelajaran*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. 2013. *Fundamentals of Electric Circuits: Fifth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Attwood, Stephen S. 1932. *Electric and Magnetic Fields*. New York: Dover Publications, Inc.
- Boylestad, R. dan Nashelsky, L. 2009. *Electronic Devices and Circuit Theory: Seventh Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Barbosa-Canovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., dan Swanson, B. G. 1999. *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*. London: Academic Press.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. 1983. *Educational Research: An Introduction*. New York: Longman.
- Bluhm, H. 2006. *Pulsed Power Systems: Principles and Applications*. Berlin: Springer.
- Gonzalez, Guillermo. 2007. *Foundations of Oscillator Circuit Design*. Massachusetts: Artech House, Inc.
- Johnson, Gary L. 2001. *Solid State Tesla Coil*. Kansas: Kansas State University.
- Nickoloff, Jac A. 1995. *Animal Cell Electroporation and Electrofusion Protocols*. New Jersey: Humana Press.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Vorobiev, Eugene dan Lebovka, Nikolai. 2008. *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*. New York: Springer.
- Xiu, Liming. 2012. *Nanometer Frequency Synthesis Beyond the Phase Locked Loop*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Data Sheet

Intersil Corporation. "30A, 200V, 0.085 Ohm, N-Channel Power MOSFET". IRF250 datasheet. Maret, 1999.

KEMET Electronics Corporation. "Multilayer Ceramic Capacitors / Axial & Radial Leaded". Ceramic Capacitors datasheet. Maret, 2012.

muRata. "Safety Standard Certified Ceramic Capacitors / High Voltage Ceramic Capacitors". High Voltage Ceramic Capacitors datasheet. Mei, 2016.

Nexperia. "PBHV8560Z: 600V, 0.5 A NPN High-Voltage Low VCEsat (BISS) Transistor". PBHV8560 transistor datasheet. Maret, 2015.

Nic Components Corp. "Metal Oxide Film Resistors". Metal Oxide Film Resistors datasheet. April, 2013.

OMRON Corporation. "G5RL: PCB Power Relay". PCB Power Relay datasheet. Mei, 2016.

ON Semiconductor. "MUR1510, MUR1515, MUR150, MUR1540, MUR1560: Switchmode™ Power Rectifiers". MUR1510, MUR1515, MUR150, MUR1540, MUR1560 datasheet. Oktober, 2000.

ON Semiconductor. "1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007: Axial Lead Standard Recovery Rectifiers". 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007 datasheet. Oktober, 2012 [Revised 2013].

ON Semiconductor. "1N53 Series: 5 Watt Surmeric™ 40 Zener Voltage Regulators". 1N5383 and 1N5388B datasheet. November, 2013 [Revised 2015].

Rapid. "Standard Encapsulated P.C.B Fully Mounting Transformers 0.5VA to 55VA". Encapsulated P.C.B. Fully Mounting Transformers 0,5VA to 55VA datasheet. Februari, 2007.

Texas Instruments. "LM555 Timer". LM555 Timer datasheet. Februari, 2010 [Revised Jan. 2015].

XICON. "Miniature Aluminum Electrolytic Capacitors". Aluminum Electrolytic Capacitors datasheet. Oktober, 2007.

XICON. "Carbon Film Fixed Resistors (RoHS Compliant)". Carbon Film Fixed Resistors datasheet. September, 2009.

Jurnal

- Anand, P., Sundaram, C., Jhurani, S., Kunnumakkara, A. B., dan Aggarwal, B. B. 2008. *Curcumin and Cancer: An "Old-Age" Disease with An "Age-Old" Solution*. Cancer Letters: Elsevier Ireland Ltd., 267: 133-164.
- Beebe, Stephen J., Fox, Paula M., Rec, Laura J., Willis, Lauren K., dan Schoenbach, Karl H. 2003. *Nanosecond, High-Intensity Pulsed Electric Fields Induce Apoptosis in Human Cells*. The FASEB Journal: 1-13.
- Chalermchat, Y., Fincan, M., dan Dejmek, P. 2004. *Pulsed Electric Field Treatment for Solid-Liquid Extraction of Red Beetroot Pigment: Mathematical Modelling of Mass Transfer*. Journal of Food Engineering: Elsevier B. V., 64: 229-236.
- De Vito, F., Ferrari, G., Lebovka, N. I., Shynkaryk, N. V., dan Vorobiev, E. 2008. *Pulse Duration and Efficiency of Soft Cellular Tissue Disintegration by Pulsed Electric Fields*. Food Bioprocess Technology, 1: 307-313.
- Delsart, C., Ghidossi, R., Poupot, C., Cholet, C., Grimi, N., Vorobiev, E., Milisic, V., dan Peuchot, M. M. 2012. *Enhanced Extraction of Phenolic Compounds from Merlot Grapes by Pulsed Electric Field Treatment*. Am. J. Enol. Vitic, 63 (2): 205-211.
- Gao, Jiali. 2003. *Catalysis by Enzyme Conformational Change As Illustrated by Orotidine 5'-Monophosphate Decarboxylase*. Current Opinion in Structural Biology: Elsevier B. V., 13: 184-192.
- Gachovska, T., Cassada, D., Subbiah, J., Hanna, M., Thippareddi, H., dan Snow, D. 2010. *Enhanced Anthocyanin Extraction from Red Cabbage Using Pulsed Electric Field Processing*. Journal of Food Science, 75 (6): 323-329.
- Giner, J., Ortega, M., Mesegue, M., Gimeno, V., Barbosa-Canovas, G. V., dan Martin, O. 2002. *Inactivation of Peach Polyphenoloxidase by Exposure to Pulsed Electric Fields*. Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties, 67 (4): 1467-1472.
- Goettel, M., Eing, C., Gusbeth, C., Straessner, R., dan Frey, W. 2013. *Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Intracellular Valuables from Microalgae*. Algal Research: Elsevier B.V., 66: 1-8.
- Guderjan, M., Topfl, S., Angersbach, A., dan Knorr, D. 2005. *Impact of Pulsed Electric Field Treatment on the Recovery and Quality of Plant Oils*. Journal of Food Engineering: Elsevier B. V., 67: 281-287.

- Haryati, Sri. 2012. *Research and Development (R&D) Sebagai Salah Satu Model Penelitian dalam Bidang Pendidikan*. Jurnal UTM, 37 (1): 11-26.
- Iqbal, S. 2012. *Elimination of Odd Harmonics in Symmetrical Voltage Multipliers*. IOP Publishing Ltd and Sissa Medialab srl, 1-11.
- Leong, Sze Y., Burritt, David J. dan Oey, I. 2015. *Effect of Combining Pulsed Electric Fields with Maceration Time on Merlot Grapes in Protecting Caco-2 Cells from Oxidative Stress*. Food Bioprocess Technol: Springer, 1-14.
- Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Raso, J., dan Alvarez, I. 2009. *Enhancement of the Solid-Liquid Extraction of Sucrose from Sugar Beet (Beta vulgaris) by Pulsed Electric Fields*. LWT – Food Science and Technology: Elsevier B. V., 42: 1674-1680.
- Luengo, E., Alvarez, I., dan Raso J. 2013. *Improving the Pressing Extraction of Polyphenols of Orange Peel by Pulsed Electric Fields*. Innovative Food Science and Emerging Technologies: Elsevier B. V., 17: 79-84.
- Mair, Hugh & Xiu, Liming. 2000. An Architecture of Gigh-Performance Frequency and Phase Synthesis. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 35 (6): 835-846.
- Ohshima, T., Tamura, T., dan Sato, M. 2007. *Influence of Pulsed Electric Field on Various Enzyme Activities*. Journal of Electrostatics Elsevier B. V., 65: 156-161.
- Peng, Y., Liu, T., Gong, H., Wang, J., dan Zhang, X. 2015. *Effect of Pulsed Electric Field with Variable Frequency on Coalescence of Drops in Oil*. Journal of The Royal Society of Chemistry, 5: 31318-31323.
- Quitao-Teixeira, L. J., Aguilo-Aguayo, I., Ramos, A. M., dan Martin-Belloso, O. 2008. *Inactivation of Oxidative Enzyme by High-Intensity Pulsed Electric Field for Retention of Color in Carrot Juice*. Food Bioprocess Technology: Springer Science, 1: 364-373.
- Van der Veeke, A. A. 1972. *High Voltage Pulse Amplifier Drives Capacitive Loads with Short Rise Times*. The Review of Scientific Instruments, 43 (11): 1702-1703.
- Yin, Y., dan He, G. 2007. *A Fast High-Intensity Pulsed Electric Fields (PEF)-Assisted Extraction of Dissoluble Calcium from Bone*. Separation and Purification Technology: Elsevier B.V., 61: 148-152.

Yongguang, Y., Yuzhu, H., dan Yong, H. 2006. *Pulsed Electric Field Extraction of Polysaccharide from Rana Temporaria Chensinensis David*. International Journal of Pharmaceutics: Elsevier B. V., 312: 33-36.

Zhang, Y., Hou, Y., Zhang, Y., Chen, J., Chen, F., Liao, X., dan Hu, X. 2011. *Reduction of Diazinon and Dimethoate in Apple Juice by Pulsed Electric Field Treatment*. J. Sci. Food Agric., 92: 743-750.

Materi Workshop

Lembaga Akreditasi Mandiri Pendidikan Tinggi Kesehatan. 2014. "Kode Etik Asesor & Validator". Tidak Dipublikasikan. *Materi Workshop*. Jakarta: Lembaga Akreditasi Mandiri Pendidikan Tinggi Kesehatan.

Panduan

Digital Electronics™. 2009. "Introduction to Analog". Tidak Dipublikasikan. *Panduan*. New York: Project Lead The Way, Inc.

Paten

Stahl, George J. "Repetitive Pulse Generator with Wide Pulse Duration, Amplitude, Frequency and Duty Cycle Characteristics". United States Patent 6,060,931. 09 Mei 2000.

Xiu, Liming & You, Zhihoung. "Scalable High-Speed Precision Frequency and Phase Synthesis". United States Patent 6,940,937. 06 September, 2005.

Xiu, Liming & You, Zhihoung. "Precision Frequency and Phase Synthesis with Fewer Voltage-Controlled Oscillator Stages". United States Patent 7,372,340. 13 Mei, 2008.

Tesis

Grenier, Jason R. 2006. "Design of a MOSFET-Based Pulsed Power Supply for Electroporation". Tidak Dipublikasikan. *Tesis*. Ontario: Master Program of Applied Science in Electrical and Computer Engineering Waterloo University.

Website

Bridgen, David. 2017. 555 Timers. [Online] <http://www.davidbridgen.com/555.htm> [Diakses pada 22 Mei 2017].

Electro Teknik. 2011. *Voltage Classification: Low Voltage, Medium Voltage and Extra High Voltage*. [Online].

<http://www.electrotechnik.net/2011/03/voltage-classification-lv-mv-and-eHV.html> [Diakses pada 30 Agustus 2016].

Williamson-labs. 2015. 555 *General Specifications*. [Online].
<https://www.williamson-labs.com/555-tutorial.html> [Diakses pada 30 Agustus 2016].



LAMPIRAN 3.1 MATRIKS PENELITIAN

Matriks Penelitian

Judul	Perumusan Masalah	Variabel	Sumber Data	Metodologi Penelitian
Perancangan <i>Prototype</i> Generator Pulsa Medan Listrik DC Tegangan Medium dengan <i>Output</i> Amplitudo, Durasi, <i>Duty-Cycle</i> dan Frekuensi Terkombinasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimanakah rancangan rangkaian <i>prototype</i> generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan <i>output</i> amplitudo, durasi, <i>duty-cycle</i> dan frekuensi terkombinasi? 2. Bagaimanakah hasil simulasi rancangan rangkaian <i>prototype</i> generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan <i>output</i> amplitudo, durasi, <i>duty-cycle</i> dan frekuensi terkombinasi? 	<p>Variabel kontrol:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Rancangan <i>Prototype</i> b. <i>Input</i> tegangan, yaitu sebesar $9 V_{DC}$ sebagai <i>input</i> bagi masing-masing generator pulsa tegangan rendah dan sebesar $6 V_{DC}$ sebagai <i>input</i> bagi masing-masing osilator <i>relay</i> <p>Variabel terikat:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Amplitudo dari <i>output</i> b. Durasi dari <i>output</i> c. <i>Duty-cycle</i> dari <i>output</i> d. Frekuensi dari <i>output</i> 	<p>Hasil simulasi rancangan rangkaian</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tempat Penelitian: Laboratorium Elektronika dasar Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan 2. Data yang diambil : <ol style="list-style-type: none"> a. Amplitudo dari <i>output</i> b. Durasi dari <i>output</i> c. <i>Duty-cycle</i> dari <i>output</i> d. Frekuensi dari <i>output</i> 3. Analisis data yang digunakan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Validasi logis 2. Perbandingan dengan perhitungan matematis

LAMPIRAN 3.2 LEMBAR VALIDASI AHLI

LEMBAR VALIDASI AHLI

PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN LISTRIK
TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT* AMPLITUDO, DURASI,
DUTY-CYCLE DAN FREKUENSI TERKOMBINASI

Nama : Drs. Tripsilo Prihandono, M.Si
NIP : 196204011987021001
Instansi : FKIP Universitas Jember
Alamat Instansi : Jl. Kalimantan 37 Jember
Bidang Keahlian : Ilmu Fisika

PETUNJUK PENGISIAN:

1. Berilah tanda *checklist* (\checkmark) pada kolom penilaian sesuai dengan penilaian Bapak/Ibu terhadap perancangan *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.
2. Gunakan kriteria penilaian pada lampiran sebagai pedoman penilaian.
3. Berilah saran dan masukan Bapak/Ibu terkait hal-hal yang menjadi kekurangan dari perancangan *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.

Demikian, atas kesediaan Bapak/Ibu saya ucapkan terimakasih.

LAMPIRAN 3.3 INSTRUMEN VALIDASI AHLI

INSTRUMEN VALIDASI AHLI
PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN LISTRIK TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT*
AMPLITUDO, DURASI, *DUTY-CYCLE* DAN FREKUENSI TERKOMBINASI

No.	Pernyataan Tentang Perancangan <i>Prototype</i> yang Dikembangkan	Skor			
		1	2	3	4
1.	Rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama				✓
2.	Rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua				✓
3.	Rancangan rangkaian osilator <i>relay</i>			✓	
4.	Peneropatan rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama, generator pulsa tegangan rendah bagian kedua dan osilator <i>relay</i> untuk menghasilkan kombinasi <i>output</i>			✓	
5.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i>				✓
6.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC}			✓	
7.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC}			✓	
8.	Penempatan rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC} , <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC} dan osilator <i>relay</i> untuk				✓

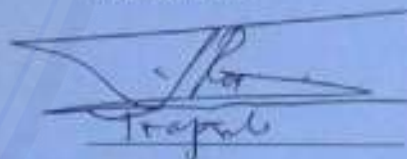
No.	Pernyataan Tentang Perancangan <i>Prototype</i> yang Dikembangkan	Skor			
		1	2	3	4
	V_{AC} , <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V_{AC} dan osilator <i>relay</i> untuk menghasilkan kombinasi <i>output</i>				✓
9.	Rancangan rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa				✓
10.	Rancangan rangkaian transistor-based <i>pulsed power supply</i>				✓
11.	Rancangan rangkaian <i>prototype</i> secara keseluruhan				✓

Masukan untuk perbaikan *prototype* oleh validator ahli:

Perbedaan bagian pada kedua kuning signifikan

Jember, 2017

Validator Ahli,



NIP.

LAMPIRAN 3.4 KRITERIA PENILAIAN INSTRUMEN VALIDASI AHLI

KRITERIA PENILAIAN INSTRUMEN VALIDASI AHLI

PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN LISTRIK TEGANGAN MEDIUM DENGAN OUTPUT AMPLITUDO, DURASI, *DUTY-CYCLE* DAN FREKUENSI TERKOMBINASI

No.	Pernyataan Tentang <i>Prototype</i> yang Dikembangkan	Skor	Kriteria
1.	Rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
2.	Rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
3.	Rancangan rangkaian osilator <i>relay</i>	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
4.	Penempatan rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama,	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar

No.	Pernyataan Tentang <i>Prototype</i> yang Dikembangkan	Skor	Kriteria
	generator pulsa tegangan rendah bagian kedua dan osilator <i>relay</i> untuk menghasilkan kombinasi <i>output</i>	2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
5.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i>	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
6.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC}	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
7.	Rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC}	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
8.	Penempatan rancangan rangkaian <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 150 V _{AC} , <i>sinusoidal voltage source</i> yang terhubung dengan AC <i>voltage-regulator</i> 200 V _{AC} dan osilator <i>relay</i> untuk menghasilkan kombinasi <i>output</i>	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
9.	Rancangan rangkaian <i>symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier</i> satu fasa	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%

No.	Pernyataan Tentang <i>Prototype</i> yang Dikembangkan	Skor	Kriteria
10.	Rancangan rangkaian transistor- <i>based pulsed power supply</i>	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%
11.	Rancangan rangkaian <i>prototype</i> secara keseluruhan	4	Jika perancangan rangkaian adalah 91% - 100% benar
		3	Jika perancangan rangkaian adalah 70% - 90% benar
		2	Jika perancangan rangkaian adalah 60% - 69% benar
		1	Jika perancangan rangkaian adalah benar sebanyak kurang dari 60%

Kriteria Validitas Secara Deskriptif:

No.	Kriteria Validitas	Tingkat Validitas
1.	85,01% - 100,00%	Sangat valid, atau dapat digunakan tanpa revisi
2.	70,01% - 85,00%	Cukup valid, atau dapat digunakan namun perlu direvisi kecil
3.	50,01% - 70,00%	Kurang valid, disarankan tidak dipergunakan karena perlu revisi besar
4.	01,00% - 50,00%	Tidak valid, atau tidak boleh dipergunakan

Hasil Validasi:

Kriteria validitas secara deskriptif = $[(\text{skor yang diperoleh}) / (\text{skor total})] \times 100 \% = (40/44) \times 100 \% = 90,90 \%$

Maka, disimpulkan bahwa tingkat validitas adalah sangat valid, atau dapat digunakan tanpa revisi.

LAMPIRAN 4.1 HASIL DATA



Gambar 4.1.1 *Output* tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama



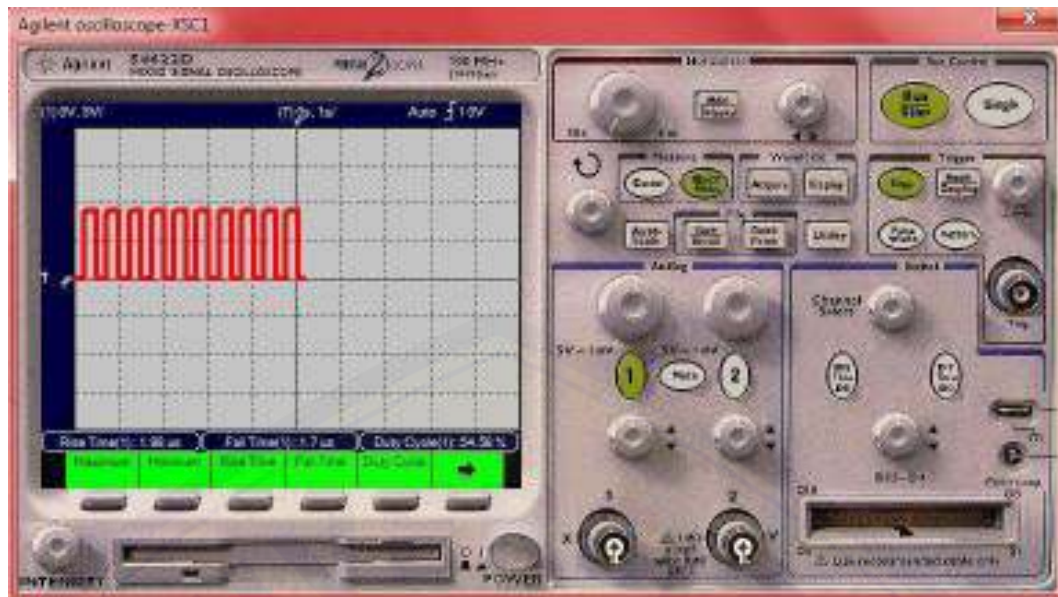
Gambar 4.1.2 *Output* duty-cycle, fall-time dan rise-time dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama



Gambar 4.1.3 *Output* tegangan maksimum (V_{max}) dan tegangan minimum (V_{min}) dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian pertama



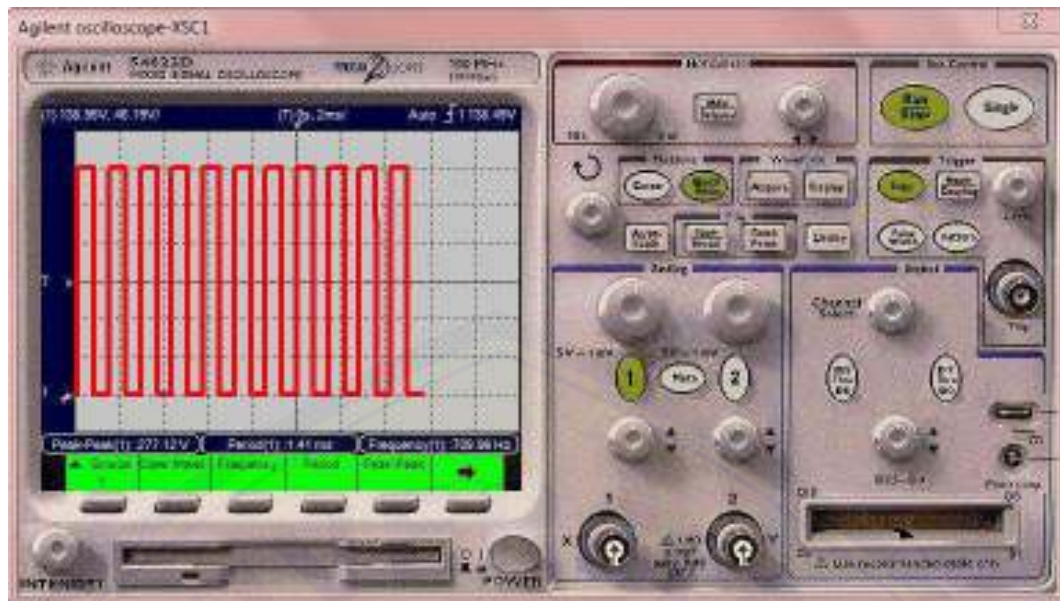
Gambar 4.1.4 *Output* tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua



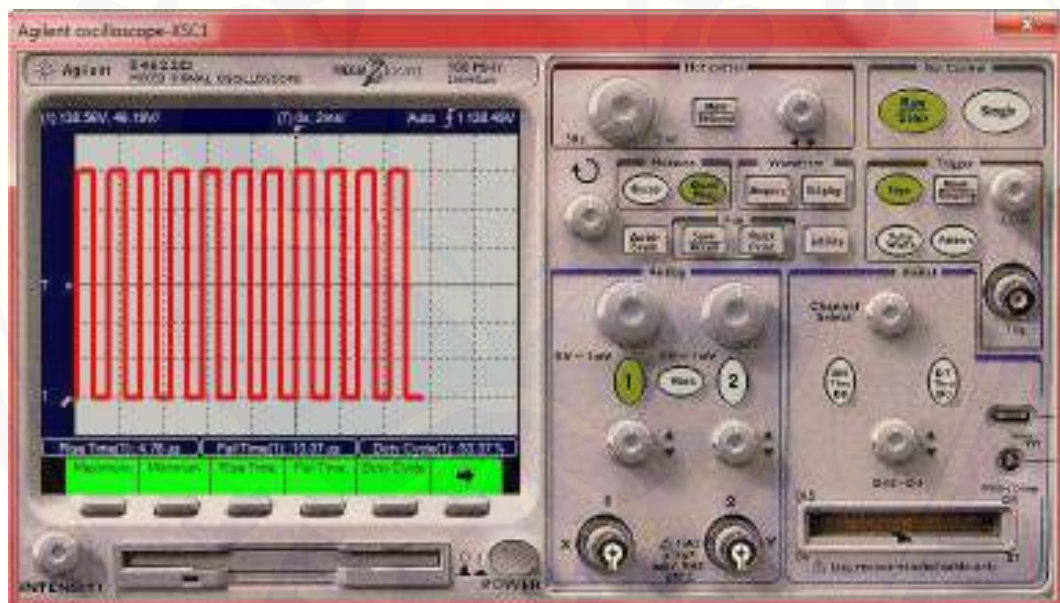
Gambar 4.1.5 *Output duty-cycle, fall-time dan rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua



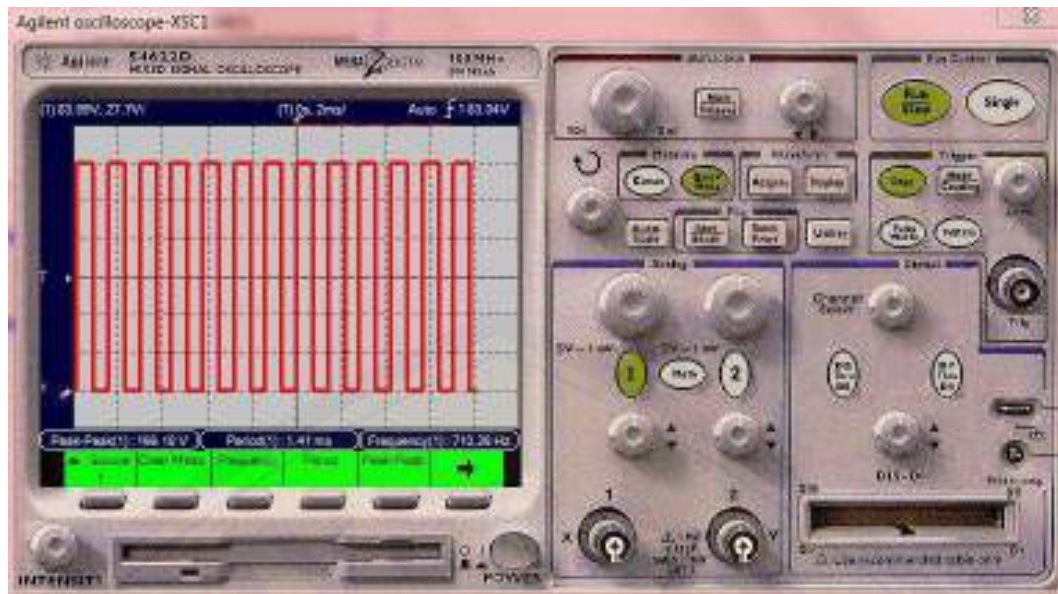
Gambar 4.1.6 *Output tegangan maksimum (V_{max}) dan tegangan minimum (V_{min})* dari hasil simulasi rancangan rangkaian generator pulsa tegangan rendah bagian kedua



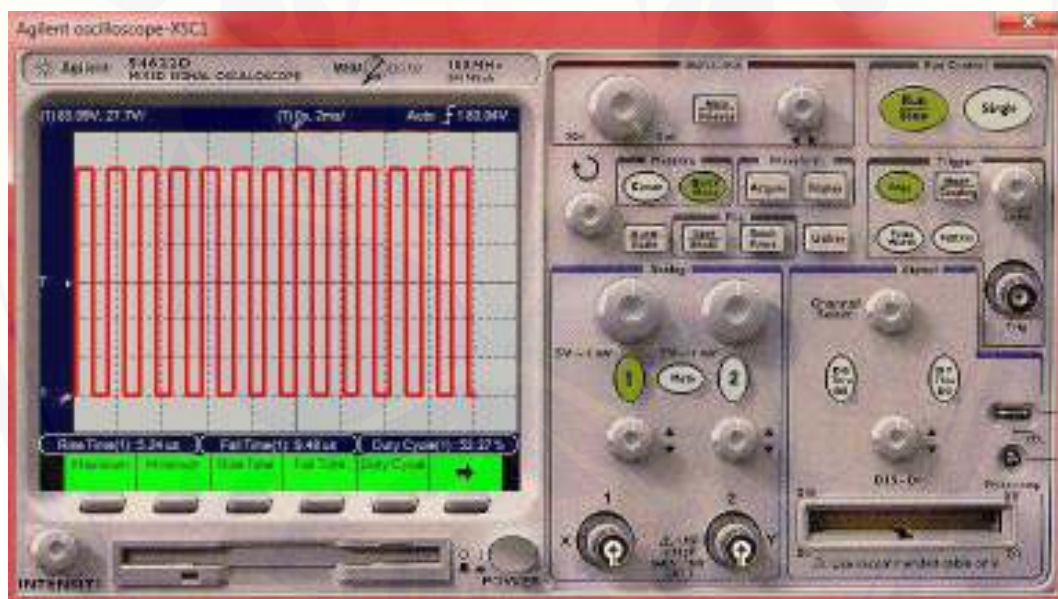
Gambar 4.1.7 Output tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source*



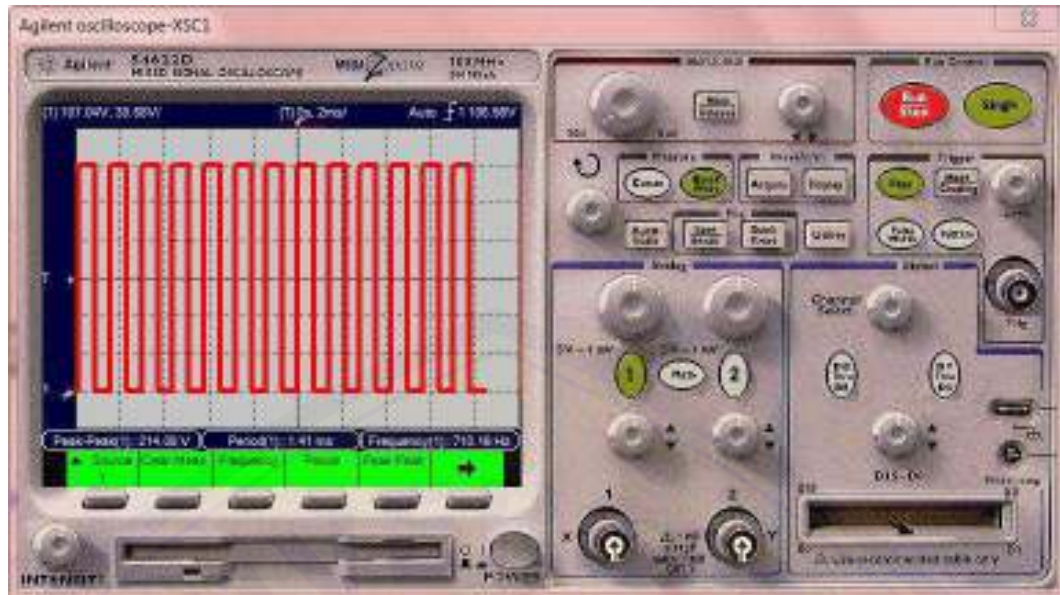
Gambar 4.1.8 Output *duty-cycle*, *fall-time* dan *rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source*



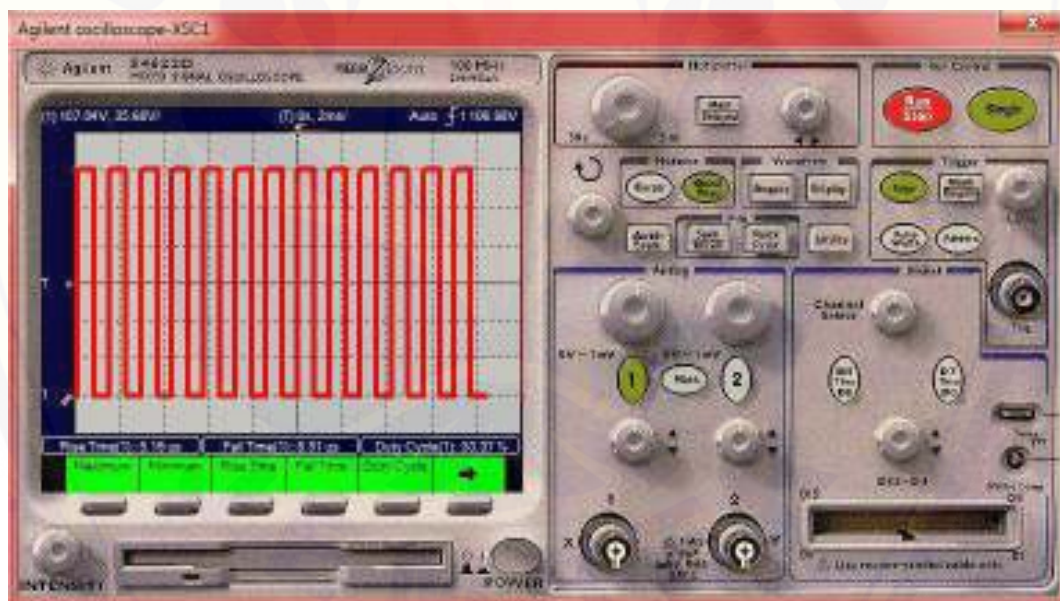
Gambar 4.1.9 Output tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source* yang terhubung dengan AC *voltage-regulator* 150 V_{AC}



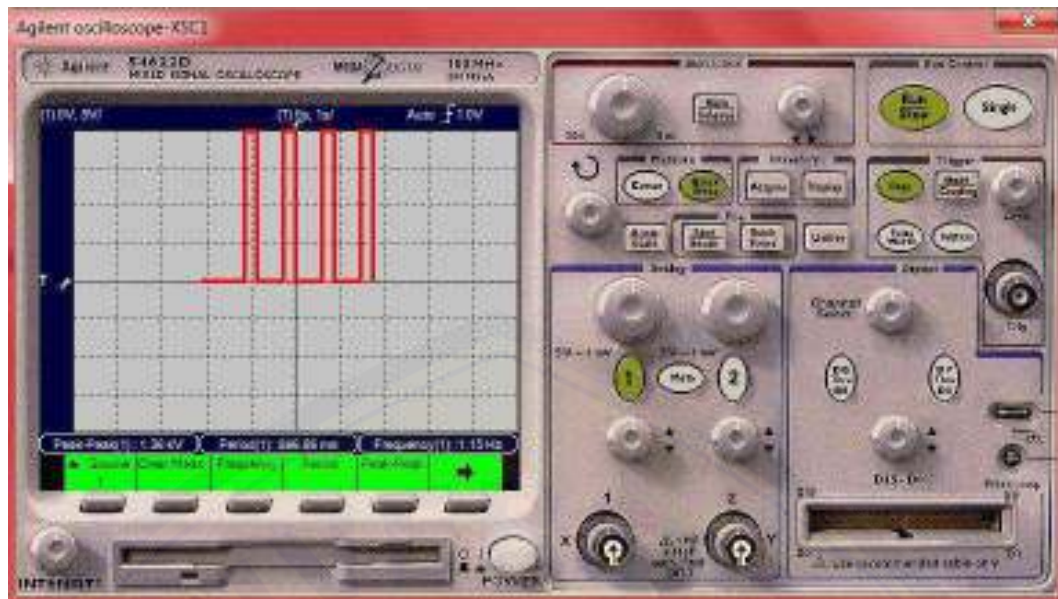
Gambar 4.1.10 Output *duty-cycle*, *fall-time* dan *rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source* yang terhubung dengan AC *voltage-regulator* 150 V_{AC}



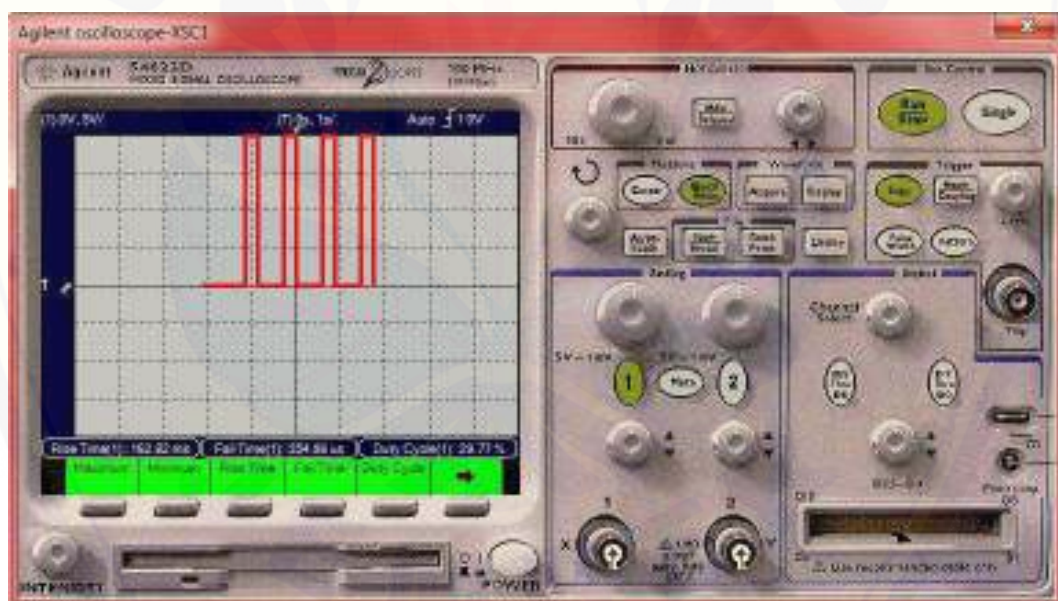
Gambar 4.1.11 Output tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source* yang terhubung dengan AC *voltage-regulator* 200 V_{AC}



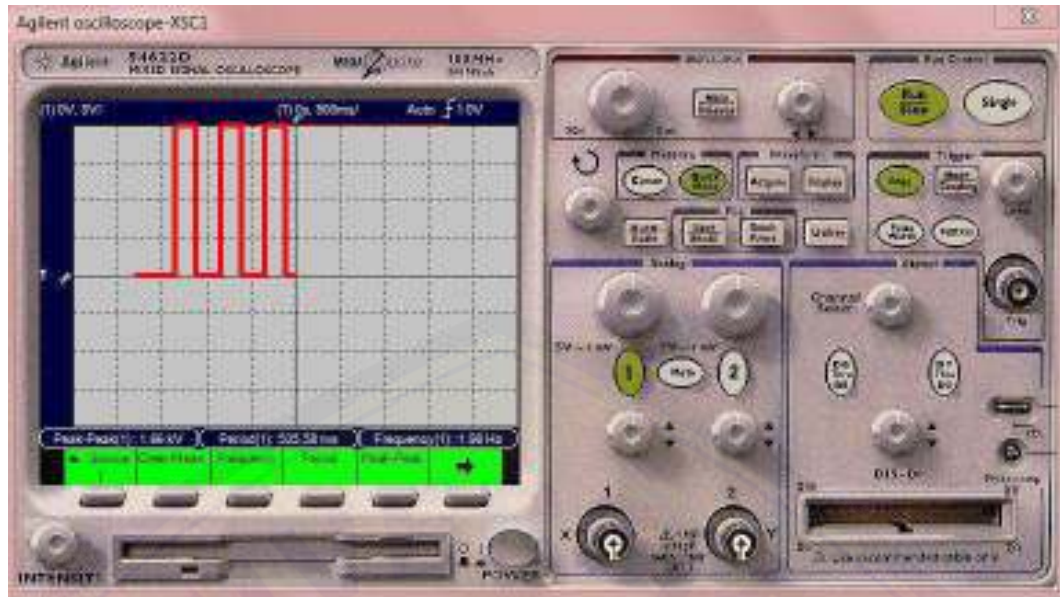
Gambar 4.1.12 Output *duty-cycle*, *fall-time* dan *rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian *sinusoidal voltage source* yang terhubung dengan AC *voltage-regulator* 200 V_{AC}



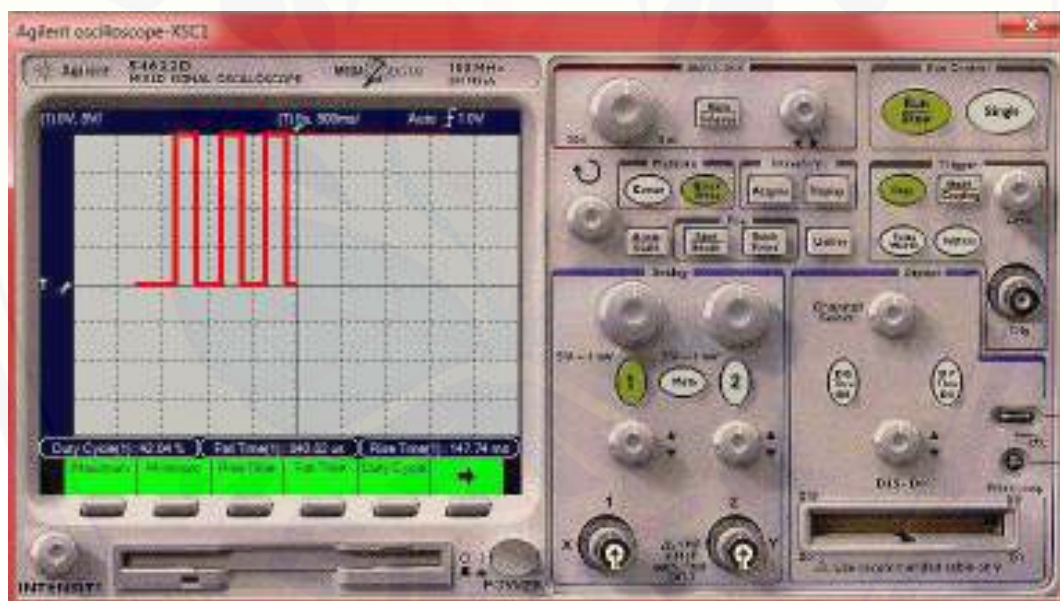
Gambar 4.1.13 *Output* tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based *pulsed power supply* dengan sumber tegangan 1,44 kV_{DC}



Gambar 4.1.14 *Output duty-cycle, fall-time dan rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based *pulsed power supply* dengan sumber tegangan 1,44 kV_{DC}



Gambar 4.1.15 *Output* tegangan puncak ke puncak (V_{pp}), periode dan frekuensi dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based *pulsed power supply* dengan sumber tegangan 1,81 kV_{DC}



Gambar 4.1.16 *Output duty-cycle, fall-time dan rise-time* dari hasil simulasi rancangan rangkaian transistor-based *pulsed power supply* dengan sumber tegangan 1,81 kV_{DC}