



**RANCANG BANGUN *VOLTAGE MULTIPLIER* DC DENGAN METODE
COCKCROFT-WALTON TIPE *FULLWAVE***

SKRIPSI

Oleh:

Moh. Mu'izzul Mughni

NIM 161910201078

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**RANCANG BANGUN *VOLTAGE MULTIPLIER* DC DENGAN METODE
COCKCROFT-WALTON TIPE *FULLWAVE***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Moh. Mu'izzul Mughni

NIM 161910201078

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat nikmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW, sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Orangtuaku tercinta, Ibu Holifah Turasidah atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, dan bimbingan, serta doa setulus hati yang tiada henti diberikan sampai saat ini;
4. Guru-guru dan dosen saya dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
5. Prof.Dr.Ir.Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan.
6. Sahabat-sahabat saya yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Semua dulur-dulur Ikatan Dulur Teknik Elektro 2016, Kakak tingkat, dan Adik tingkat yang telah berjuang bersama-sama di Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember tercinta ini;
8. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Jember.

MOTTO

“Lakukan segala sesuatu berdasarkan dengan rasa kasih dan sayang ”

(Penulis)

“Tanpa Cinta, kecerdasan itu berbahaya. Dan tanpa kecerdasan Cinta itu tidak cukup”

(Mr. Crack)

“Orang boleh pandai setinggi langit, tapi selama ia tidak menulis, ia akan hilang di dalam masyarakat dan dari sejarah”

(Pramoedya Ananta Toer)

“Aku lebih menghargai orang beradab daripada berilmu”

(Syech Abdul Qodir Jaelani)

“Sesungguhnya sesudahnya kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 6)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Mu'izzul Mughni

NIM : 161910201078

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC Dengan *Metode Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya plagiasi. 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 September 2020

Yang menyatakan,

Moh. Mu'izzul Mughni

NIM 1619120201078

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *VOLTAGE MULTIPLIER* DC DENGAN METODE
COCKCROFT-WALTON TIPE *FULLWAVE***

Oleh

Moh. Mu'izzul Mughni

NIM 161910201078

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof.Dr.Ir.Bambang Sujanarko, M.M.
NIP. 196312011994021002

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 197004041996011001

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Laporan tugas akhir berjudul “Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC Dengan *Metode Cockcroft-Walton Tipe Fullwave*” oleh Moh. Muizzul Mughni NIM 161910201078 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada;

Hari : Kamis
Tanggal : 10 September 2020
Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Prof.Dr.Ir.Bambang Sujanarko, M.M.
NIP. 196312011994021002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 197004041996011001

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC dengan Metode *Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*” karya Moh. Mu’izzul Mughni telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : 10 September 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Anggota I,

Prof.Dr.Ir.Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 196312011994021002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 197004041996011001

Anggota II,

Anggota III,

H.R.B. Moch Gozali, S.T., M.T.
NIP. 196906081999031002

H. Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.T.
NIP. 196403171998021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC dengan Metode *Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*; Moh. Mu'izzul Mughni; 161910201078; 111 halaman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada saat ini sedang marak di negara-negara maju pengembangan terkait *High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission* atau Transmisi Daya Arus Searah (TDAS). Sistem dari HVDC ini mengkonversi listrik AC menjadi DC yang kemudian disalurkan melalui transmisi DC dan akhirnya diubah kembali menjadi AC (AC-DC-AC) lalu disalurkan ke pelanggan atau pusat beban. Untuk pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) ini pada dasarnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, yang paling sederhana dalam pembangkitan HVDC yaitu dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengali tegangan (*voltage multiplier*). Salah satu jenis rangkaian pengali tegangan HVDC yang sering digunakan adalah rangkaian pengali *Cockcroft-Walton* yaitu dapat mengubah masukan AC bertegangan rendah menjadi keluaran DC dengan tegangan yang sangat tinggi dimana rangkaian pengali *Cockcroft-Walton* komponen utamanya yaitu hanya terdiri dari beberapa dioda dan kapasitor yang dirangkai secara bertingkat (*cascade*). Rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* dipilih karena menghasilkan tegangan jatuh dan tegangan riak yang nilainya lebih kecil bila dibandingkan dengan rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *halfwave*. Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil tegangan luaran dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dengan hasil pada simulasi dan perhitungan dimana *error* persen persen tegangan *output* alat rata-rata sebesar 31% terhadap hasil simulasi dan perhitungan. Nilai *error* persen tegangan setiap tingkatan alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton* semakin tinggi jika jumlah tingkat semakin besar, dimana pada tingkat terakhir yaitu 16 *error* persen 35,4% yang merupakan *error* persen tertinggi. Kemudian menganalisis beberapa variasi beban untuk mengetahui daya dan efisiensi yang terbaik dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dimana beban semakin besar efisiensi semakin baik. Nilai efisiensi terbesar yaitu dengan beban $1M\Omega$ rata-rata sebesar 47,12%.

SUMMARY

Design of DC Voltage Multiplier with Cockcroft-Walton Method with Fullwave Type; Moh. Mu'izzul Mughni; 161910201078; 111 pages of Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

At this time, development is rampant in developed countries related to High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission or Direct Current Power Transmission (TDAS). The system from HVDC converts AC electricity into DC which is then channeled through DC transmission and finally converted back into AC (AC-DC-AC) and then distributed to the customer or load center. Basically, direct current (DC) high voltage generation can be done in several ways, the simplest being the generation of HVDC, which is done by using a voltage multiplier circuit. One type of HVDC voltage multiplier circuit that is often used is the Cockcroft-Walton multiplier circuit, which can convert a low-voltage AC input to a DC output with a very high voltage, where the Cockcroft-Walton multiplier circuit consists of only a few diodes and capacitors arranged in a series. multilevel (cascade). The fullwave Cockcroft-Walton type circuit was chosen because it produces a smaller voltage drop and ripple voltage when compared to the half-wave Cockcroft-Walton type. Tests were carried out to compare the output voltage results of the Cockcroft-Walton voltage multiplier with the results in the simulation and calculations where the percent error of the output voltage averaged 31% of the simulation and calculation results. The percent error value for each level of the Cockcroft-Walton voltage multiplier device is higher if the number of levels is greater, where at the last level, the error is 16 percent, 35.4%, which is the highest percent error. Then analyze several load variations to determine the best power and efficiency of the Cockcroft-Walton voltage multiplier where the greater the load the better the efficiency. The greatest efficiency value is with an average load of $1M\Omega$ of 47.12%.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC dengan Metode *Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Allah SWT, karena berkat kuasa dan kehendak-Nya penulis diberi kekuatan jasmani dan rohani, kesabaran, ketabahan, kelancaran, dan kemudahan;
2. Orang tua tercinta, Ibu Holifah Turasidah yang tidak pernah berhenti memberikan segala macam dukungan, kasih sayang, do'a, dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Prof.Dr.Ir.Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan, serta H.R.B. Moch Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan H. Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Ike Fibriani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama ini;
6. Dulur-dulur angkatan INDUKTRO 16 atas segala kebersamaan dan kerja samanya selama \pm 4th;
7. Teman Lab Sistem Tenaga: Pungky Habib Bactiar dan Indra Riyan Syah yang telah membantu penelitian saya sehingga terselesaikannya skripsi ini;

8. Semua pihak yang terlibat baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 10 September 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN/SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pentingnya Tegangan Tinggi DC	5
2.2 Pembangkit Tegangan Tinggi DC	6
2.3 <i>Rectifier</i>	7
2.3.1 Penyearah Setengah Gelombang (<i>Half Wave Rectifier</i>)	7
2.3.2 Penyearah Gelombang Penuh (<i>Full Wave Rectifier</i>)	8
2.4 <i>Voltage Multiplier</i>	9
2.5 <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton Circuit</i>	11
2.5.1 Cara Kerja Rangkaian <i>Cockcroft-Walton</i>	13
2.6 Kapasitor	14
2.6.1 Cara kerja kapasitor.....	14

2.6.2 Besaran Kapasitansi	15
2.6.3 Rumus Kapasitor.....	15
2.6.4 Rangkaian Kapasitor	16
2.6.5 Jenis Kapasitor	18
2.7 Dioda.....	21
2.7.1 Karakteristik Dioda	22
2.7.2 Prinsip Kerja Dioda.....	23
2.7.3 Jenis-jenis Dioda	25
2.8 Regulator Tegangan AC Putaran Koil.....	26
2.9 <i>Fuse</i> (Sekering)	29
2.9.1 Simbol <i>Fuse</i> dan Cara pemasangan <i>Fuse</i>	29
2.9.2 Jenis-Jenis <i>Fuse</i>	30
2.9.3 Prinsip Kerja <i>Fuse</i>	31
2.9.4 Faktor Penyebab <i>Fuse</i> Rusak.....	31
2.9.5 Cara Mengukur <i>Fuse</i> (Sekering) dengan Multimeter Digital.....	31
2.10 Rangkaian Pembagi Tegangan	32
2.10.1 Rangkaian Pembagi Tegangan Terbebani	33
BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1 Tempat Penelitian.....	35
3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian.....	35
3.3 Tahapan Penelitian	36
3.4 Alat dan Bahan	38
3.4.1 Alat	38
3.4.2 Bahan.....	38
3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem.....	39
3.6 Pemilihan Kapasitor	40
3.7 Pemilihan Dioda	42
3.8 Pemilihan Resistor Untuk Pembagi Tegangan.....	44
3.9 Pemilihan Ukuran <i>Fuse</i>	47
3.10 Cara Pemeriksaan Kondisi Kapasitor dan Dioda Pada Rangkaian <i>Voltage Multiplier</i>	48

3.11 Metode <i>Cockcroft-Walton</i> Tipe <i>Fullwave</i>	50
3.12 Perancangan <i>Software</i>	54
3.13 Perancangan <i>Hardware</i>	55
3.14 <i>Charge Dan Discharge</i> Rangkaian <i>Voltage Multiplier</i>	58
3.15 Metode Pengujian	59
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1 Analisa Hasil Data Pengujian Berdasarkan Dari Perhitungan <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	62
4.2 Analisa Hasil Data Pengujian Berdasarkan Simulasi <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	66
4.3 Analisa Hasil Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> ..	68
4.4 Analisa Pengujian <i>Error</i> Persen Tegangan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap Perhitungan dan Simulasi	70
4.5 Analisa Pengujian <i>Error</i> Persen Tegangan Setiap Tingkatan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap Perhitungan	74
4.6 Analisa Hasil Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Variasi Pembebanan	76
BAB 5 PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR GAMBAR

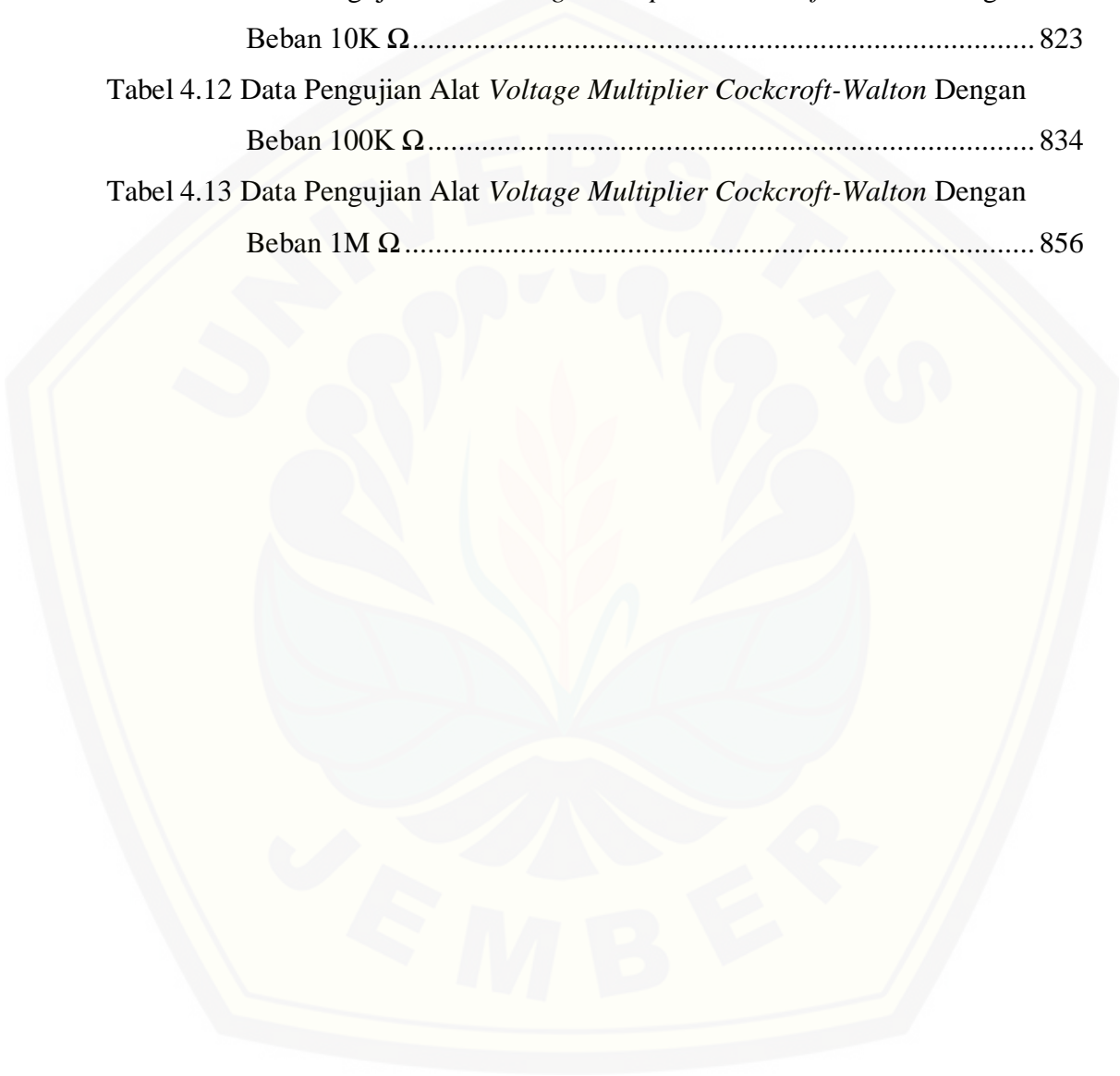
Gambar 2.1 Rangkaian <i>Half Wave</i>	7
Gambar 2.2 Sinyal <i>Output Half Wave</i>	8
Gambar 2.3 Rangkaian <i>Full Wave</i>	8
Gambar 2.4 Sinyal <i>Output Full Wave</i>	9
Gambar 2.5 Rangkaian <i>Voltage-Doubler</i>	10
Gambar 2.6 Rangkaian <i>Dickson Charge Pump</i>	10
Gambar 2.7 Rangkaian <i>Karthus-Fischer Cascade</i>	10
Gambar 2.8 Rangkaian Penyearah <i>Cockcroft Walton</i> Gelombang Penuh.....	12
Gambar 2.9 Rangkaian Penyearah <i>Cockcroft Walton</i> Setengah Gelombang.....	12
Gambar 2.10 Keluaran <i>Walton Cockcroft</i>	12
Gambar 2.11 Cara Kerja Rangkaian <i>Cockcroft-Walton</i>	13
Gambar 2.12 Simbol Dioda.....	21
Gambar 2.13 Dioda Diberi Tegangan Nol	23
Gambar 2.14 Dioda Diberi Tegangan Negatif	24
Gambar 2.15 Dioda Diberi Tegangan Positif.....	24
Gambar 2.16 <i>Voltage Regulator AC</i>	26
Gambar 2.17 <i>Stabilizer</i> Tegangan	27
Gambar 2.18 Desain Dasar dan Diagram Sirkuit Untuk Regulator Tegangan AC Kumparan Berputar	28
Gambar 2.19 <i>Fuse</i>	29
Gambar 2.20 Cara Mengukur <i>Fuse</i> (Sekering) dengan Multimeter Digital	32
Gambar 2.21 Rangkaian Pembagi Tegangan	33
Gambar 2.22 Pembagi Tegangan Dengan Beban Terpasang	33
Gambar 2.23 Pembagi Tegangan Dengan Beban Terpasang Lebih Sederhana	34
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Sistem Penelitian	36
Gambar 3.2 Blok Diagram Alat.....	39
Gambar 3.3 Elco Ukuran 100 μf dan 450 V.....	42
Gambar 3.4 Dioda Tipe 1N5408	44
Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Pembagi Tegangan.....	45

Gambar 3.6 Rangkaian Pembagi Tegangan	45
Gambar 3.7 <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton Tipe Fullwave</i>	52
Gambar 3.8 Skematik Rangkaian <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> 16 Tingkat	54
Gambar 3.9 Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> 16 Tingkat Tampak Samping	56
Gambar 3.10 Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> 16 Tingkat Tampak Depan	57
Gambar 3.11 Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> 16 Tingkat Tampak Belakang	57
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Tegangan Berdasarkan Perhitungan <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	64
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Tegangan Berdasarkan Perhitungan <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	67
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft- Walton</i>	69
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Antara Tegangan dari Perhitungan, Simulasi, dan Alat.....	72
Gambar 4.5 Grafik <i>Error</i> Persen Tegangan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft- Walton</i> Terhadap Perhitungan dan Simulasi.....	72
Gambar 4.6 Grafik <i>Error</i> Persen Tegangan Setiap Tingkat Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap.....	726
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 1 Ω	78
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 10 Ω	729
Gambar 4.9 Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 100 Ω	81
Gambar 4.10 Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 1K Ω	82
Gambar 4.11 Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 10K Ω	83
Gambar 4.12 Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 100K Ω	85
Gambar 4.13 Pengujian Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> Beban 1M Ω	86

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian	35
Tabel 3.2 Data Pengujian Berdasarkan Perhitungan <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	59
Tabel 3.3 Data Pengujian Tegangan Riak dan Tegangan Jatuh <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	59
Tabel 3.4 Data Pengujian Berdasarkan Simulasi <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	59
Tabel 3.5 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	60
Tabel 3.6 Data Pengujian <i>Error</i> Persen Tegangan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap Perhitungan dan Simulasi.....	60
Tabel 3.7 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1K Ω , 10K Ω , 100K Ω , dan 1M Ω	60
Tabel 4.1 Data Pengujian Berdasarkan Perhitungan <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	64
Tabel 4.2 Data Pengujian Tegangan Riak dan Tegangan Jatuh <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	65
Tabel 4.3 Data Pengujian Berdasarkan Simulasi <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	66
Tabel 4.4 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i>	69
Tabel 4.5 Data Pengujian <i>Error</i> Persen Tegangan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap Perhitungan dan Simulasi.....	71
Tabel 4.6 Data Pengujian <i>Error</i> Persen Tegangan Setiap Tingkatan Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Terhadap Perhitungan	715
Tabel 4.7 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 1 Ω	778
Tabel 4.8 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 10 Ω	789

Tabel 4.9 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 100 Ω	80
Tabel 4.10 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban	82
Tabel 4.11 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 10K Ω	823
Tabel 4.12 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 100K Ω	834
Tabel 4.13 Data Pengujian Alat <i>Voltage Multiplier Cockcroft-Walton</i> Dengan Beban 1M Ω	856



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik di era sekarang sudah menjadi kebutuhan pokok dan sangat penting dalam kehidupan sehari-hari dikarenakan sebagian besar peralatan penunjang aktivitas sehari-hari tidak lepas dari penggunaan listrik sebagai energi utamanya. Energi listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu jenis arus bolak-balik atau *alternating current* (AC) dan jenis arus searah atau *direct current* (DC). Pada umumnya listrik yang disalurkan dari pembangkitan listrik ke peralatan-peralatan elektronik adalah listrik AC karena di saluran transmisi tegangan tersebut dapat ditinggikan atau direndahkan dengan mudah untuk meningkatkan efisiensi distribusi listrik. Tetapi pada saat ini sedang marak di negara-negara maju pengembangan terkait *High Voltage Direct Current* (HVDC) *Transmission* atau Transmisi Daya Arus Searah (TDAS). Sistem dari HVDC ini mengkonversi listrik AC menjadi DC yang kemudian disalurkan melalui transmisi DC dan akhirnya diubah kembali menjadi AC (AC-DC-AC) lalu disalurkan ke pelanggan atau pusat beban.

Pada pembangkitan tegangan tinggi terdiri dari beberapa jenis, diantaranya pembangkitan tegangan tinggi bolak-balik (AC), pembangkitan tegangan tinggi searah (DC) dan pembangkitan tegangan tinggi impuls. Untuk pembangkitan tegangan tinggi arus searah (DC) ini pada dasarnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, yang paling sederhana dalam pembangkitan HVDC yaitu dilakukan dengan menggunakan rangkaian pengali tegangan (*voltage multiplier*). Salah satu jenis rangkaian pengali tegangan HVDC yang sering digunakan adalah rangkaian pengali *Cockcroft-Walton* yaitu dapat mengubah masukan AC bertegangan rendah menjadi keluaran DC dengan tegangan yang sangat tinggi dimana rangkaian pengali *Cockcroft-Walton* komponen utamanya yaitu hanya terdiri dari beberapa dioda dan kapasitor yang dirangkai secara bertingkat (*cascade*).

Penggunaan rangkaian pengali tegangan *Cockcroft-Walton* sudah cukup banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari antara lain terdapat pada perangkat elektronik yang membutuhkan tegangan tinggi seperti mesin sinar-X, *microwave*

oven, mesin fotokopi, penyaring debu, *stun gun*, dan raket nyamuk. Sedangkan dalam penelitian laboratorium, rangkaian pengali tegangan *Cockcroft-Walton* biasanya digunakan sebagai *trigger arc-flash* dan akselerator partikel. Alat ini juga sangat berguna sebagai dasar perancangan sumber pembangkit tegangan tinggi DC untuk skala yang lebih besar sehingga dapat digunakan untuk penelitian dan pengujian berbagai bahan isolasi pada sistem kelistrikan.

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan analisis terkait alat *voltage multiplier* untuk meningkatkan tegangan tinggi DC dengan metode *Cockcroft-Walton*. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menghasilkan tegangan yang tinggi dan arus yang rendah serta kemampuan menggandakan tegangan secara signifikan. Pembangkit tegangan tinggi DC yang akan dirancang adalah metode *Cockcroft-Walton* dengan tipe *fullwave*. Rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* dipilih karena menghasilkan tegangan jatuh dan tegangan riak yang nilainya lebih kecil bila dibandingkan dengan rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *halfwave*. Dengan demikian nilai rata-rata tegangan DC yang dihasilkan akan lebih besar dan lebih rata (*smooth*) bila menggunakan tipe *fullwave*.

Berdasarkan pada penelitian terdahulu yang berjudul “Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC Dengan Metode *Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*” karya Nofita Sari Br Ginting dkk tahun 2014 yang membuat rancang bangun *voltage multiplier* 30 tingkat dengan frekuensi 50 Hz menghasilkan keluaran tegangan dari alat sekitar 9,4 kV menggunakan kapasitor keramik. Dengan adanya penelitian tersebut, penelitian mencoba memodifikasi desain menjadi *voltage multiplier* 16 tingkat dengan pemilihan spesifikasi kapasitor dan dioda yang berbeda dan lebih tepat lagi. Selain itu penambahan *voltage* regulator sebagai penyetabil dan variasi tegangan agar mengetahui performa dari alat. Desain rangkaian *voltage multiplier Cockcroft-Walton* menggunakan *software* proteus untuk mengetahui tipe dan ukuran komponen-komponen yang akan digunakan dan lebih mudah mengetahui alur skematik dari rangkaian yang akan dibuat di PCB nantinya

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat adalah:

1. Bagaimana rancang bangun *voltage multiplier Cockcroft-Walton*?
2. Bagaimana prinsip kerja dan performa dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton*?
3. Bagaimana perbandingan hasil tegangan luaran dari rangkaian *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dengan hasil pada simulasi dan perhitungan?
4. Bagaimana pengaruh variasi beban pada *voltage multiplier Cockcroft-Walton*?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian yang akan dilakukan dibatasi agar tidak terlalu meluas, beberapa batasan ruang lingkup permasalahan, diantaranya:

1. Penelitian difokuskan pada alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton* tipe *fullwave*.
2. Pembahasan *voltage multiplier Cockcroft-Walton* difokuskan pada tegangan luaran.
3. Penelitian ini menggunakan sumber AC variasi tegangan dari 20 V sampai 240 V dan frekuensi 50 Hz.
4. Batas minimal keluaran tegangan lebih dari 65% secara teori atau perhitungan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti dalam melakukan penelitian ini yaitu:

1. Membuat rancang bangun *voltage multiplier Cockcroft-Walton*.
2. Memahami prinsip kerja dan performa dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton*.
3. Membandingkan hasil tegangan luaran dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dengan hasil pada simulasi dan perhitungan.
4. Menganalisis beberapa variasi beban untuk mengetahui daya dan efisiensi yang terbaik dari *voltage multiplier Cockcroft-Walton*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui performa dari alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton* yang dapat menghasilkan tegangan tinggi DC yang besar, dapat digunakan sebagai alat untuk praktikum di laboratorium tegangan tinggi yang rencana kedepan bakal ada di Fakultas Teknik Universitas Jember dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai tugas akhir ini, maka laporan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan teori yang menguraikan pendapat atau hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang di gunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang laporan hasil penelitian yang membahas tentang analisa data dan hasil.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang ditarik dari rumusan masalah yang terjadi serta saran agar di penelitian selanjutnya dapat dikembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pentingnya Tegangan Tinggi DC

Pembangkit tegangan tinggi DC umumnya banyak digunakan dalam fisika terapan seperti instrumen dalam bidang nuklir (akselerator, mikroskop elektron), peralatan elektromedik (x-ray), peralatan industri (presipitat dan penyaringan gas buang di pembangkit listrik, industri semen, pengecatan elektrostatik dan pelapisan serbuk) atau elektronika komunikasi (televise). Kebutuhan bentuk tegangan, tingkat tegangan dan besar arus serta kestabilan dari pembangkit tegangan tinggi tersebut akan berbeda satu aplikasi dengan lainnya.

Tegangan tinggi DC banyak digunakan untuk pengujian dan penelitian susunan isolator dengan kapasitansi fungsi seperti kabel dan kapasitor. Pemanfaatan tegangan tinggi DC banyak dijumpai pada instalasi elektrostatik (penyaring gas buang, peralatan pengecatan), peralatan kedokteran (alat rontgen) dan pada fisika inti (pemercepat muatan). Pada umumnya pembangkitan tegangan tinggi searah dilakukan dengan penyearahan tegangan tinggi bolak-balik melalui dioda Selenium, Germanium dan Silizium. Dioda Selenium memiliki volume yang lebih besar, efisiensi yang rendah dan kapasitas penyaluran arus yang rendah.

Tegangan tinggi searah banyak digunakan untuk pengujian dan penelitian susunan isolator dengan kapasitansi fungsi seperti pada kabel atau kondensator. Pemanfaatan tegangan tinggi searah dapat dijumpai pada instalasi elektrostatik, pada peralatan kedokteran dan pada fisika inti.

Pada umumnya pembangkitan tegangan tinggi searah dilakukan dengan penyearahan tegangan tinggi bolak balik melalui dioda, kemudian dapat dilipat gandakan tingginya. Sedangkan generator elektrostatis sangat jarang digunakan. sebagai dioda penyearah biasa digunakan bahan selenium, germanium dan silizium. Dioda selenium memiliki volume yang lebih besar, efisiensi yang redah dan kapasitas penyaluran arus yang rendah. Akan tetapi dioda sedemikian ini dapat menahan tegangan bolak balik sampai 600 kV tanpa kondensator pengarah tegangan, karena kapasitansi lapisan dioda yang tinggi. Ada beberapa macam

rangkaian pelipat ganda tegangan antara lain Vilard, Greincher, Kaskade Greincher.

Pembangkit tegangan tinggi DC sangat diperlukan pada riset dibidang fisika terapan dan tes instalasi kabel pada aplikasi industri. Unit pembangkit muatan impulse juga memerlukan tegangan tinggi DC sekitar 5 sampai 200 kV. Normalnya tegangan pembangkit sampai 100 kV, penyearah elektronik digunakan dan arus output kira-kira 100 mA. Penyearah membutuhkan konstruksi khusus untuk katoda dan filament selama medan listrik tinggi dari beberapa kV/cm terjadi diantara anoda dan katoda pada periode non-conduction.

Selain aplikasi diatas, tegangan tinggi DC juga bisa digunakan untuk tujuan lain seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Tegangan tinggi DC boleh dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian multipliers, multipliers transformer bertingkat, electrostatic generator (Vande Graaff Generator) dan kumparan induksi

2.2 Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Dalam tegangan tinggi, teknologi tegangan DC (*Direct Current*) digunakan untuk beberapa penelitian maupun penemuan dan juga tegangan tinggi DC digunakan untuk uji peralatan industri. Tegangan tinggi DC juga lebih sering ditemukan dan digunakan pada fisika terapan (*accelerator*, mikroskop elektron), peralatan elektromedik (*X-rays*), peralatan industri (*Precipitation* dan *filtering* gas buang dari pembangkit thermal, dan industri semen), pelukisan elektrostatik, teknik pengecatan dan komunikasi elektronik (TV, *broadcasting stations*) (ADAM, 2018).

Pada tahun 1932 *Cockcroft Walton* menyarankan perbaikan pada rangkaian yang dikembangkan *Greinacher* untuk tegangan tinggi DC. Sehingga pada akhirnya munculah rangkaian *Cockcroft-Walton multiplier* (CCW). *Cockcroft-Walton multiplier* ini merupakan rangkaian pengali tegangan yang mengkonversi tegangan rendah AC atau tegangan DC berpulsa menjadi tegangan DC yang lebih tinggi. Rangkaian *Cockcroft-Walton* ini biasanya digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC dengan nilai arus yang rendah (Nugroho, 2015).

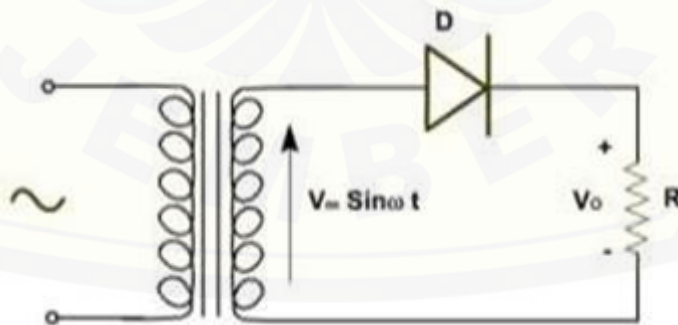
Metode yang paling efisien dari pembangkitan tegangan tinggi DC yaitu melalui proses *rectification* (penyearah). Dalam standar internasional atau IEC 60-

1 IEEE Standard. 4-1995 nilai dari uji tegangan langsung digambarkan dengan nilai V . Tegangan yang dibangkitkan menggunakan *rectifier* (penyearah) besarnya tidak pernah konstan. Tegangan yang diuji pada objek mengalami penyimpangan dari nilai rata-rata secara periodik dan penyimpangan tersebut dinamakan *ripple*. Besarnya tegangan *ripple* tersebut dilambangkan dengan δV . Dan di definisikan dengan setengah perbedaan antara nilai tegangan maks dengan tegangan minimum. Ketika pengujian tegangan, seharusnya tidak menghasilkan ripple lebih dari 3-5% karena untuk kepentingan pemeriksaan dasar dari alat tersebut (ADAM, 2018).

2.3 Rectifier

Rectifier atau penyearah gelombang adalah bagian dari *power supply* atau pencatu daya yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen *rectifier* adalah dioda yang dikonfigurasi secara *forward bias*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (*Transformer*), penyearah gelombang *rectifier* (dioda) dan *filter* (kapasitor). Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. (Teori Elektronika, 2012)

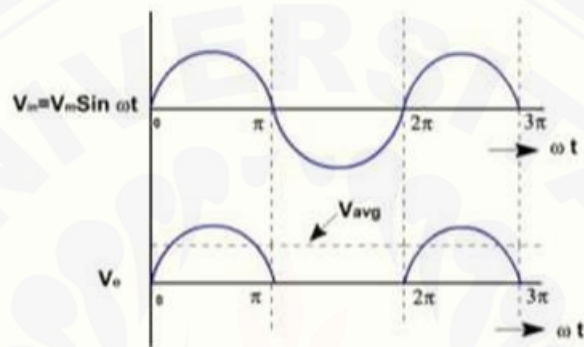
2.3.1 Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave Rectifier*)



Gambar 2.1 Rangkaian *Half Wave*
Sumber : (Ahmad, 2017)

Half wave rectifier hanya menggunakan satu dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah

gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC. Pada saat transformator memberikan *output* sisi positif dari gelombang AC maka dioda dalam keadaan *forward* bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi *reverse* bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti terlihat pada gambar sinyal *output* penyearah setengah gelombang berikut.



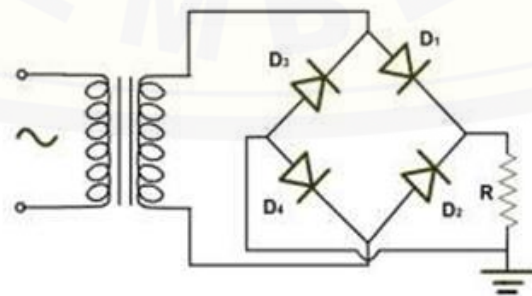
Gambar 2.2 Sinyal *Output Half Wave*
Sumber : (Ahmad, 2007)

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut :

$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi R} \quad (2.1)$$

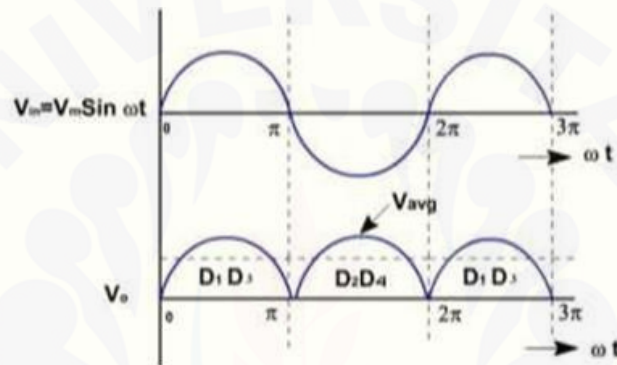
2.3.2 Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave Rectifier*)

Full wave rectifier dapat dibuat dengan 2 macam yaitu dapat menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian *Full Wave*
Sumber : (Ahmad, 2007)

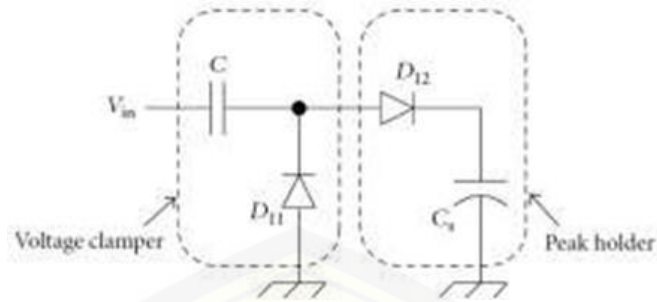
Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda diatas dimulai pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi *forward* bias dan D2, D3 pada posisi *reverse* bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi *forward* bias dan D1, D2 pada posisi *reverse* bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Sinyal gelombang *full wave* di gambarkan seperti pada grafik Gambar 10.



Gambar 2.4 Sinyal Output Full Wave
Sumber : (Ahmad, 2007)

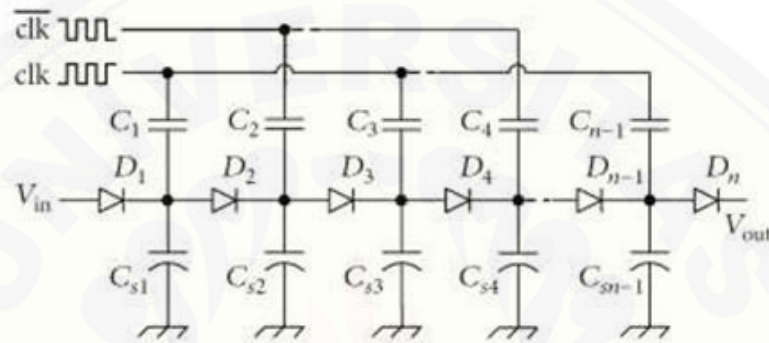
2.4 Voltage Multiplier

Karena banyaknya berbagai jenis kebutuhan yang diperlukan, maka akan selalu ada permintaan untuk pasokan tegangan yang jauh lebih tinggi. Namun berdasarkan sumber yang dapat diperoleh terbatas sehingga pasokan listrik yang diperlukan tidak dapat memenuhi permintaan tersebut. Oleh karena itu, banyak upaya telah dilakukan untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang disuplai. Beberapa metode paling umum yang digunakan untuk menghasilkan tegangan yang lebih besar dari catu daya adalah transformator *step-up*, *voltage doubler*, *multiplier circuits*, *charge pump circuits*, *switch-capacitor circuits*, dan *boost* atau *step-up converters*. (Toudeskhii, 2014)



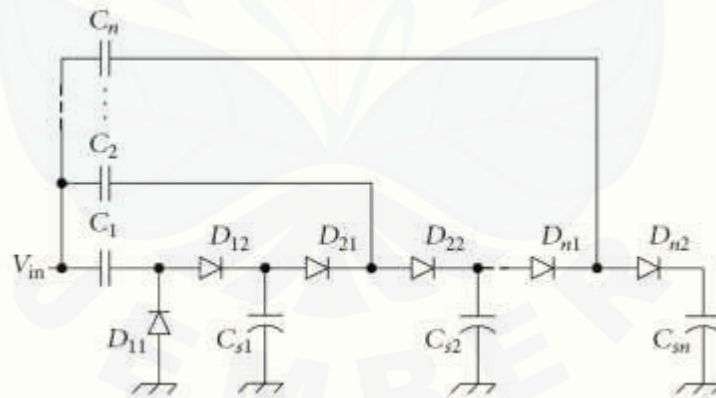
Gambar 2.5 Rangkaian *Voltage-Doubler*

Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)



Gambar 2.6 Rangkaian *Dickson Charge Pump*

Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)



Gambar 2.7 Rangkaian *Karthaus-Fischer Cascade*

Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)

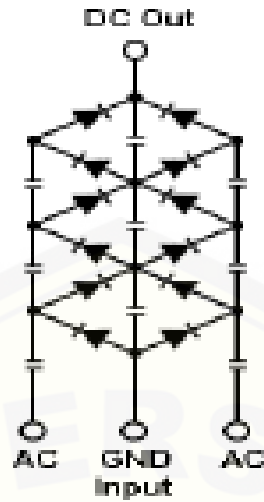
Voltage Multiplier merupakan teknik dalam *rectifier* untuk mengkonversi tegangan AC menjadi DC yang digunakan dalam banyak aplikasi sirkuit listrik dan elektronik seperti di *microwave ovens*, elektrostatik, alat uji tegangan tinggi dan lain-lain. Teknik ini juga merupakan tipe khusus dari rangkaian dioda penyearah yang berpotensi dapat menghasilkan tegangan *output* lebih besar dari tegangan

input yang diperoleh. Selain itu teknik ini digunakan untuk menghasilkan tegangan DC yang tinggi dari pasokan tegangan AC yang relatif rendah.

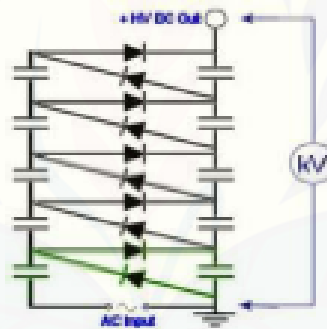
2.5 Voltage Multiplier Cockcroft-Walton Circuit

Proses menggandakan tegangan, ada beberapa metode yang digunakan yaitu metode *villard* dan metode *cockroft-walton*. Metode *cockroft-walton* merupakan pelipat ganda tegangan yang menghasilkan tegangan *output* yang lebih rata daripada tegangan *output* metode *villard*. Rangkaian *Cockcroft-Walton* adalah rangkaian yang penting untuk membangkitkan tegangan tinggi DC dari sumber tegangan AC yang relatif rendah. Rangkaian ini juga menghasilkan daya yang besar karena dapat membangkitkan tegangan sampai beberapa Mega Volt dengan arus sampai dengan 100 mA. Komponen utama dalam rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* terdiri dari diode dan kapasitor. Kapasitor dan dioda tersebut dapat menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan. Rating tegangan kapasitor juga ditentukan oleh jenis rangkaian *multiplier*. Intinya kapasitor harus mampu menahan tegangan maksimum yang dibangkitkan. Begitu pula dengan pemilihan dioda harus memperhitungkan beberapa parameter. Contohnya *repetitive peak reverse voltage* tidak boleh lebih kecil dari tegangan kerja atau tegangan *output voltage multiplier*. Lalu *forward voltage* juga akan menyebabkan *voltage drop* pada rangkaian *Cockcrof-Walton*, dan lain-lainya (Nugroho, 2015).

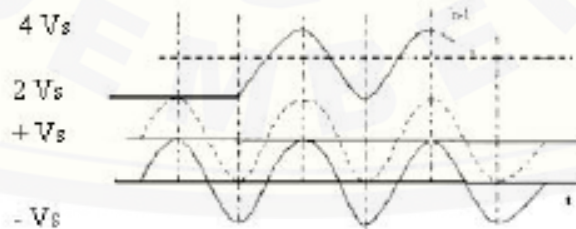
Rangkaian *Cockcrof-Walton* ada 2 buah, setengah gelombang dan tegangan penuh. Baik rangkaian setengah gelombang dan gelombang penuh mempunyai bentuk gelombang yang hampir sama berupa sinus, akan tetapi pada rangkaian gelombang penuh gelombang keluaran akan tampak lebih rata.



Gambar 2.8 Rangkaian Penyearah *Cockcroft Walton* Gelombang Penuh
 Sumber : (Nofita Sari Br Ginting, Abdul Syakur, 1970)



Gambar 2.9 Rangkaian Penyearah *Cockcroft Walton* Setengah Gelombang
 Sumber : (Nofita Sari Br Ginting, Abdul Syakur, 1970)



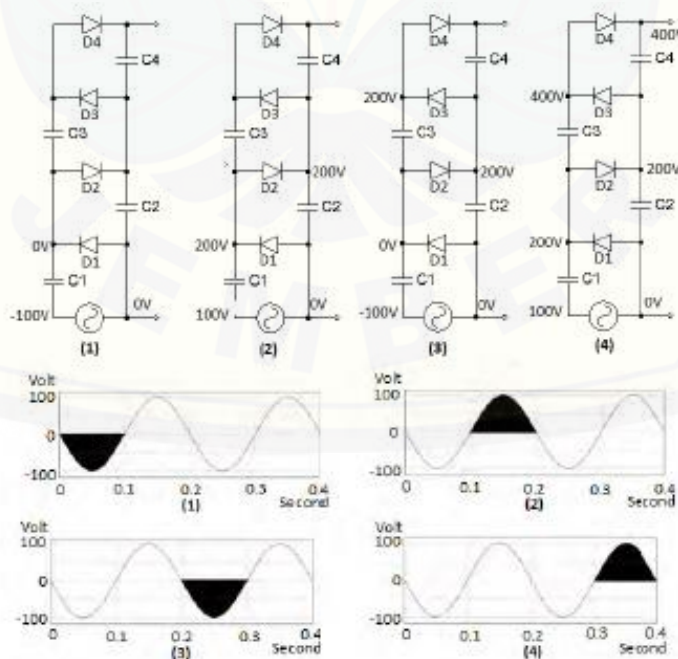
Gambar 2.10 Keluaran *Walton Cockcroft*
 Sumber : (Nofita Sari Br Ginting, Abdul Syakur, 1970)

Penganda tegangan *Cockcroft-Walton* terdiri dari jaringan pengali tegangan kapasitor dan dioda untuk menghasilkan tegangan tinggi. Tidak seperti transformator, metode ini menghilangkan kebutuhan inti berat dan sebagian besar

insulasi / pot yang dibutuhkan. Dengan hanya menggunakan kapasitor dan dioda, pengganda tegangan ini dapat meningkatkan tegangan yang relatif rendah ke nilai yang sangat tinggi, sementara pada saat yang sama jauh lebih ringan dan lebih murah daripada transformer. Ini memiliki keuntungan dari komponen biaya yang relatif rendah dan mudah untuk diisolasi. Kita juga dapat memanfaatkan *output* dari tahap manapun, seperti pada transformator multitapped

2.5.1 Cara Kerja Rangkaian *Cockcroft-Walton*

Cara kerja dari rangkaian *Cockcroft-Walton* ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada kondisi awal yaitu puncak negatif ($-V_s$) muatan C1 akan diisi melalui D1 ke 0 V. Pada kondisi ke-2 yaitu puncak positif ($+V_s$) potensial C1 akan bertambah melalui sumber tegangan, sehingga muatan C2 akan diisi sebesar $2 V_s$ melalui D2 sedangkan D1 *reverse* bias. Pada kondisi ke-3 puncak negatif ($-V_s$) potensial C1 menjadi 0 V, sehingga C3 akan terisi muatan melalui D3 menjadi $2 V_s$. Lalu pada kondisi ke-4 puncak positif ($+V_s$) potensial C1 menjadi $2 V_s$ sehingga mengisi C4 sebesar $2 V_s$. Total tegangan keluaran yaitu tegangan C2 ditambah tegangan C4 sehingga totalnya $4 V_s$.



Gambar 2.11 Cara Kerja Rangkaian *Cockcroft-Walton*
 Sumber : (Nugroho, 2015)

2.6 Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron-elektron selama waktu yang tertentu atau komponen elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik yang terdiri dari dua konduktor dan di pisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor di sebut keping.

Prinsip sebuah kapasitor pada umumnya sama halnya dengan resistor yang juga termasuk dalam kelompok komponen pasif, yaitu jenis komponen yang bekerja tanpa memerlukan arus panjar. Kapasitor terdiri atas dua konduktor (lempeng logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator penyekat ini sering disebut sebagai bahan (zat) dielektrik.

Muatan elektrik ini “tersimpan” selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik pada kapasitor disebut dengan kapasitansi atau kapasitas. Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb = 6.25×10^{18} elektron.

2.6.1 Cara kerja kapasitor

Cara kerja kapasitor dalam sebuah rangkaian adalah dengan mengalirkan elektron menuju kapasitor. Pada saat kapasitor sudah di penuh dengan elektron, tegangan akan mengalami perubahan. Selanjutnya, elektron akan keluar dari sebuah kapasitor dan mengalir menuju rangkaian yang membutuhkannya. Dengan begitu, kapasitor akan membangkitkan reaktif suatu rangkaian.

Adapun kedua keping atau piringan pada kapasitor dipisahkan oleh suatu insulator, pada dasarnya tidak ada elektron yang dapat menyeberang celah di antara kedua keping. Pada saat baterai belum terhubung, kedua keping akan bersifat netral (belum temuati). Saat baterai terhubung, titik dimana kawat pada ujung kutub negatif dihubungkan akan menolak electron, sedangkan titik dimana kutub positif terhubung menarik elektron. Elektron-elektron tersebut akan tersebar ke seluruh keping kapasitor. Sesaat, elektron mengalir ke dalam keping sebelah kanan dan elektron mengalir keluar dari keping sebelah kiri; pada kondisi ini arus mengalir

melalui kapasitor walaupun sebenarnya tidak ada elektron yang mengalir melalui celah kedua keping tersebut.

2.6.2 Besaran Kapasitansi

Kapasitas dari sebuah kapasitor adalah perbandingan antara banyaknya muatan listrik dengan tegangan kapasitor. $C = Q / V$ Jika dihitung dengan rumus $C = 0,0885 D/d$. Maka kapasitansinya dalam satuan piko farad $D =$ luas bidang plat yang saling berhadapan dan saling mempengaruhi dalam satuan cm^2 . $d =$ jarak antara plat dalam satuan cm. Bila tegangan antara plat 1 volt dan besarnya muatan listrik pada plat 1 coulomb, maka kemampuan menyimpan listriknya disebut 1 farad. Dalam kenyataannya kapasitor dibuat dengan satuan dibawah 1 farad. Kebanyakan kapasitor elektrolit dibuat mulai dari 1 mikrofarad sampai beberapa milifarad.

2.6.3 Rumus Kapasitor

Rumus Kapasitor terdiri dari beberapa rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya muatan listrik baik yang dihasilkan oleh kapasitor maupun muatan listrik yang masuk. Berikut ini adalah beberapa rumus tentang kapasitor dengan rangkaian paralel, rangkaian seri dan rangkaian kapasitor seri dan paralel yang satuan hitungnya adalah farad (F). Berikut ini adalah rumusan-rumusan yang disimpan dalam keping-keping kapasitor yang bermuatan listrik sebagai berikut :

Berikut ini Contoh dari Rumus Kapasitor

$$Q = C V \quad (2.7)$$

Penjelasan:

$Q =$ Muatan yang satuannya Coulomb

$C =$ Kapasitas yang satuannya Farad

$V =$ Tegangan yang satuannya Volt

(1 Coulomb = $6,3 \cdot 10^{18}$ elektron)

Kapasitor bisa berfungsi sebagai baterai karena tegangan tetap berada di dalam kapasitor meskipun sudah tidak dihubungkan, lamanya tegangan yang tertinggal bergantung pada kapasitas kapasitor itu sendiri.

a. Rumus untuk kapasitor dengan rangkaian paralel

$$C_{\text{Total}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.8)$$

Pada rumus kapasitor diatas dapat disimpulkan bahwa, pada rangkaian kapasitor paralel tidak terjadi sama sekali pembagian untuk tegangan atau muatan listrik, semua tegangan akan memiliki jumlah yang sama pada setiap titik yang ada di rangkaian kapasitor paralel tersebut alasannya karena pada titik yang sama kapasitor paralel tersebut dihubungkan, sehingga tidak memiliki perubahan yang berarti.

b. Rumus untuk Kapasitor dengan Rangkaian Seri

$$1/C_{\text{Total}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \quad (2.9)$$

Pada rumus untuk kapasitor dengan rangkaian seri diatas dapat disimpulkan bahwa, pada setiap pengukuran kapasitor seri ini terjadi pembagian tegangan dari sumber tegangan kepada setiap titik, yang pada akhirnya jika digabungkan dengan cara di jumlahkan tegangan-tegangannya dari setiap titik maka akan terlihat sama seperti jumlah tegangan dari sumber tegangan.

c. Rangkaian Rumus Kapasitor Seri dan Paralel

$$C_{\text{Total}} = (C_1 + C_2) // C_3 \quad (2.10)$$

$$1/C_A = 1/C_1 + 1/C_2 \text{ (seri)} \quad (2.11)$$

Pada Rumus Kapasitor dengan rangkaian seri dan paralel diatas dapat disimpulkan bahwa, rangkaian jenis ini dapat dihitung dengan cara mengkombinasikan dari beberapa persamaan yang terlihat dari kedua rumus kapasitor tersebut, yaitu seri dan paralel. Sehingga kita dapat mengetahui jumlah keseluruhan dari gabungan antara 2 jenis kapasitor ini.

2.6.4 Rangkaian Kapasitor

Rangkaian Kapasitor dibagi menjadi dua yaitu rangkain seri dan rangkaian paralel. Cara penghitungannya hampir sama dengan rangakian seri dan paralel pada resistor. Berikut ini persamaan dari rangkaian kapasitor.

a. Rangkaian Seri Kapasitor

Rangkaian seri pada kapasitor merupakan rangkaian kapasitor dengan menghubungkan kutub tidak sejenis antara kapasitor, seperti yang dijelaskan berikut ini :

Kapasitas pengganti pada rangkaian seri adalah:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (2.12)$$

$$Q_{tot} = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2.13)$$

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.14)$$

Susunan seri pada kapasitor yaitu kapasitor disusun dalam satu garis hubung yang tidak bercabang. Jika sebuah kapasitor disusun secara seri maka dapat ditentukan kapasitor pengganti total dari seluruh kapasitor yang ada dalam rangkaian seri tersebut. Pada susunan seri ini berlaku aturan:

Muatan pada setiap kapasitor adalah, yakni sama dengan jumlah muatan pada kapasitor pengganti.

$$Q_s = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 \quad (2.15)$$

Beda potensial (V) pada ujung-ujung kapasitor pengganti sama dengan beda potensial yang ada di masing-masing kapasitor

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (2.16)$$

Kapasitas kapasitor pengganti dapat dicari dengan rumus yaitu:

$$C_s = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}} \quad (2.17)$$

Untuk n buah kapasitor yang kapasitasnya sama dapat menggunakan rumus cepat yaitu:

$$C_s = \frac{C}{n} \quad (2.18)$$

kapasitas pengganti dari susunan seri beberapa kapasitor selalu lebih kecil dari kapasitas masing-masing, jadi kapasitor yang disusun seri dapat dimanfaatkan guna memperkecil kapasitas sebuah kapasitor.

b. Rangkaian Paralel Kapasitor

Rangkaian paralel merupakan rangkaian kapasitor dengan menghubungkan kutub sejenis antara kapasitor, seperti yang dijelaskan berikut ini.

Kapasitas pengganti pada rangkaian paralel adalah :

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.19)$$

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.20)$$

$$V_{tot} = V_1 = V_2 = V_3 \quad (2.21)$$

Muatan kapasitor pengganti sama dengan jumlah masing-masing kapasitor (sama seperti tegangan pada rangkaian seri)

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \text{dst} \quad (2.22)$$

Beda potensial masing-masing kapasitor bernilai sama semua dengan beda potensial sumber asal (sama seperti muatan pada rangkaian seri)

$$V_p = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (2.23)$$

Kapasitas Kapasitor Pengganti pada rangkaian paralel sama dengan jumlah seluruh kapasitas kapasitor dalam rangkaian tersebut.

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (2.24)$$

Karena kapasitas pengganti dari semua rangkaian paralel selalu lebih besar dari masing-masing kapasitor dalam rangkaian, jadi susunan paralel bisa digunakan untuk memperbesar kapasitas kapasitor.

2.6.5 Jenis Kapasitor

Sesuai dengan Macamnya, kapasitor dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

a. Kapasitor tetap

Kapasitor tetap adalah kapasitor yang nilai kapasitansinya tidak dapat dirubah dan nilainya sudah ditetapkan oleh pabrik pembuatannya. Bentuk dan ukuran kapasitor tetap bermacam-macam dan berbeda antara satu dengan yang lainnya tergantung dari bahan pembuatannya.

Kapasitor tetap juga dibedakan menjadi 2 yaitu polar dan non polar.

1) Kapasitor polar

a) Kapasitor elektrolit

Kapasitor ini merupakan jenis kapasitor polar atau memiliki 2 buah kutub pada kaki – kakinya. Kaki yang panjang merupakan kutub positif dan kaki yang pendek atau kaki yang memiliki tanda khusus adalah kaki negatif. Pemasangan

kapasitor elektrolit dalam rangkaian elektronika tidak boleh terbalik, khususnya untuk rangkaian arus DC namun untuk arus AC tidak jadi masalah.

a) Kapasitor tantalum

Sesuai dengan perkembangan teknologi di bidang elektronika, para produsen komponen elektronika selalu menciptakan penemuan-penemuan baru berupa komponen kapasitor yang memiliki keandalan yang tinggi. Pada umumnya kapasitor ini dibuat dengan bentuk fisik yang kecil dan warna merah atau hijau. Karena memiliki keandalan yang tinggi sehingga kapasitor tantalum memiliki harga yang cukup mahal.

2) Kapasitor non polar

a) Kapasitor keramik

Dinamakan kapasitor keramik, karena kapasitor ini bahan dielektrikunya terbuat dari keramik. Kapasitor keramik memiliki bentuk dan ukuran yang bermacam-macam. Kapasitor ini cukup stabil sehingga sering dipakai dalam rangkaian elektronika. Nilai kapasitansi kapasitor ini biasanya dituliskan dalam kode warna, namun ada juga yang dituliskan langsung pada badannya menggunakan angka.

b) Kapasitor polyester

Peranan plastik ternyata tidak terbatas hanya dibuat sebagai kantong atau peralatan rumah tangga, tetapi juga ikut berperan di dalam pembuatan komponen elektronika yaitu kapasitor. Kapasitor plastik sangat populer dalam penggunaannya dalam bidang elektronika dikenal dengan nama kapasitor polyester. Pada umumnya kapasitor ini dibuat dengan bentuk yang kecil dan pipih. Kapasitor ini tidak memiliki polaritas sehingga dalam pemasangannya tidak akan sulit. Pencantuman kapasitansinya biasanya dalam kode warna.

c) Kapasitor mika

Kapasitor mika adalah komponen yang lahir sejak generasi pertama dan masih banyak digunakan sampai sekarang karena keandalannya tinggi disamping memiliki sifat yang stabil dan toleransinya rendah. Sesuai dengan namanya kapasitor ini dielektrikunya terbuat dari bahan mika. Pemakaian dari kapasitor

jenis ini adalah pada rangkaian yang berhubungan dengan frekuensi tinggi. Besarnya kapasitansi dari kapasitor ini adalah 50 sampai 10.000 μF

d) Kapasitor film

Kapasitor film, dielektrikannya terbuat dari film. Besarnya kapasitansinya dicantumkan dengan kode warna berupa gelang dan cara pembacaannya hampir sama dengan pembacaan kode warna resistor.

e) Kapasitor kertas

Dikatakan kapasitor kertas karena bahan dielektrikannya terbuat dari bahan kertas. Kapasitor jenis ini sudah lahir sejak generasi pertama dimana pada waktu itu masih menggunakan tabung hampa. Kapasitor jenis ini sekarang ini sudah jarang dan hampir tidak digunakan lagi. Dalam pemasangan kapasitor ini tidak akan menjadi masalah karena tidak dilengkapi dengan polaritas. Besarnya kapasitansi dari kapasitor jenis ini adalah 100 pF sampai 6800 pF.

b. Kapasitor tidak tetap (Variabel)

Kapasitor variabel merupakan kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Adapun jenis dari kapasitor variabel yaitu;

1) Kapasitor variabel (Varco)

Kapasitor variabel merupakan jenis kapasitor yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitor tetap. Sesuai dengan bentuk fisiknya maka kapasitor variabel memiliki kapasitansi yang besar. Kapasitor jenis ini dibuat pada generasi pertama. Kapasitor variabel banyak dipergunakan pada rangkaian-rangkaian yang besar. Kapasitas dari kapasitor jenis ini biasanya mulai dari 1 μF sampai 500 μF .

2) Kapasitor Trimer

Kapasitor trimer dilengkapi dengan preset yaitu alat yang digunakan untuk mengatur besaran kapasitansi. Pengaturannya dapat dilakukan dengan menggunakan obeng. Kapasitor variabel jenis ini menggunakan bahan dielektrikum yaitu mika atau plastik. Besaran kapasitansi dari kapasitor jenis ini dalah 5 sampai 30 μF

3) Kapasitor aktif atau CDS

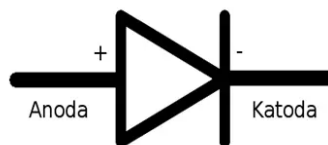
kapasitor yang bersifat aktif, artinya komponen kapasitor tersebut akan aktif mengalirkan muatan apabila kena cahaya, baik cahaya matahari maupun sumber cahaya lainnya. komponen ini banyak dipergunakan sebagai sensor pada rangkaian lampu taman atau rangkaian alarm atau berfungsi sebagai saklar otomatis.

2.7 Dioda

Dioda merupakan komponen semikonduktor yang paling sederhana. Kata dioda berasal dari pendekatan kata yaitu dua elektroda yang mana (di berarti dua) mempunyai dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Dioda adalah piranti elektronik yang hanya dapat melewatkan arus/tegangan dalam satu arah saja, dimana dioda merupakan jenis vacum tube yang memiliki dua buah elektroda (terminal). Karena itu, dioda dapat dimanfaatkan sebagai penyearah arus listrik, yaitu piranti elektronik yang mengubah arus atau tegangan bolak-balik (AC) menjadi arus atau tegangan searah (DC).

Dioda terbentuk dari bahan semikonduktor tipe P dan N yang digabungkan. Dengan demikian dioda sering disebut P-N junction. Dioda adalah gabungan bahan semikonduktor tipe N yang merupakan bahan dengan kelebihan elektron dan tipe P adalah kekurangan satu elektron sehingga membentuk Hole. Hole dalam hal ini berfungsi sebagai pembawa muatan.

Apabila kutub P pada dioda (anoda) dihubungkan dengan kutub positif sumber maka akan terjadi pengaliran arus listrik dimana elektron bebas pada sisi N (katoda) akan berpindah mengisi hole sehingga terjadi pengaliran arus. Sebaliknya apabila sisi P dihubungkan dengan negatif baterai/sumber, maka elektron akan berpindah ke arah terminal positif sumber. Didalam dioda tidak akan terjadi perpindahan electron sehingga bahan tersebut menjadi isolator.



Gambar 2.12 Simbol Dioda

Sumber: (<https://www.dosenpendidikan.co.id/dioda/>)

2.7.1 Karakteristik Dioda

Dioda sebagai salah satu komponen aktif sangat populer digunakan dalam rangkaian elektronika, karena bentuknya sederhana dan penggunaannya sangat luas. Ada beberapa macam rangkaian dioda, diantaranya : penyearah setengah gelombang (Half-Wave Rectifier), penyearah gelombang penuh (Full-Wave Rectifier), rangkaian pemotong (Clipper), rangkaian penjepit (Clamper) maupun pengganda tegangan (Voltage Multiplier).

Dioda terbagi atas beberapa jenis antara lain :

- a. Dioda germanium
- b. Dioda silicon
- c. Dioda selenium
- d. Dioda zener
- e. Dioda cahaya (LED)

Dioda termasuk komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor. Beranjak dari penemuan dioda, para ahli menemukan juga komponen turunan lainnya yang unik. Dioda memiliki fungsi yang unik yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. Satu sisi adalah semikonduktor dengan tipe P dan satu sisinya yang lain adalah tipe N. Dengan struktur demikian arus hanya akan dapat mengalir dari sisi P menuju sisi N.

Karakteristik dasar dioda dikenal dengan karakteristik V-I. Karakteristik ini penting untuk dipahami agar tidak terjadi kesalahan dalam aplikasi dioda. Dalam karakteristik ini dapat diketahui keadaan-keadaan yang terjadi pada dioda ketika mendapat tegangan bias maju dan tegangan bias mundur.

Jika kedua terminal dioda disambungkan ke sumber tegangan dimana tegangan anoda lebih positif dibandingkan dengan tegangan katoda, maka dioda dikatakan dalam keadaan bias maju. Sebaliknya, bila tegangan anoda lebih negatif dari katoda, dioda dikatakan dalam keadaan bias mundur.

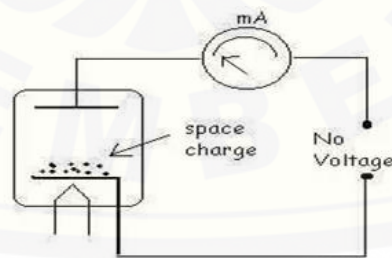
2.7.2 Prinsip Kerja Dioda

Hampir semua peralatan elektronika memerlukan sumber arus searah. Penyearah digunakan untuk mendapatkan arus searah dari suatu arus bolak-balik. Arus atau tegangan tersebut harus benar-benar rata tidak boleh berdenyut-denyut agar tidak menimbulkan gangguan bagi peralatan yang dicatu. Dioda semikonduktor hanya dapat melewati arus pada satu arah saja, yaitu pada saat dioda memperoleh catu arah/bias maju (forward bias).

Karena di dalam dioda terdapat junction (pertemuan) dimana daerah semikonduktor type-P dan semi konduktor type-N bertemu. Pada kondisi ini dioda dikatakan bahwa dioda dalam keadaan konduksi atau menghantar dan mempunyai tahanan dalam dioda relative kecil. Sedangkan bila dioda diberi catu arah/bias mundur (*Reverse bias*) maka dioda tidak bekerja dan pada kondisi ini dioda mempunyai tahanan dalam yang tinggi sehingga arus sulit mengalir. Apabila dioda silicon dialiri arus AC, maka yang mengalir hanya satu arah saja sehingga arus *output* dioda berupa arus DC.

Dari kondisi tersebut maka dioda hanya digunakan pada beberapa pemakaian saja antara lain sebagai penyearah setengah gelombang (*Half Wave Rectifier*), penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*), rangkaian pemotong (*Clipper*), rangkaian penjepit (*Clamper*) maupun pengganda tegangan (*Voltage Multiplier*).

a. Dioda Diberi Tegangan Nol

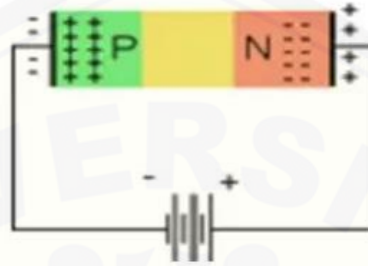


Gambar 2.13 Dioda Diberi Tegangan Nol
 Sumber: (<https://www.dosenpendidikan.co.id/dioda/>)

Ketika dioda diberi tegangan nol maka tidak ada medan listrik yang menarik elektron dari katoda. Elektron yang mengalami pemanasan pada katoda hanya mampu melompat sampai pada posisi yang tidak begitu jauh dari katoda dan

membentuk muatan ruang (Space Charge). Tidak mempunyai elektron melompat menuju katoda disebabkan karena energi yang diberikan pada elektron melalui pemanasan oleh heater belum cukup untuk menggerakkan elektron menjangkau plate.

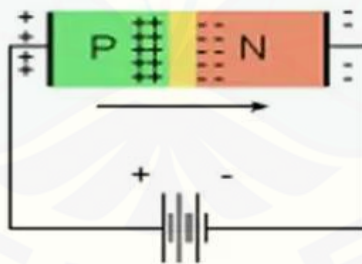
b. Dioda Diberi Tegangan Negatif (*Reverse Bias*)



Gambar 2.14 Dioda Diberi Tegangan Negatif
 Sumber: (<https://www.dosenpendidikan.co.id/dioda/>)

Ketika dioda diberi tegangan negatif maka potensial negatif yang ada pada plate akan menolak elektron yang sudah membentuk muatan ruang sehingga elektron tersebut tidak akan dapat menjangkau plate sebaliknya akan terdorong kembali ke katoda, sehingga tidak akan ada arus yang mengalir.

c. Dioda Diberi Tegangan Positif (*Forward Bias*)



Gambar 2.15 Dioda Diberi Tegangan Positif
 Sumber: (<https://www.dosenpendidikan.co.id/dioda/>)

Ketika dioda diberi tegangan positif maka potensial positif yang ada pada plate akan menarik elektron yang baru saja terlepas dari katoda oleh karena emisi thermionic, pada situasi inilah arus listrik baru akan terjadi. Seberapa besar arus listrik yang akan mengalir tergantung daripada besarnya tegangan positif yang dikenakan pada plate. Semakin besar tegangan plate akan semakin besar pula arus listrik yang akan mengalir.

Oleh karena sifat dioda yang seperti ini yaitu hanya dapat mengalirkan arus listrik pada situasi tegangan tertentu saja, maka dioda dapat digunakan sebagai penyearah arus listrik (*rectifier*). Pada kenyataannya memang dioda banyak digunakan sebagai penyearah tegangan AC menjadi tegangan DC. Arus arus pada dioda sesuai dengan lambang dioda yaitu arah arus yang mengalir mengikuti ujung anak panah pada symbol dioda. Khusus dioda sebagai penyearah arus atau tegangan AC ada beberapa cara yaitu penyearah setengah gelombang (*Half wave*) dan penyearah gelombang penuh (*Full wave*)

2.7.3 Jenis-jenis Dioda

Dioda terdiri dari berbagai macam jenis antara lain sebagai berikut:

a. Dioda LED (*Light Emitting Dioda*)

Dioda LED adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Pada dasarnya Dioda LED adalah dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan cahaya.

b. Dioda Penyearah

Dioda ini merupakan jenis dioda yang paling banyak digunakan Jenis penyearahan yang dilakukan yaitu penyearahan setengah gelombang (*half wave*) dan penyearahan gelombang penuh (*full wave*) dan juga penyearahan *Bridge*.

c. Dioda Varaktor

Dioda Varactor adalah dioda yang biasa digunakan sebagai rangkaian pembangkit frekuensi atau oscilator . Nama lain dari dioda varactor adalah dioda varicap (*variable capacitor diode*). Pada circuit electronic RF (*Radio Frequency*) yang menggunakan Transistor bipolar maupun FET, varactor banyak digunakan sebagai variable kapasitor dalam VCO (*Voltage Control Oscilator*) yaitu oscilator yang frekuensinya dikendalikan oleh tegangan listrik.

d. Dioda Zener

Adalah diode yang memiliki karakteristik menyalurkan arus listrik mengalir ke arah yang berlawanan jika tegangan yang diberikan melampaui batas “tegangan tembus” (*breakdown voltage*) atau “tegangan Zener”. Ini berlainan dari diode biasa

yang hanya menyalurkan arus listrik ke satu arah. Dioda yang biasa tidak akan mengalirkan arus listrik untuk mengalir secara berlawanan jika dicatu-balik (*reverse-biased*) di bawah tegangan rusaknya.

e. Dioda Photo

Dioda ini berfungsi untuk mendeksi cahaya yang akan dirubah menjadi arus listrik.

2.8 Regulator Tegangan AC Putaran Koil



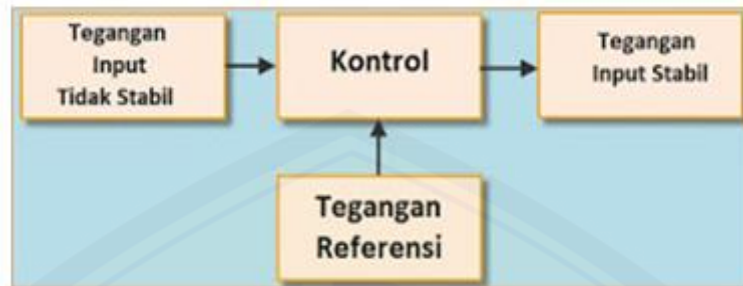
Gambar 2.16 Voltage Regulator AC

Fluktuasi tegangan menyebabkan kegagalan sementara atau permanen pada beban. Fluktuasi tegangan ini juga mengurangi masa pakai peralatan rumah karena tegangan rendah atau lebih tinggi yang tidak diatur daripada tegangan yang diinginkan untuk beban. Fluktuasi tegangan ini terjadi karena perubahan beban mendadak atau karena kesalahan dalam sistem daya.

Jadi, diperlukan untuk memasok tegangan stabil ke beban, mengingat pentingnya peralatan rumah tangga dan perlunya perlindungan mereka. *stabilizer* tegangan digunakan untuk menjaga *supply* tegangan stabil ke beban sedemikian rupa sehingga peralatan rumah tangga dapat terlindung dari tegangan berlebih.

Stabilizer adalah benda atau perangkat yang digunakan untuk menjaga sesuatu atau kuantitas stabil atau *steady state*. Ada berbagai jenis *stabilizer* berdasarkan kuantitas yang digunakan untuk menjaga stabilitas. Sebagai contoh,

stabilizer yang digunakan untuk menjaga kestabilan kuantitas tegangan dalam sistem daya disebut sebagai *stabilizer* tegangan.



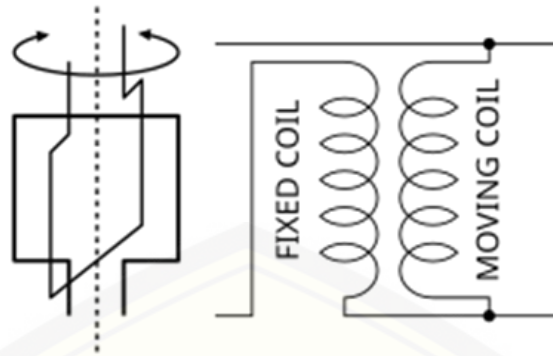
Gambar 2.17 *Stabilizer* Tegangan

Sumber: (Buku Pegangan Standar untuk Insinyur Listrik Edisi Kesebelas, Mc Graw Hill, 1978, ISBN 0-07-020974-X, halaman 7-30)

Stabilizer tegangan dirancang untuk mempertahankan level tegangan stabil untuk menyediakan *supply* yang konstan meskipun ada fluktuasi atau perubahan supply untuk melindungi peralatan rumah. Umumnya regulator tegangan digunakan untuk mempertahankan tegangan konstan dan regulator tegangan ini yang digunakan untuk memberikan tegangan konstan ke peralatan rumah tangga disebut sebagai *Stabilizer* Tegangan.

Ada berbagai jenis pengatur tegangan seperti pengatur tegangan elektronik, pengatur tegangan elektromekanis, pengatur tegangan otomatis dan pengatur aktif. Demikian pula, ada berbagai jenis stabilizer tegangan seperti *stabilizer* tegangan servo, *stabilizer* tegangan otomatis, stabilizer tegangan AC *stabilizer* tegangan DC.

Stabilizer tegangan AC ini diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, salah satunya yaitu regulator tegangan AC dimana jenis regulator ini lebih tua yang digunakan pada 1920-an yang menggunakan prinsip kumparan medan posisi tetap dan kumparan medan kedua dan dapat diputar pada sumbu secara paralel dengan kumparan tetap, mirip dengan variocoupler.



Gambar 2.18 Desain Dasar Dan Diagram Sirkuit Untuk Regulator Tegangan AC Kumparan Berputar

Sumber: (Buku Pegangan Standar untuk Insinyur Listrik Edisi Kesebelas, Mc Graw Hill, 1978, ISBN 0-07-020974-X, halaman 7-30)

Ketika kumparan bergerak diposisikan tegak lurus terhadap kumparan tetap, gaya magnet yang bekerja pada kumparan bergerak saling menyeimbangkan dan *output* tegangan tidak berubah. Memutar coil dalam satu arah atau yang lain menjauh dari posisi tengah akan menambah atau mengurangi tegangan pada kumparan bergerak sekunder.

Sehingga tegangan konstan dapat diperoleh dengan menyeimbangkan gaya magnet yang bekerja pada coil bergerak yang dicapai dengan menempatkan coil bergerak yang tegak lurus terhadap coil tetap. Tegangan pada coil sekunder dapat dinaikkan atau diturunkan dengan memutar coil dalam satu atau arah lainnya dari posisi tengah.

Regulator jenis ini dapat diotomatisasi melalui mekanisme kontrol servo untuk memajukan posisi kumparan bergerak untuk memberikan kenaikan atau penurunan tegangan. Mekanisme pengereman atau gearing rasio tinggi digunakan untuk menahan coil berputar pada gaya magnet kuat yang bekerja pada coil bergerak. Dengan rotasi coil ini, regulator tegangan AC dapat digunakan sebagai stabilizer tegangan otomatis.

2.9 Fuse (Sekering)



Gambar 2.19 Fuse

Fuse atau sekering merupakan suatu komponen yang berfungsi ialah sebagai pengaman dalam rangkaian elektronika ataupun juga perangkat listrik. *Fuse* (Sekering) ini pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat yang halus dan pendek yang akan meleleh serta terputus apabila dialiri oleh arus listrik yang berlebihan / juga apabila terjadi hubungan arus pendek (*short circuit*) Didalam sebuah peralatan listrik (Elektronika). Dengan putusnya *fuse* (Sekering) tersebut, arus listrik yang berlebihan itu tidak akan dapat masuk ke dalam jangkaian elektronika sehingga tidak akan merusak komponen-komponen yang terdapat dalam sebuah rangkaian elektronika yang berkaitan. Karena *fuse* sendiri fungsinya ialah untuk melindungi peralatan listrik dan juga peralatan elektronika dari kerusakan akibat arus pendek atau juga listrik yang berlebihan, *Fuse* ini juga sering disebut ialah sebagai pengaman Listrik.

Fuse (Sekering) sendiri terdiri dari 2 Terminal serta biasanya dipasang dengan secara Seri dengan rangkaian elektronika atau juga listrik yang akan dilindunginya sehingga jika *fuse* (Sekering) tersebut terputus maka akan terjadi yang disebut dengan “*Open Circuit*” yang memutuskan hubungan aliran listrik supaya arus listrik tersebut tidak dapat mengalir masuk ke dalam Rangkaian yang dilindunginya.

2.9.1 Simbol *Fuse* dan Cara pemasangan *Fuse*

Bentuk *Fuse* (Sekering) yang paling sering ditemukan ialah pada berbentuk tabung (*silinder*) serta juga pisau (*Blade Type*). *Fuse* yang berbentuk tabung atau/ silinder tersebut sering ditemukan di peralatan listrik Rumah Tangga sedangkan

jika *Fuse* yang berbentuk pisau (*blade*) ini lebih sering digunakan pada bidang Otomotif (kendaraan bermotor).

Nilai *Fuse* tersebut biasanya tertera pada badan *Fuse* itu sendiri maupun diukir pada Terminal *Fuse*, nilai *Fuse* itu diantaranya terdiri dari

- a. Arus Listrik dalam satuan Ampere (A)
- b. MiliAmpere (mA)
- c. Tegangan dalam satuan Volt (V)
- d. MiliVolt (mV).

Didalam Rangkaian Eletronika atau juga listrik, fuse atau sekering ini sering dilambangkan dengan huruf "F".

2.9.2 Jenis-Jenis *Fuse*

Berdasarkan fungsinya *Fuse* tersebut dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu :

a. *Fuse* tipe *blade* / *wedge*

Fuse blade adalah salah satu jenis sekering yang paling sering dan banyak digunakan, karena sekering tipe *blade* ini dirancang dengan elemen metal serta lebih kompak dan juga rumah pelindung yang tembus pandang, sehingga pada saat putus akan terlihat dan juga *fuse* ini memiliki warna untuk mempermudah . Selain dari itu *fuse* tipe ini juga mempunyai beberapa keuntungan yaitu :

- 1) Lebih ringan
- 2) Bagian yang berhubungan lebih luas
- 3) Tidak mudah pecah dan anti shock (terbakar)
- 4) Lebih tahan terhadap arus yang terputus-putus
- 5) *Fuse cartridge* / *glass*

Sekring diidentifikasi dengan berdasarkan kapasitas pada masing-masing jenis, untuk tipe *cartridge* dapat dilihat pada ujung logam penutup tabung kaca yang menampilkan angka penunjuk kapasitas sekering.

2.9.3 Prinsip Kerja Fuse

Fuse merupakan alat perlindungan yang paling umum. *Fuse* tersebut dipasang dalam rangkaian listrik, pada saat aliran arus melebihi beban maksimumnya maka *fuse* akan putus atau juga meletus. Elemen di dalam *fuse* mencair, membuka rangkaian serta juga mencegah komponen lain rusak oleh karena arus yang berlebih. Ukuran elemen metal *fuse* tersebut membedakan nilainya. Hal yang perlu diingat kelebihan arus tersebut menyebabkan kelebihan panas, serta panasnya itulah yang menyebabkan rangkaian putus bukan karena arusnya.

2.9.4 Faktor Penyebab Fuse Rusak

Fuse juga dapat mengalami kerusakan yaitu disebabkan oleh factor-faktor diantaranya yaitu :

a. *Over load*

Over load merupakan arus yang mengalir pada suatu rangkaian lebih dari kapasitas maksimal *fuse*.

b. *Short Circuit*

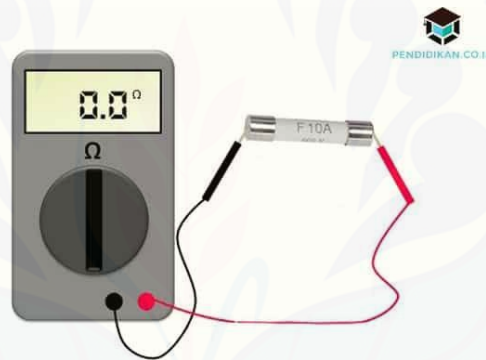
Short Circuit adalah adanya hubung singkat dirangkaian sehingga arus yang mengalir ke *fuse* tersebut melebihi kapasitas *fuse*.

2.9.5 Cara Mengukur Fuse (Sekering) dengan Multimeter Digital

Pada dasarnya *fuse* mempunyai bungkusan transparan yang terbuat dari kaca atau juga plastik sehingga anda dapat melihat langsung apakah Kawat halus *fuse* itu dalam keadaan putus atau tidak. namun ada juga jenis *Fuse* yang bungkusannya itu menutupi kawat halus yang berada di dalamnya sehingga akan membuat sulit untuk dapat melihat isi daripada *fuse* tersebut. Oleh sebab itu, kita perlu mengukur *fuse* dengan multimeter untuk dapat mengetahui apakah *fuse* tersebut masih dalam keadaan baik atau sudah terputus.

Berikut ini adalah langkah-langkah mengukur *fuse* dengan menggunakan multimeter digital yaitu :

- Aturlah posisi pada Saklar Multimeter di posisi Ohm (Ω)
- Kemudian jhubungkan probe multimeter pada tiap-tiap terminal *fuse* / sekering contohnya seperti pada gambar dbawah ini. *Fuse* atau sekering tersebut tidak mempunyai polaritas, jadi posisi probe merah serta probe hitam tidak akan dipermasalahkan.
- Pastikan nilai yang ditunjukkan pada display multimeter ialah “0” Ohm. Kondisi itu menandakan *fuse* tersebut dalam kondisi baik (*Short*).
- Apabial display multimeter itu menunjukkan “tak terhingga”, maka *Fuse* dinyatakan sudah rusak/putus atau terbakar.



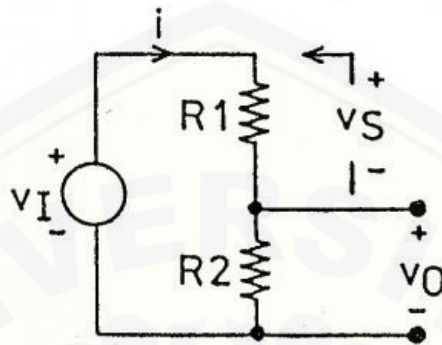
Gambar 2.20 Cara Mengukur *Fuse* (Sekering) dengan Multimeter Digital
Sumber:(<https://pendidikan.co.id/pengertian-fuse-sekering-fungsi-jenis-prinsip-dan-cara-mengukurnya/>)

Fuse yang sudah putus tersebut harus diganti dengan *fuse* yang memiliki spesifikasinya yang sama. Jika spesifikasi *fuse* yang diganti itu berbeda, maka fungsi *fuse* yang ialah sebagai pengaman ini tidak akan dapat berfungsi dengan secara maksimal atau tidak akan dapat melindungi rangkaian / peralatan elektronika ataupun juga peralatan listrik dengan maksimal.

2.10 Rangkaian Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan biasanya digunakan untuk membuat suatu tegangan referensi dari sumber tegangan yang lebih besar, titik tegangan referensi pada sensor, untuk memberikan bias pada rangkaian penguat atau untuk memberi

bias pada komponen aktif. Rangkaian pembagi tegangan pada dasarnya dapat dibuat dengan 2 buah resistor, contoh rangkaian dasar pembagi tegangan dengan *output* V_O dari tegangan sumber V_I menggunakan resistor pembagi tegangan R_1 dan R_2 seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.21 Rangkaian Pembagi Tegangan
 Sumber : (<https://elektronika-dasar.web.id/pembagi-tegangan-voltage-divider/>)

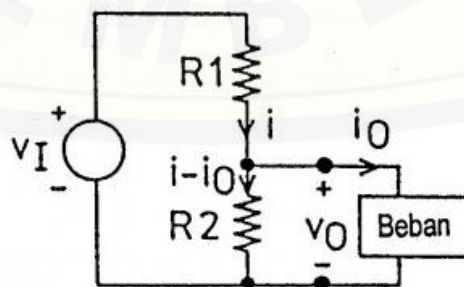
Dari rangkaian pembagi tegangan diatas dapat dirumuskan tegangan *output* V_O . Arus (I) mengalir pada R_1 dan R_2 sehingga nilai tegangan sumber V_I adalah penjumlahan V_S dan V_O sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_I = V_S + V_O = i \cdot R_1 + i \cdot R_2 \quad (2.26)$$

Nampak bahwa tegangan masukan terbagi menjadi dua bagian (V_S, V_O), masing-masing sebanding dengan harga resistor yang dikenai tegangan tersebut. Sehingga besarnya V_O dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_O = V_I \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.27)$$

2.10.1 Rangkaian Pembagi Tegangan Terbebani



Gambar 2.22 Pembagi Tegangan Dengan Beban Terpasang
 Sumber : (<https://elektronika-dasar.web.id/pembagi-tegangan-voltage-divider/>)

Gambar rangkaian pembagi tegangan diatas memperlihatkan suatu pembagi tegangan dengan beban terpasang pada terminal keluarannya, mengambil arus i_o dan penurunan tegangan sebesar v_o . Kita akan mencoba menemukan hubungan antara i_o dan v_o . Jika arus yang mengalir melalui R1 sebesar i seperti ditunjukkan dalam gambar, maka arus yang mengalir lewat R2 adalah sebesar $i-i_o$.

$$v_o = v_i \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - i_o \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \quad (2.28)$$

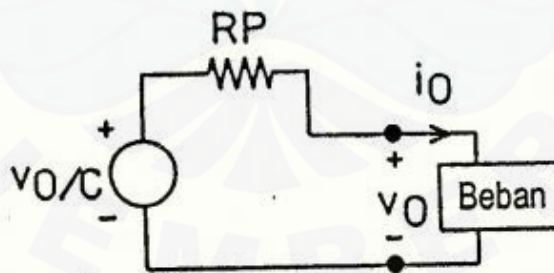
$$v_o = \frac{v_o}{c} - i_o \cdot RP \quad (2.29)$$

Dimana v_o/c adalah besarnya tegangan v_o tanpa adanya beban, yaitu saat $i_o=0$, dan harga ini disebut sebagai tegangan keluaran saat rangkaian terbuka (*open-circuit output voltage*) sebesar.

$$\frac{v_o}{c} = v_i \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad (2.30)$$

$$RP = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \quad (2.31)$$

RP disebut sebagai “resistansi sumber”, dimana harganya sama dengan resistansi R1 dan R2 yang dihubungkan secara paralel. Harga v_o/c atau RP tergantung pada sifat dari beban, sehingga efek v_o akibat besarnya beban dapat dengan mudah dihitung dengan menggunakan penyederhanaan rangkaian seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.23 Pembagi Tegangan Dengan Beban Terpasang Lebih Sederhana
 Sumber : (<https://elektronika-dasar.web.id/pembagi-tegangan-voltage-divider/>)

Dengan rangkaian yang disederhanakan seperti diatas, maka dapat dengan mudah ditentukan tegangan *output* v_o . Dengan beban adala RL maka besarnya tegangan *output* v_o adalah.

$$v_o = \frac{v_o}{c} \left(\frac{RL}{RL+RP} \right) \quad (2.32)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian


Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember 68111

3.2 Perencanaan Jadwal Penelitian

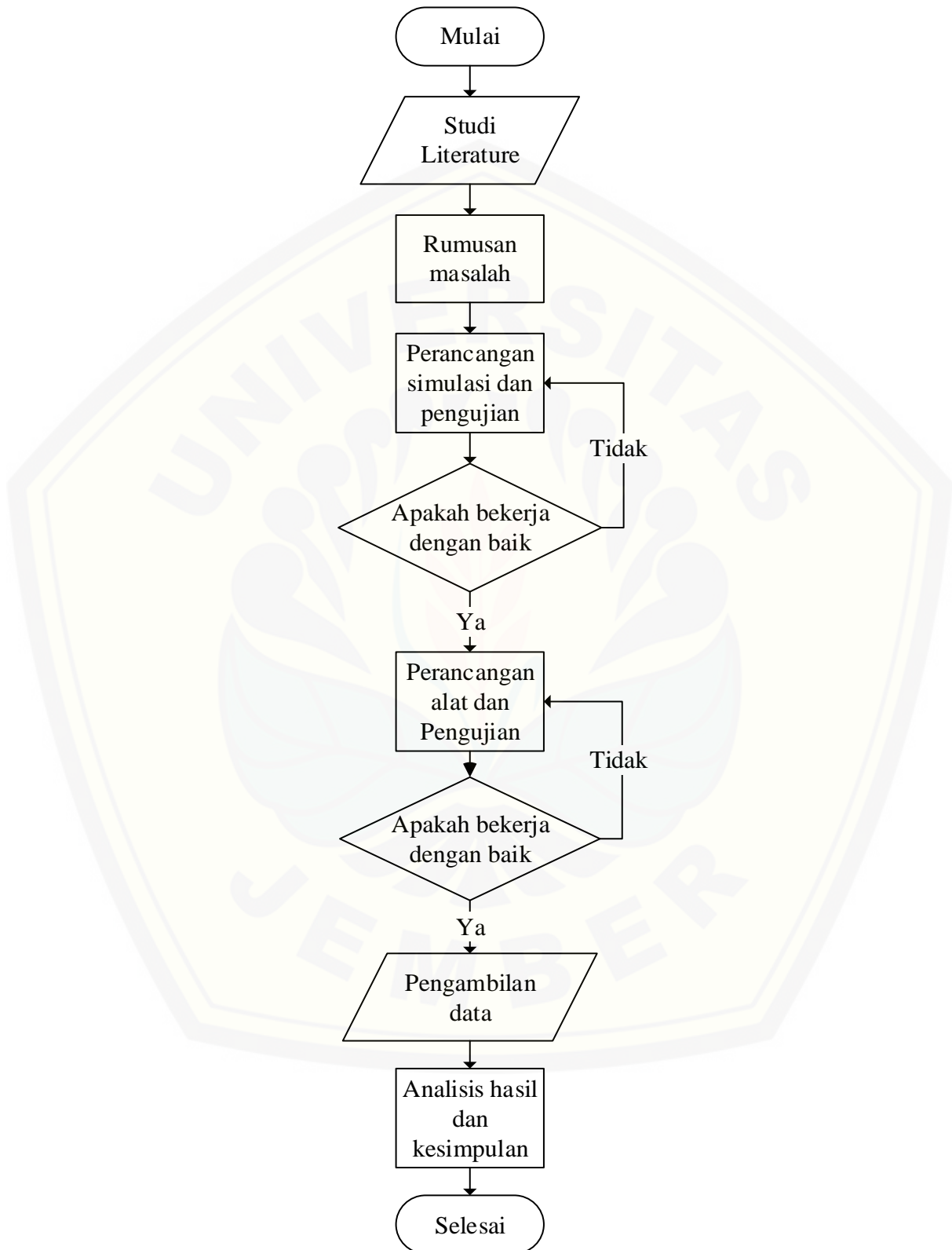
Waktu penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2019 – Selesai, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan/Minggu															
		Desember				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literature																
2	Perumusan Masalah																
3	Penentuan komponen																
4	Perancangan dan pembuatan simulasi <i>voltage multiplier</i>																
5	Pembuatan rancang bangun <i>voltage multiplier</i>																
6	Pengambilan dan perhitungan data																
7	kesimpulan																
8	Penulisan laporan																

Keterangan :  = Kegiatan dilaksanakan

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Sistem Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap - tahap yang harus dilewati demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap - tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya antara lain yaitu :

1. Tahap Persiapan

Dalam tahap ini hal yang perlu diperhatikan adalah memperkirakan komponen apa saja yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pengujian pengaruh komponen terhadap rancang bangun *voltage multiplier Cockcroft-Walton*.

2. Tahap Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik, prinsip kerja serta teori yang menunjang penelitian. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan petunjuk dan dapat dijadikan landasan teori dalam penelitian.

3. Tahapan Perancangan

Pada tahapan ini merupakan tahap merancang alat yang digunakan penelitian. Perancangan dilakukan dengan cara simulasi alat menggunakan software proteus. Diharapkan dari proses perancangan menggunakan simulasi, alat yang nantinya akan diteliti dapat terbentuk sesuai yang diinginkan. Setelah perancangan alat berhasil disimulasikan maka tahap selanjutnya yakni pembuatan alat. Alat yang dibuat yakni rangkaian *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dengan spesifikasi komponen yang telah ditentukan sebelumnya.

4. Tahap Uji Karakteristik

Tahap pengujian sistem yaitu berasal dari tegangan sumber AC kemudian dihubungkan dengan transformator *step-up* untuk dinaikan tegangannya, lalu tegangan akan disearahkan dengan *rectifier*, selanjutnya akan dilipat gandakan tegangannya oleh *voltage multiplier* lalu diuji pada isolator apakah *voltage multiplier* dapat bekerja dengan baik.

5. Tahap pengambilan data

Setelah alat berhasil dibuat maka langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian pada keseluruhan sistem dan memastikan bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah

pengambilan data yang diperlukan untuk dianalisa dari data yang telah didapatkan berupa tegangan input, arus input, tegangan output, arus output, tegangan jatuh, dan tegangan riak, daya input, daya output, dan efisiensi.

6. Analisa data

Analisa yang dilakukan adalah alat yang telah dibuat apakah sesuai dengan permintaan atau kehendak dan mengetahui respon atau variabel terkait sehingga didapatkan hasil yang optimal.

7. Pengambilan kesimpulan

Kemudian, dari apa yang telah dianalisa dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran untuk memperbaiki kekurangan yang ada, pengembangan, serta penyempurnaan alat di masa mendatang.

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

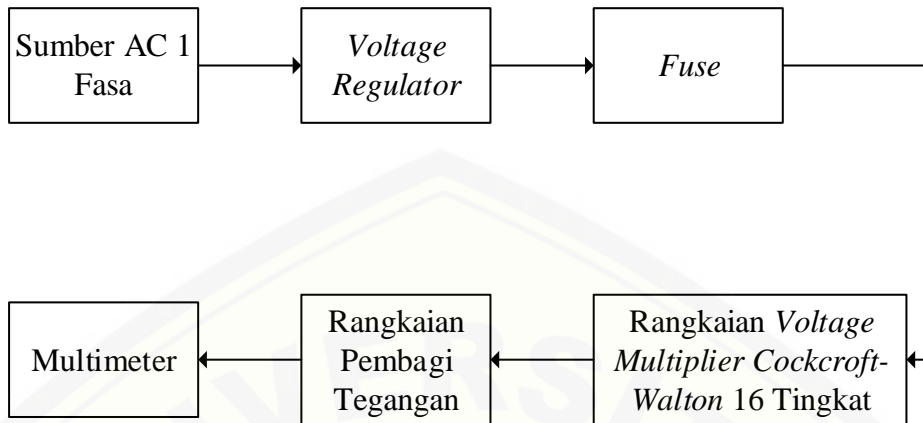
3.4.1 Alat

1. PC / Laptop
2. *Software* Proteus
3. *Voltage Regulator* 5000 W / 20 A
4. *Fuse* 0,5 Ampere dan 20 Ampere
5. Multimeter
6. Tang Ampere

3.4.2 Bahan

1. Dioda tipe 1N5408
2. Kapasitor DC 450 Volt-100 μ F
3. Resistor 3,9 M Ω / 3 Watt dan 100 K Ω / 2 W
4. Resistor 1 Ω / 3 Watt, 10 Ω / 3 Watt, 100 Ω / 3 Watt, 1K Ω / 3 Watt, 10K Ω / 3 Watt, 100K Ω / 3 Watt, 1M Ω / 3 Watt
5. Kabel NYA 750 Volt

3.5 Blok Diagram dan Perancangan Sistem



Gambar 3.2 Blok Diagram Alat

Pada Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok sistem kerja dari perancangan sistem pada *voltage multiplier* dengan metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* untuk pengujian tahanan isolasi. Pertama berasal dari sumber AC 1 fasa dengan tegangan yang bervariasi mulai dari 20 V hingga 220 V lalu terhubung ke *voltage regulator* dimana *voltage regulator* ini sebagai penyetabil tegangan dan untuk variasi tegangan atau peningkat dan penurun tegangan yang berfungsi juga sebagai pemisah utama secara elektrik antara rangkaian sumber dengan rangkaian sistem tegangan searah yang dilipatkan atau dinaikkan. Dengan demikian, rangkaian akan relatif lebih aman, dimana bila terjadi sejenis hubung singkat tidak langsung mempengaruhi atau dipengaruhi oleh sumber tegangan. Setelah dari *voltage regulator* lalu terhubung ke *fuse* yang berfungsi sebagai pengaman rangkaian sistem dan otomatis untuk mencegah kerusakan yang terjadi pada rangkaian dikarenakan adanya hubung singkat, beban lebih, dan gangguan ke tanah. Setelah diberi tegangan oleh *voltage regulator* dan diberi pengaman yaitu *fuse* selanjutnya yaitu ke rangkaian penyearah (*rectifier*) sebagai penyearahkan tegangan bolak-balik (AC) yang berasal dari *voltage regulator*, menjadi tegangan searah (DC). Selanjutnya, tegangan searah tersebut dilipatkan agar meningkat oleh *voltage multiplier* dan lalu masuk ke rangkaian pembagi tegangan agar bisa dibaca hasil tegangan keluaran dari alat oleh multimeter.

Pengukuran tegangan tinggi DC dengan multimeter hanya terbatas yaitu hasil pengukurannya kurang dari 1 kV. Salah satu cara untuk mengukur tegangan DC yang lebih tinggi dari tegangan DC maksimal yang diizinkan oleh multimeter adalah dengan menggunakan pembagi tegangan dengan rasio perbandingan tegangan luaran yaitu 1:274. Pembagi tegangan itu menggunakan 2 ukuran resistor yang berbeda yang dihubungkan secara seri dimana tegangan luaran sebesar 274 V tetapi yang terukur di multimeter sebesar 1 V.

3.6 Pemilihan Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan arus dan tegangan listrik sementara, untuk meratakan gelombang tegangan DC pada rangkaian pengubah rangkaian AC ke DC, dan sebagai penyaring frekuensi serta banyak lainnya. Jadi dalam pemilihan kapasitor inilah yang sangat vital karena sangat berpengaruh pada berhasilnya alat pembangkit tegangan tinggi DC dalam mengeluarkan tegangan yang sesuai dengan rumus dalam teori dan simulasi. Selain itu kapasitor juga rawan meledak jika terdapat efek tegangan berlebih yang masuk pada kapasitor, polaritas terbalik, korslet atau terhubungnya kedua kaki kapasitor dan arus riak. Kapasitor sendiri dibentuk oleh dua plat elektroda dengan cairan elektrolit yang dipisahkan oleh bahan isolasi dielektrik antara dua plat tersebut. Sehingga elco yang dilewati oleh tegangan berlebih ini dapat merusak isolasi dielektrik didalamnya dan menyebabkan kapasitor bisa meledak. Sehingga tegangan yang tertera pada komponen kapasitor adalah tegangan maksimal yang dapat dialirkan kapasitor secara aman. Sehingga dalam pemilihan jenis kapasitor ini lebih baik dan aman memilih tegangan kapasitor lebih besar dari tegangan *supply* atau 2 kali tegangan *supply* dan tidak memilih kapasitor dengan tegangan yang sama dengan tegangan *supply* supaya kapasitor tidak cepat panas dan aman dari ledakan.

Kapasitor ada berbagai macam jenisnya tergantung dari kapasitas, tegangan kerja dan faktor lainnya yang berpengaruh. Dalam perancangan *voltage multiplier* ini menggunakan kapasitor jenis elco (Elektrolit Condensator) dimana jenis kapasitor ini yaitu kapasitor polar atau memiliki 2 buah kutub pada kaki-kakinya.

Kaki yang panjang merupakan kutub positif dan kaki yang pendek atau kaki yang memiliki tanda khusus yaitu kaki negatif. Pemasangan kapasitor elektrolit dalam rangkaian elektronika tidak boleh terbalik, khususnya untuk rangkaian arus DC namun untuk arus AC tidak jadi masalah.

Kapasitor ini pada umumnya sangat baik untuk menyimpan arus listrik DC. Kapasitor elco biasanya digunakan dalam rangkaian apa saja, misalnya salah satunya pembangkit tegangan tinggi DC. Kapasitor yang dipakai dalam rangkaian *voltage multiplier* ini adalah kapasitor dengan ukuran 450 V dan 100 μf dimana kapasitor ini memiliki tegangan lebih besar atau bahkan dua kali lipat tegangan *supply* sehingga kapasitor ini aman digunakan dirangkaian. Selain itu memiliki kapasitas 100 μf sehingga *discharge* dari kapasitor sedikit lama. Selain itu dengan kapasitas yang lumayan besar diharapkan meminimalisir drop tegangan dan tegangan riak atau *ripple* saat melakukan pengukuran tegangan dari rangkaian. Lain halnya menggunakan kapasitor keramik yang rata-rata kapasitansinya berukuran nano farad sehingga saat melakukan pengukuran tegangan pada avometer terlihat tidak stabil atau naik turun secara drastis disebabkan *ripple* yang besar karena *Ripple* sendiri dipengaruhi kapasitansi kapasitor, jika kapasitansinya kecil maka *ripple* semakin besar sehingga tegangan yang terukur dari rangkaian kurang *detail* atau variasi pada tegangan *output* tampak dua kondisi yaitu mengisi dan membuang secara cepat.

Untuk penentuan tegangan didalam kapasitor yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan rumus :

$$V = 2 \times V_{IN} \quad (3.1)$$

$$V = 2 \times 240$$

$$V = 480 V$$

Lalu untuk penentuan kapasitansi didalam kapasitor yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan rumus :

$$C = \frac{I \times n}{\Delta V \times F \times 2} \quad (3.2)$$

$$C = \frac{0,00039 \times 16}{12 \times 10^{-7} \times 50 \times 2}$$

$$C = 103,3 \mu f$$



Gambar 3.3 Elco Ukuran $100 \mu f$ dan 450 V

3.7 Pemilihan Dioda

Dioda merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai penyearah (*Rectifier*) untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Dalam pemilihan dioda ini yang perlu diperhatikan yaitu besar arus yang mampu ditanggung sehingga pemilihan dioda harus memilih spesifikasi arus pada dioda yang lebih besar tetapi mendekati ukuran yang diperlukan. Dioda yang digunakan dalam rangkaian *voltage multiplier* ini yaitu 1N5408 dimana dioda ini memiliki tegangan kerja yang besar yaitu 1000 V dan tahan arus hingga 3 A, sehingga dioda ini sangat cocok untuk rangkaian *voltage multiplier* karena sesuai dengan karakteristik dari rangkaian *voltage multiplier* itu sendiri dimana dapat menggandakan tegangan yang sangat besar dan menghasilkan arus yang kecil sehingga dioda yang dipasang harus menampung tegangan yang besar dan tidak masalah jika tahan arusnya kecil karena arus pada rangkaian berukuran sekitar mA. Tetapi dioda ini tidak untuk frekuensi tinggi, bisa untuk frekuensi 50 Hz saja. Spesifikasi dioda 1N5408 sesuai pada datasheet seperti Tabel 3.2 datasheet dioda 1N5408 (refrensi datasheet diode CHENG-YI ELECTRONIC)

Tabel 3.2 Spesifikasi Dioda 1N5408

	1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage to $T_A = 150^\circ\text{C}$	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .5", (12.5mm) Lead Length at $T_A = 75^\circ\text{C}$	3.0									A
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave	150									A
Maximum Forward Voltage at 3.0A Peak	1.2									V
Maximum Reverse Current, $T_A = 25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage $T_A = 55^\circ\text{C}$	10									μA
	500									μA
Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle Average, .5", (12.5mm) Lead Length $T_A = 105^\circ\text{C}$	500									μA
Typical Junction Capacitance (Note 1)	50									pF
Storage Temperature Range T_A	-65 to +175									$^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range T_J	-65 to +170									$^\circ\text{C}$

Dioda 1N5408 termasuk dioda penyearah (*rectifier*) yang cocok untuk untuk mengubah AC menjadi DC sesuai dengan rangkaian voltage multiplier yang sumbernya berasal dari tegangan AC dan keluaran berupa tegangan DC. Dioda penyearah untuk rangkaian *voltage multiplier* ini yaitu tipe penyearah gelombang penuh. Dioda penyearah gelombang penuh ini merupakan penyearah yang mengeluarkan semua siklus gelombang sinus dari sinyal AC. Prinsip kerja dari rangkaian ini yaitu membuat penyearah ganda dengan lebih dulu membalik siklus negatif dari masukan dimana dioda penyearah gelombang penuh ini membutuhkan 2 fasa *input*, satu fasa mengikuti masukan sinyal sinus dan satu fasa lainnya berkebalikan dengan sinyal *input*.

Kelebihan dari dioda ini yaitu lebih efisien karena mengambil semua bagian dari siklus sinyal AC yang disearahkan. Sehingga hal ini membuat keluaran dari penyearah gelombang penuh ini mempunyai riak (*ripple*) yang kecil dan lebih halus. Selain itu daya yang terserap juga lebih efisien karena tidak ada siklus yang dibuang.

Ada 2 cara buat membentuk *Full Wave Rectifier* atau penyearah gelombang penuh. Kedua cara tersebut tetap memakai dioda sebagai penyearahnya, tapi dengan jumlah dioda yang beda yaitu dengan memakai 2 dioda dan 4 dioda. Pada penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda harus memakai *transformer CT*, sedangkan penyearah 4 dioda gak perlu pakai *transformer CT*, penyearah 4 dioda sering disebut juga dengan *Full Wave Bridge*.



Gambar 3.4 Dioda Tipe 1N5408

3.8 Pemilihan Resistor Untuk Pembagi Tegangan

Resistor atau disebut juga dengan hambatan adalah komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk menghambat dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika. Resistor yang akan dipakai untuk pembagi tegangan pada rangkaian *voltage multiplier* harus diperhitungkan dan pemilihan komponen resistor harus secara matang baik dari spesifikasi hambatan dari resistor maupun daya yang dimiliki resistor, karena agar tidak mengalami kerusakan karena dilewati tegangan dan daya yang besar dan jika resistor mengalami kerusakan maka dapat menyebabkan alat ukur atau multimeter rusak juga karena adanya tegangan lebih sedangkan multimeter sendiri hanya bisa menampung dan mengukur tegangan kurang dari 1000 V

Umumnya kerusakan terjadi karena daya yang melalui resistor terlalu besar, sehingga menyebabkan resistor menimbulkan efek panas yang berlebihan. tak jarang saat dipegang panas dan pada kejadian tertentu, sampai ada yang hangus terbakar. Sehingga daya yang di butuhkan dalam melewati resistor tersebut harus disesuaikan misal dengan memakai 1/2, 1, 2, 3 sampai 4 Watt. Tentunya semakin besar yang digunakan secara bentuk fisik juga semakin besar.

Adapun ciri ciri kerusakan pada komponen resistor ini adalah sebagai berikut:

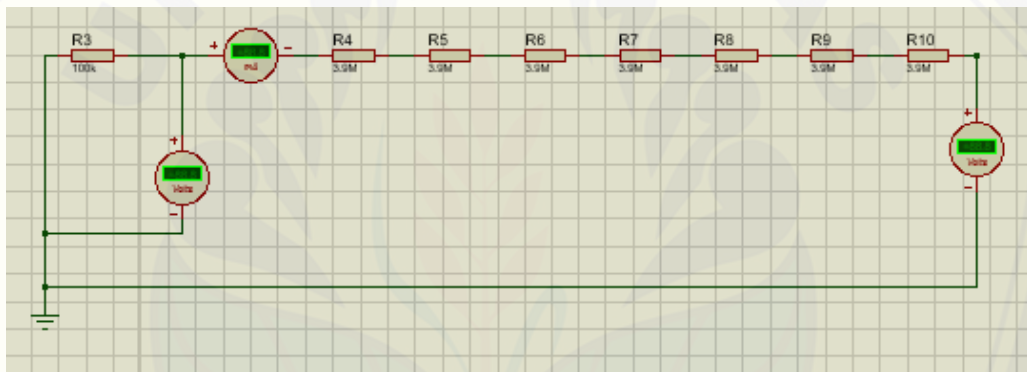
- a. Hangus atau terbakar
- b. Putus yaitu kalau dilihat sepintas resistor seperti masih baik, namun ketika dilakukan pengukuran menggunakan avometer resistor tersebut tidak

menunjukkan nilai sedikitpun atau jarum avometer tidak bergerak untuk menunjukkan nilai resistor tersebut.

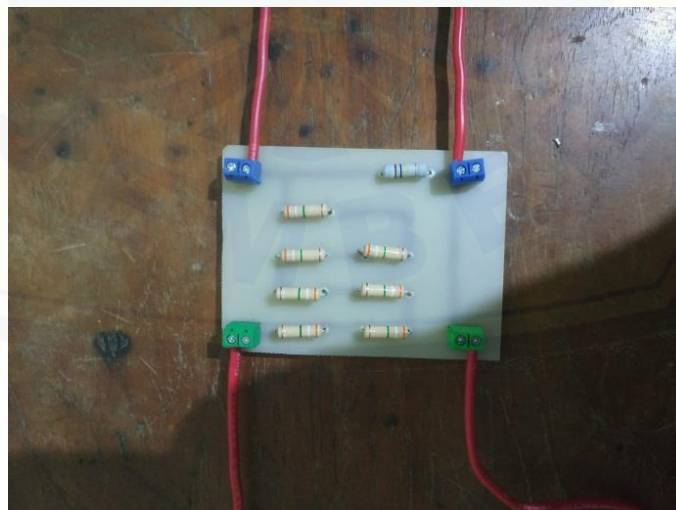
c. Short

d. Berubah nilainya yaitu ketika kita lakukan pengukuran dengan avometer maka nilai resistor tersebut tidak sesuai dengan nilai gelang gelang warna pada resistor tersebut atau melampaui batas nilai toleransi.

Maka dari itu pemilihan komponen resistor untuk pembagi tegangan yaitu ada 2 tipe yang berbeda ukurannya baik hambatannya maupun dayanya antara lain resistor $3,9\text{ M}\Omega$ berjumlah 7 komponen dengan daya 3 Watt dan satu komponen $100\text{ k}\Omega$ dengan daya 2 watt. Berikut skematik rangkaian pembagi tegangan pada software proteus dan gambar rangkaian pembagi tegangan di PCB :



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Pembagi Tegangan



Gambar 3.6 Rangkaian Pembagi Tegangan

Berikut perhitungan pemilihan resistor-resistor yang digunakan untuk pembagi tegangan berdasarkan perhitungan besar daya dari rangkaian *voltage multiplier* yang masuk ke resistor pembagi tegangan, dengan syarat daya dari rangkaian *voltage multiplier* yang masuk ke resistor pembagi tegangan ini harus lebih kecil dari daya yang dimiliki resistor itu sendiri.

Menurut hukum $P = V \times I$, bahwa semakin kecil arus dan tegangan tetap maka daya semakin kecil. Maka untuk memperkecil arus diperlukan hambatan yang besar sesuai dengan rumus $I = \frac{V}{R}$ sehingga hambatan semakin besar membuat daya semakin kecil.

Ukuran hambatan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu sebesar :

$$3,9 \text{ M}\Omega \times 7 \text{ (jumlah resistor)} = 27,3 \text{ M}\Omega = 27.300.000 \Omega$$

Dengan hambatan sebesar 27.300.000 Ω . Sehingga besar arusnya yaitu :

$$I = \frac{V}{R} \tag{3.3}$$

$$I = \frac{10.860,5 \text{ V}}{27.300.000 \Omega}$$

$$I = 0,00039 \text{ A}$$

Setelah arus diketahui selanjutnya yaitu mencari daya :

$$P = V \times I \tag{3.4}$$

$$P = 7000 \text{ kV} \times 0,00039 \text{ A}$$

$$P = 2,73 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang diterima di resistor sebesar 2,73 Watt dan lebih kecil dari daya yang dimiliki resistor itu sendiri yaitu dengan ukuran resistor 3,9 M Ω dan 3 Watt, sehingga sangat mampu untuk membagi tegangan sebesar 7 kV agar terbaca oleh avometer. Untuk mengetahui daya yang diterima oleh resistor ukuran 100 k Ω dan 2 Watt yaitu :

$$P = V \times I \tag{3.5}$$

$$P = 25,6 \text{ V} \times 0,00039 \text{ A}$$

$$P = 0,009984 \text{ Watt}$$

Sehingga daya yang diterima resistor dari ukuran resistor yang pertama yaitu sebesar 0,0009984 Watt dan lebih kecil dari daya yang dimiliki resistor itu sendiri yaitu dengan ukuran resistor 100 k Ω dan 2 Watt

Berikut perhitungan resistor yang digunakan untuk pembagi tegangan sebagai berikut:

$$V_o = V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.6)$$

$$V_o = V_i \left(\frac{100.000\Omega}{3.900.000\Omega \times 7 + 100.000\Omega} \right)$$

$$V_o = V_i \left(\frac{100.000\Omega}{27.400.000\Omega} \right)$$

$$27.400.000\Omega V_o = V_i 20.000\Omega$$

$$274 V_o = V_i$$

Jadi rasio perbandingan tegangan luaran yaitu 1:274. Pembagi tegangan itu menggunakan 2 tipe resistor yang berbeda ukurannya yang dihubungkan secara seri dimana 1 tipe resistor berjumlah 7 komponen dan 1 tipe resistor berjumlah satu, sehingga tegangan luaran sebenarnya sebesar 274 V tetapi yang terukur di multimeter sebesar 1 V dan hanya dijadikan pengali tegangan.

3.9 Pemilihan Ukuran Fuse

Setiap sirkuit kelistrikan lebih baiknya dilengkapi dengan *fuse* sebagai pengaman karena fungsi sendiri untuk mencegah komponen-komponen elektronika dalam suatu rangkaian terhindar dari kerusakan apabila terjadi hubungan pendek arus listrik (konslet) atau arus listrik yang lewat terlalu besar. Pemilihan kapasitas *fuse* harus disesuaikan dengan beban kelistrikan yang akan digunakan. Tidak semua beban kelistrikan diberikan *fuse* dengan kapasitas yang sama dan harus diperhitungkan terlebih dahulu.

Dalam menentukan ukuran kapasitas *fuse* yang akan digunakan yaitu hal pertama yang perlu diketahui adalah ukuran dari arus yang mengalir. Nilai besar kecilnya kapasitas *fuse* yang digunakan tergantung dari arus yang akan mengalir ke beban. Maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari besar arus yang akan mengalir. Dikarenakan rangkaian *voltage multiplier* ini dirancang tanpa beban dan dengan beban sehingga arusnya dilakukan pengukuran yaitu 0,047 Ampere dan dengan beban arus maksimal sebesar 9,17 Ampere.

Setelah arus diketahui selanjutnya yaitu menentukan ukuran nilai arus (*rated current*) *fuse* yang akan digunakan dengan cara arus yang mengalir tersebut dikalikan dengan dua maka :

$$\text{Ukuran } \textit{rated current fuse} \text{ (tanpa beban)} = 0,047 \text{ Ampere} \times 2 = 0,094 \text{ A} \quad (3.7)$$

$$\text{Ukuran } \textit{rated current fuse} \text{ (dengan beban)} = 9,17 \text{ Ampere} \times 2 = 18,34 \text{ A} \quad (3.8)$$

Setelah diketahui *rated current fuse* tanpa beban sebesar 0,094 dan *rated current fuse* dengan beban yaitu 18,34 Ampere, maka ukuran *fuse* yang akan digunakan saat tanpa beban adalah 0,5 Ampere dan saat dengan beban menggunakan ukuran 20 Ampere dengan teori bahwa ukuran *fuse* diambil sekitar diatas tingkat *rated current* dan itu sangat aman untuk rangkaian.

Fuse akan putus (*fuse breakpoint*) apabila arus yang melewatinya *fuse* tersebut 35% lebih besar dari *rated current fuse* tersebut.

$$\textit{Fuse breakpoint} \text{ (Ampere)} = 1,35 \times \textit{rated current} \text{ (Ampere)}$$

3.10 Cara Pemeriksaan Kondisi Kapasitor dan Dioda Pada Rangkaian

Voltage Multiplier

Pada rangkaian *voltage multiplier* bila hasil tegangan luaran selisih jauh lebih kecil atau efisiensinya sangat buruk dari yang diharapkan yaitu sesuai dengan perhitungan dan simulasi, maka dapat dipastikan ada komponen yang mengalami kerusakan antara lain yaitu kapasitor, dioda, dan resistor yang digunakan untuk pembagi tegangan. Sehingga sangat sulit untuk mencari komponen mana yang mengalami kerusakan entah itu kapasitor atau dioda ataupun resistornya yang mengalami kerusakan karena komponennya yaitu kapasitor dan dioda pada *rangkaiannya voltage multiplier* jumlahnya banyak dan spesifikasi komponen dari kapasitor dan dioda sama semua. Kapasitor berjumlah 48 komponen dan dioda berjumlah 64 komponen serta resistor ada 8 komponen yaitu sebagai pembagi tegangan sehingga harus teliti dalam pengecekannya agar yang terpasang pada PCB tidak ada komponen yang rusak atau tidak berfungsi karena jika salah satu komponen ada yang rusak bisa mempengaruhi komponen yang lainnya misal salah satu dari dioda dan kapasitor ikut rusak atau meledak juga karena menampung tegangan lebih atau keluaran tegangan selisih jauh dari rumus dan simulasi. Oleh

sebab itu supaya kerusakan tidak tambah parah maka sebelum pemasangan harus dicek kondisinya masing-masing komponen yaitu normal atau rusak. Berikut cara pemeriksaan kondisi pada kapasitor dan dioda :

a. Pengecekan Kapasitor

Untuk mengukur nilai dari sebuah kapasitor memerlukan sebuah alat ukur yaitu dapat menggunakan multimeter. Sebelum melakukan pengukuran sebaiknya dilihat fisik dari kapasitor. Jika kapasitor dilihat secara fisik bagus atau rusak yaitu yang pertama dilihat dari bentuk tabung dan casing kapasitor, jika sudah gembung bagian atas atau bawah maka perlu mengganti sebelum meletus saat dipakai karena menandakan kondisi elco kurang bagus. Kedua yaitu dilihat dari pembungkus plastik pada kapasitor, jika sudah terkelupas pembungkus plastiknya maka perlu mengganti yang baru supaya aman.

1) Menguji Kapasitor dengan Multimeter Analog

Berikut ini adalah cara menguji kapasitor elektrolit (ELCO) dengan multimeter analog :

- a) Mengatur posisi skala selektor ke ohm (Ω) dengan skala x1K
- b) Menghubungkan probe merah (Positif) ke kaki kapasitor positif
- c) Menghubungkan probe hitam (negatif) ke kaki kapasitor negatif
- d) Memeriksa jarum yang ada pada display multimeter analog,
- e) Jika kapasitor dalam kondisi baik maka jarum bergerak naik dan kemudian kembali lagi dan jika kapasitor dalam kondisi rusak maka jarum bergerak naik tetapi tidak kembali lagi ataupun jarum tidak naik sama sekali.

2) Menguji Kapasitor dengan Multimeter Digital

Multimeter digital yang digunakan harus yang memiliki selektor kemampuan mengukur kapasitansi. Cara mengukur kapasitor dengan multimeter digital yang memiliki fungsi kapasitansi meter yaitu :

- a) Mengatur posisi skala selektor ke tanda atau simbol kapasitor
- b) Menghubungkan probe ke terminal kapasitor.
- c) Munculah nilai kapasitansi dari kapasitor tersebut.

b. Pengecekan Dioda

Untuk mengetahui apakah sebuah dioda dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya, maka diperlukan pengukuran terhadap dioda tersebut dengan menggunakan multimeter (AVO Meter).

1) Cara mengukur dioda dengan multimeter analog

- a) Mengatur posisi selektor pada posisi ohm (Ω) x1k atau x100
- b) Menghubungkan probe merah pada terminal katoda (tanda gelang)
- c) Menghubungkan probe hitam pada terminal anoda.
- d) Tampak hasil pengukuran di display multimeter
- e) Jarum pada display multimeter harus bergerak ke kanan
- f) Membalikan probe merah ke terminal anoda dan probe hitam pada terminal katoda.
- g) Tampak hasil pengukuran di display multimeter
- h) Jarum harus tidak bergerak dan jika Jarum bergerak maka dioda tersebut berkemungkinan sudah rusak.

2) Cara mengukur dioda dengan multimeter digital

- a) Mengatur posisi selektor pada posisi dioda
- b) Menghubungkan probe hitam pada terminal katoda (tanda gelang)
- c) Menghubungkan probe merah pada terminal anoda.
- d) Tampak hasil pengukuran di display multimeter
- e) Display harus menunjukkan nilai tertentu (misalnya 0.42 V)
- f) Membalikan probe hitam ke terminal anoda dan probe merah ke katoda
- g) Tampak hasil pengukuran di display multimeter
- h) Tidak terdapat nilai tegangan pada display multimeter, jika terdapat nilai tertentu, maka dioda tersebut berkemungkinan sudah Rusak.

3.11 Metode *Cockcroft-Walton Tipe Fullwave*

Cockrof-Walton merupakan suatu metode untuk menyearahkan tegangan dari arus bolak-balik atau AC menjadi arus searah atau DC dengan berbagai tingkat tegangan yaitu 1, 2, 3, 4,.....n kali tegangan puncak dari tegangan AC yang masuk. Sehingga sirkuit elektronik ini dapat mengubah daya listrik AC bertegangan rendah

menjadi tegangan DC yang lebih tinggi dengan menggunakan beberapa komponen kapasitor dan dioda yang dirangkai menjadi rangkaian tertentu. Penganda tegangan *Cockcroft-walton* tipe *fullwave* yaitu untuk mengembangkan tegangan yang lebih tinggi dan untuk arus yang rendah dimana menggunakan 4 dioda sebagai penyearah gelombang penuh tipe jembatan dan disusun menjadi beberapa tingkatan. Setiap tingkatan terdapat penyearah 4 komponen dioda dan 3 komponen kapasitor yang terpasang seri.

Secara umum rangkaian *Cockcroft-Walton* dapat membangkitkan tegangan dengan persamaan berikut:

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in} \quad (3.9)$$

Tegangan jatuh dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{n^2}{2} + 1 \right) \quad (3.10)$$

Tegangan riak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n \quad (3.11)$$

Keterangan :

V_{out} : Tegangan yang dapat dibangkitkan (V)

ΔV : Tegangan jatuh (V)

δV : Tegangan riak (V)

I : Arus beban (A)

C : Kapasitansi kapasitor (F)

f : Frekuensi AC (Hz)

n : Jumlah tingkatan

Nilai tegangan jatuh (ΔV) dan tegangan riak (δV) berpengaruh pada nilai tegangan keluaran rangkaian *Cockcroft-Walton*. Tegangan jatuh (ΔV) merupakan besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik yang mengalir pada suatu kabel penghantar atau rangkaian dari nilai tegangan normal. Apabila arus listrik mengalir di dalam suatu sirkuit kelistrikan, dan pada sirkuit tersebut terdapat tahanan listrik di dalamnya maka hal tersebut akan dapat menyebabkan terjadinya penurunan tegangan.

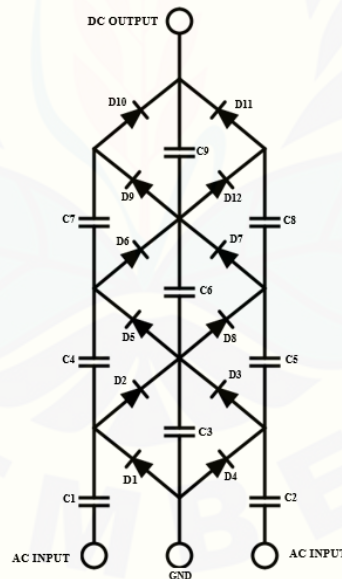
Tujuan dari penyearahan adalah memperoleh arus searah. Dalam penyearah, kita tidak memperoleh arus searah murni melainkan arus searah yang berubah secara periodik, jadi arus searah ini mengandung komponen arus bolak-balik. Variasi tegangan ini disebut riak tegangan. Riak tegangan pada penyearah gelombang penuh lebih kecil dari riak tegangan pada penyearah setengah gelombang. Untuk lebih memperkecil riak tegangan ini digunakan filter yang bertugas untuk meloloskan komponen searah dan mencegah komponen bolak-balik. Semakin kecil ripple, semakin baik pemfilterannya

Dengan mempertimbangkan rugi-rugi yang dihasilkan oleh tegangan jatuh dan tegangan riak, maka akan dihasilkan persamaan sebagai berikut ini:

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{eff} - \Delta V - \delta V \quad (3.12)$$

Maka V_{out} akan bernilai seperti persamaan berikut:

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in} - \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{n^2}{2} + 1 \right) - \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n \quad (3.13)$$



Gambar 3.7 Voltage Multiplier Cockcroft-Walton Tipe Fullwave

Rangkaian *voltage multiplier* ini dirancang untuk memberikan tegangan *output* DC positif. Tetapi mereka juga dapat dirancang untuk memberikan *output* tegangan negatif dengan hanya membalik polaritas semua dioda dan kapasitor pelipat untuk menghasilkan pengganda tegangan negatif.

Saat setengah siklus negatif dari gelombang *input* sinusoidal, maka D2 dan D4 dalam kondisi *reverse* bias dan D1 dan D3 dalam kondisi *forward* bias sehingga dapat melakukan pengisian kapasitor C1 dan C2 ke nilai puncak tegangan *input* karena tidak ada jalur balik untuk melepaskan tegangan. Sehingga terisi penuh terhubung secara seri dengan *supply* tegangan. Selama setengah siklus positif D1 dan D3 dalam kondisi *reverse* bias dan D2 dan dan D4 *forward* bias sehingga menghalangi pemakaian C1 dan C2 dan pengisian C3. Tetapi karena ada tegangan melintasi C1 dan C2 sudah sama dengan tegangan *input* puncak sehingga kapasitor C3 mengisi tiga kali lipat nilai tegangan puncak sinyal *input*.

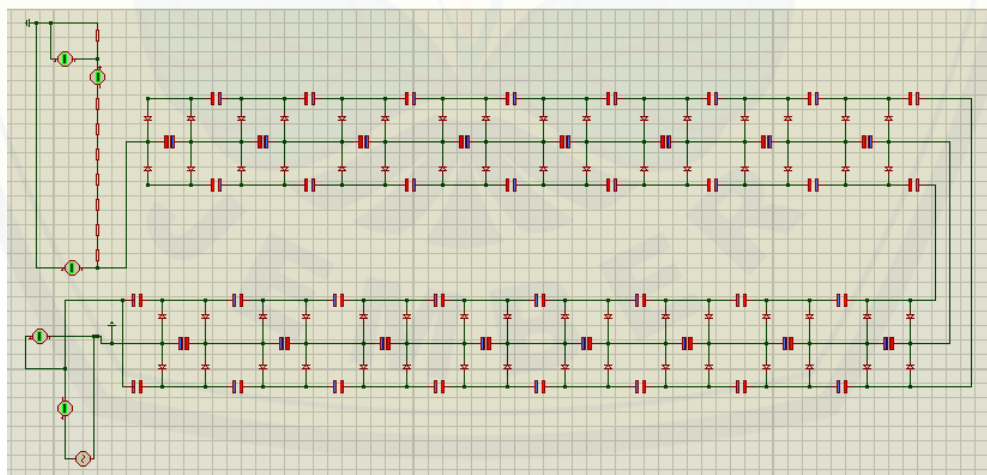
Sehingga V (puncak positif) + V (puncak negatif), sehingga pada setengah siklus negatif, D1 mengisi C1 dan C2 ke tegangan puncak dan pada setengah siklus positif D2 menambahkan tegangan puncak AC dari C1 dan C2 dan mengirim semuanya ke C3. Tegangan melintasi C2 mengalir untuk tingkat berikutnya. Tegangan melintasi kapasitor C3 dapat dihitung dengan rumus $V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$. Dengan kata lain, C3 akan diisi oleh tegangan sebesar $V_{in} + VC1 + VC2$, dimana tegangan *output* ganda ini tidak instan tetapi meningkat perlahan pada setiap siklus *input*, akhirnya menetap ke $2n\sqrt{2} V_{in}$. Namun, *voltage multiplier* ini dapat meningkatkan tegangan, mereka hanya dapat me-*supply* arus rendah ke beban resistansi tinggi karena tegangan *output* yang dihasilkan dengan cepat turun saat arus beban meningkat. Pada alat *voltage multiplier* dapat menggandakan tegangan berkali-kali lipat karena dalam rangkaian tidak ada tegangan yang mengalir keluar dan semua jalurnya positif dan negatif hanya berasal dari sumber saja

Prinsip pengukuran *voltage multiplier* sama dengan ohm meter atau megger, yaitu memberikan tegangan dari alat ukur ke isolasi peralatan, dan karena nilai *resistance* isolasi yang baik ini cukup tinggi maka diperlukan tegangan yang cukup tinggi pula agar arus dapat mengalir. Tegangan pengukuran yang digunakan tergantung pada tegangan kerja dari alat yang akan diukur. Secara umum bahan isolasi yang digunakan sebagai pelindung dalam saluran listrik atau sebagai pengisolir bagian satu dengan bagian lainnya harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan. Harga tahanan isolasi antara dua saluran kawat pada peralatan listrik ditetapkan paling sedikit adalah 1000 x harga tegangan kerjanya. Apabila

hasil pengukuran nilai lebih rendah dari syarat minimum yang sudah ditentukan, maka saluran/kawat tersebut kurang baik dan tidak dibenarkan kalau digunakan. Waktu melakukan pengukuran tahanan isolasi gunakan tegangan arus searah (DC), hal ini dimaksudkan untuk dapat mengalirkan arus yang cukup besar dalam tahanan isolasi. Di samping untuk menentukan besarnya tahanan isolasi, nilai tegangan ukur yang tinggi juga untuk menentukan kekuatan bahan isolasi dari saluran yang akan digunakan. Walaupun bahan-bahan isolasi yang digunakan cukup baik dan mempunyai tahanan isolasi yang tinggi, tetapi masih ada tempat-tempat yang lemah lapisan isolasinya, maka perlu dilakukan pengukuran.

3.12 Perancangan *Software*

Pada tahapan ini akan membahas tentang rancangan skematik rangkaian *voltage multiplier cockcrof-walton* dengan simulasi yaitu berupa *software proteus* yang akan dibuat terlebih dahulu yang mana rangkaian alat *voltage multiplier cockcrof-walton* akan menyesuaikan pada rangkaian yang ada pada *software proteus*. Berikut ini gambar skematik rangkaian *voltage multiplier cockcrof-walton* pada *software proteus*:



Gambar 3.8 Skematik Rangkaian *Voltage Multiplier Cockcrof-Walton* 16 Tingkat

Pada gambar 3.6 diketahui bahwa skema rangkaian *voltage multiplier cockcrof-walton* menggunakan kapasitor berjumlah 48 komponen dengan spesifikasi kapasitas yaitu $100 \mu f$ dan tegangan 450 V serta menggunakan dioda

berjumlah 64 komponen dengan tipe 1N5408 dengan tegangan kerja sebesar 1000 V dan tahan arus sebesar 3 A yang dirangkai berjumlah 16 tingkatan. Masing masing tingkatan terdapat 3 kapasitor dan 4 dioda. Selain itu rangkaian pembagi tegangannya pada sisi *output* berupa 2 ukuran resistor yang diseri dengan spesifikasi 3,9 M Ω berjumlah 7 komponen dan 100 k Ω berjumlah 1 komponen yang semuanya terpasang seri. Pada gambar simulasi dari sumber langsung ke rangkaian, tetapi kenyataanya dari sumber terhubung ke *voltage* regulator agar ada variasi tegangan *input* dengan spesifikasi dari *voltage* regulator sendiri yaitu dayanya 5000 Watt dan arusnya 20A.

Setelah didapatkan hasil rancangan yang telah dibuat pada *software* proteus berhasil dijalankan, Maka selanjutnya tahap untuk membuat rangkaian *Cockcroft-walton* pada papan PCB

3.13 Perancangan *Hardware*

Perancangan hardware ini berkaitan dengan bentuk alat *voltage multiplier*. Setelah semua komponen yang akan dipasang dalam keadaan bagus setelah melalui pengecekan dan pengukuran, selanjutnya yaitu mulai memasang beberapa dioda dan kapasitor per satu tingkat dahulu lalu dilakukan pengujian dengan inject tegangan skala kecil sementara untuk mengetahui apakah tegangan luaran sesuai, jika sesuai dipastikan komponen dioda dan kapasitor yang terpasang itu kondisi bagus. Selanjutnya pemasangan beberapa dioda dan kapasitor pada tingkat kedua, lalu dilakukan pengujian apakah tegangan luaran masih sesuai dan begitu seterusnya sampai tingkat ke 16. Dilakukan pemasangan bertahap mulai dari tingkat 1 sampai tingkat 16 agar dapat dengan mudah mengetahui salah satu komponen ada yang mengalami kerusakan atau tidak, jika tidak maka tegangan luaran benar sesuai dengan simulasi dan perhitungan. Misal pada pengujian tingkat ke 7 tegangan luaran tidak sesuai dipastikan maka tinggal analisa kerusakan komponen yang terpasang pada tingkat ke 7 saja dan tinggal diganti komponen yang kondisi bagus entah itu rusak dari dioda atau kapasitor, sehingga lebih mudah tanpa harus mengecek komponen satu persatu tiap tingkat.

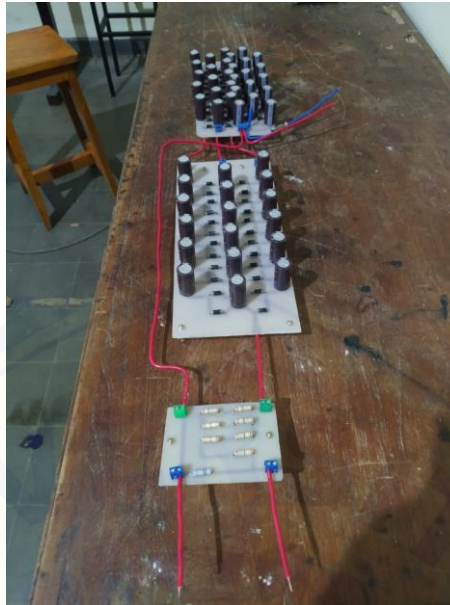
Berbeda halnya dengan pemasangan langsung 16 tingkat jikalau diuji tegangan luaran tidak sesuai bisa dipastikan ada komponen yang rusak atau meledak entah itu satu atau banyak karena tidak tahu komponen mana yang mengalami kerusakan, dan mengeceknya pun komponen harus dilepas dari PCB sehingga membutuhkan waktu yang lama karena komponen yang sudah terpasang semua sangat banyak. Karena di rangkaian *voltage multiplier* ini jika ada salah satu komponen itu rusak maka akan mempengaruhi komponen lainnya sehingga tegangan luaran tidak sesuai.

Selain itu untuk pemasangannya jarak antar komponen-komponen yaitu kapasitor dan dioda di PCB tidak mempengaruhi penyebab adanya *short circuit*, tetapi didalam rangkaian ini yang terpenting yaitu jalur positif dan jalur negatif pada *output* rangkaian harus ada jarak karena tegangan maksimal yang dihasilkan ada di sisi *output* dan supaya tidak short antara jalur positif dan negatif karena adanya percikan oleh tegangan tinggi

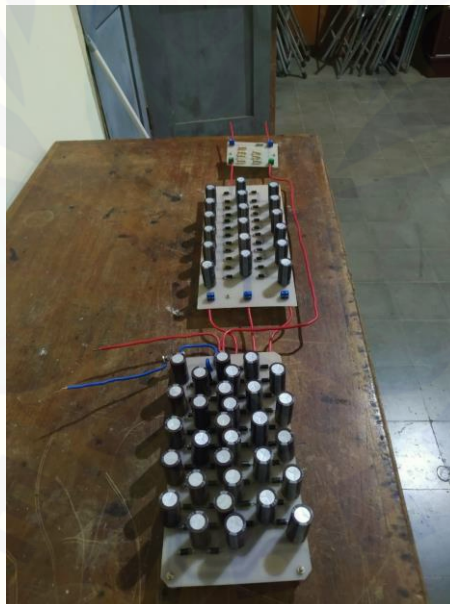
Setelah seluruh komponen kapasitor dan dioda terpasang pada PCB, lalu pemasangan komponen resistor sebagai pembagi tegangan pada *output* rangkaian dimana 7 resistor ukuran 3,9 M Ω 3 watt secara seri ditempatkan terlebih dahulu di jalur *output* positif rangkaian kemudian diseri dengan 1 resistor 100 k Ω yang mendapat jalur positif dan negatif rangkaian. Setelah itu pemasangan *fuse* pada *input* sisi positif rangkaian. Jadi *input* jalur positif menuju *fuse* dahulu lalu ke rangkaian sedangkan jalur negatif langsung ke rangkaian. Berikut gambar dari alat *voltage multiplier Cockcroft Walton* 16 tingkat:



Gambar 3.9 Alat *Voltage Multiplier Cockcrof-Walton* 16 Tingkat Tampak Samping



Gambar 3.10 Alat *Voltage Multiplier Cockcrof-Walton* 16 Tingkat Tampak Depan



Gambar 3.11 Alat *Voltage Multiplier Cockcrof-Walton* 16 Tingkat Tampak Belakang

3.14 Charge Dan Discharge Rangkaian Voltage Multiplier

Kapasitor merupakan komponen pasif yang dapat menyimpan energi listrik sesaat kemudian melepaskannya. Sifat kapasitor inilah yang menghasilkan suatu tegangan transien atau tegangan peralihan bila digunakan sumber arus searah.

Pada saat pengisian atau *charging*, tegangan kapasitor akan naik. Sementara tegangan kapasitor naik maka arus yang mengalir juga semakin lama akan semakin menurun. Kenaikan tegangan ini didapat berdasarkan rumus yaitu :

$$V_C(t) = V_{in} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (3.14)$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat diketahui bahwa sebenarnya kapasitor tidak pernah benar benar penuh dan akan selamanya mengisi. Oleh karena itu kapasitor yang telah penuh jika waktu pengisiannya adalah 5 *time constant* atau 5RC. Pada saat 5RC tegangan yang ada pada kapasitor kurang lebih bernilai 99% dari tegangan *input* yang diberikan.

Pada saat pengosongan atau *discharging* tegangan kapasitor akan turun. Pada saat kapasitor mengalami *discharging* arus yang mengalir dari kapasitor semakin menurun dan bersamaan dengan penurunan tegangan. Penurunan tegangan ini dirumuskan dengan rumus yaitu:

$$V_C(t) = V_C \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3.15)$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat diketahui bahwa kapasitor tidak akan benar-benar habis tegangannya saat *discharging*. Kapasitor yang telah terisi penuh akan kosong apabila waktu berlalu sudah sebesar 5 *time constant* atau 5RC. Pada saat waktu berlalu sudah sebesar 5RC tegangan yang tersisa kurang lebih yaitu sebesar 1% dari tegangan awal kapasitor

Setelah melakukan pengujian yaitu dengan memberi tegangan masukan ke alat menyebabkan kapasitor-kapasitor tersebut didalam rangkaian masih terdapat tegangan yang masih tersimpan. Sebenarnya kapasitor dapat melepas muatan dengan sendirinya saat tidak ada *input* tegangan ke kapasitor tetapi memerlukan cukup waktu apalagi dengan didalam rangkaian *voltage multiplier* terdapat kapasitor yang banyak sehingga memerlukan waktu yang lama. Cara untuk menghilangkan tegangan di dalam kapasitor tersebut atau *discharge* secara cepat

yaitu dengan pemberian beban atau resistor yang dihubungkan ke *output* alat supaya tegangan dan daya dari alat tersebut masuk ke beban. Spesifikasi resistor yang digunakan untuk discharge rangkaian yaitu resistor kapur 500 Ω 10 Watt.

3.15 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menganalisa performa dan tingkat keberhasilan dari alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton*, apakah menghasilkan tegangan luaran sesuai dengan hasil dari perhitungan simulasi dan berapakah efisiensi dari alat bila diberi variasi beban. Pengambilan data yang akan diambil akan ditampilkan pada tabel berikut berikut :

Tabel 3.2 Data Pengujian Berdasarkan Perhitungan *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton*

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)	Arus <i>Ouput</i> (A)

Tabel 3.3 Data Pengujian Tegangan Riak Dan Tegangan Jatuh *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton*

No	Tingkatan ke-	Tegangan Riak (V)	Tegangan Jatuh (V)

Tabel 3.4 Data Pengujian Berdasarkan Simulasi *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton*

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> (V)	Arus <i>Ouput</i> (A)

Tabel 3.5 Data Pengujian Alat *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton*

No	Tegangan <i>Input</i> (V)	Tegangan <i>Output</i> Terukur (V)	Tegangan <i>Output</i> Sebenarnya (V)	Arus <i>Ouput</i> (A)

Tabel 3.6 Data Pengujian *Error* Persen Tegangan Alat *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton* Terhadap Perhitungan Dan Simulasi

NO	Tegangan <i>Output</i> Alat (V)	Tegangan <i>Output</i> Perhitungan (V)	Tegangan <i>Output</i> Simulasi (V)	<i>Error</i> Persen Terhadap Perhitungan (%)	<i>Error</i> Persen Terhadap Simulasi (%)
Rata-Rata <i>Error</i> (%)					

Tabel 3.7 Data Pengujian *Error* Persen Tegangan Setiap Tingkatan Alat *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton* Terhadap Perhitungan

NO	Tegangan <i>Input</i> (V _{AC})	Jumlah Tingkatan	Tegangan <i>Output</i> Perhitungan (V _{DC})	Tegangan <i>Output</i> Alat (V _{DC})	<i>Error</i> Persen (%)

Tabel 3.8 Data Pengujian Alat *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton* Dengan Beban 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω, 1K Ω, 10K Ω, 100K Ω, dan 1M Ω

NO	Tegangan <i>Input</i> (V _{AC})	Arus <i>Input</i> (A)	Tegangan <i>Output</i> (V _{DC})	Arus <i>Ouput</i> (A)	Daya <i>Input</i> (Watt)	Daya <i>Output</i> (Watt)	η (%)
Rata-rata efisiensi (%)							

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Voltage Multiplier* DC dengan Metode *Cockcroft-Walton* Tipe *Fullwave*” didapatkan kesimpulan:

1. Tegangan *output* alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dipengaruhi oleh besarnya tegangan *input*, dimana dengan 16 tingkat ini memiliki tegangan *output* besar yang merupakan hasil sekitar 30 kalinya tegangan *input*, sehingga dapat menaikkan tegangan sangat drastis. Jadi tegangan *input* berbanding lurus dengan tegangan *output*.
2. Hasil keluaran tegangan dari perhitungan dan simulasi rata-rata hampir sama, dengan *input* tegangan maksimal 240 V menghasilkan tegangan *output* sekitar 10 kV dan memiliki selisih cukup jauh terhadap keluaran tegangan dari alat yang hanya menghasilkan tegangan sekitar 7 kV dengan *input* tegangan yang sama.
3. Pada tingkat 16 hasil tegangan riak dan tegangan jatuh yang dihasilkan sangat kecil yaitu berturut-turut 0,00062 mA dan 0,05 mA karena keluaran arusnya sangat kecil disebabkan tidak ada pembebanan, dimana arusnya hanya 0,25 mA
4. *Error* persen tegangan *output* alat terhadap tegangan *output* perhitungan dan simulasi cukup besar yaitu rata-rata sebesar 31,9% dan 31,3%. Selain itu tegangan semakin besar cenderung *error* persen alat terhadap perhitungan dan simulasi sedikit naik.
5. Semakin besar beban maka selisih daya *input* dan daya *output* semakin kecil sehingga efisiensi semakin baik dan sebaliknya. Dikarenakan dengan beban yang besar, tegangan *output* semakin naik drastis sehingga sangat mempengaruhi besarnya daya *output* semakin meningkat mendekati daya *input* yang semakin menurun di karenakan arusnya semakin kecil sehingga efisiensinya semakin mendekati optimal. Terlihat pada tabel 4.11 dengan beban tertinggi 1M Ω hasil rata-rata efisiensi yaitu 47,12% yang merupakan nilai paling tinggi diantara efisiensi dengan beban lainnya yang lebih kecil.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis memberikan saran untuk bisa mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berikut saran yang dapat disampaikan :

1. Alat *voltage multiplier Cockcroft-Walton* ini dapat ditingkatkan lebih dari 16 tingkat, sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi sebagaimana sesuai dengan simulasi yang sudah dibuat. Dengan demikian tegangan yang relatif tinggi tersebut dapat digunakan untuk pembangkit tegangan impuls yaitu sampai udara tembus, untuk selanjutnya dipakai untuk pengujian.
2. *Voltage multiplier Cockcroft-Walton* ini dapat diaplikasikan pada beban lainnya selain beban resistif.

DAFTAR PUSTAKA

- ADAM, M. I. 2018. RANCANG bangun perangkat nyamuk menggunakan metode cockroft-walton berbasis tegangan tinggi. (2)
- Nofita Sari Br Ginting, Abdul Syakur, dan A. N. 1970. PERANCANGAN pembangkit tegangan tinggi dc full wave walton cockroft dan aplikasinya sebagai pengendap debu secara elektret
- Nofita Sari Br Ginting, Abdul Syakur, dan A. N. 2016. PERANCANGAN pembangkit tegangan tinggi dc full wave walton. (January)
- Nugroho, W. J. 2015. DESAIN peralatan penguji isolasi belitan motor induksi menggunakan gelombang surja dan metode error area ratio
- Safala, M. F. 2016. Penstabilan tegangan sekunder pada transformator daya 150/20 kv akibat jatuh tegangan
- Ahmad, Jayadin. 2007. ELDAS, Ilmu Elektronika. Jakarta.
- Toudeskhi, Arash, dkk. 2014. Devolupment of a New Cascade Voltage-Doubler for Voltage Multiplication. Hindawi. Serdang: University Putra Malaysia, Malaysia.
- Naidu, M, *High Voltage Engineering*, McGraw Hill Professional, 1999.
- Waluyo, 'Rancang Prototipe Miniatur Pembangkit Tegangan Tinggi Impulse Dengan Parameter Variable Dan Pemanfaatan Tegangan Keluaran Pengali Cockroft-Walton Sebagai Sarana Pengujian Isolasi' Laporan Kemajuan Penelitian, Lembaga Penelitian Dan Pemberdayaan Masyarakat , Institute Teknologi Nasional, Bandung 2014.
- I. M. Y. Negara, Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasinya, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- A. Arismunandar, Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2001.
- B. L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- M. Ruzbehani, "A Comparative Study of Symmetrical Cockcroft-Walton Voltage Multipliers," p. 10, 2017.

- W. L. Araujo and T. P. R. Campos, "Design of A High DC Voltage Generator and D-T Fusor Based on Particle Accelerator," 2011.
- Nurlailati, "Aplikasi Tegangan Tinggi DC Sebagai Pengendap Debu Elektrostatis," Tek. elektro Univ. Diponegoro, 2011.
- G. Reinhold and R. Gleyvod, "Megawatt HV DC Power Supplies," IEEE, vol. 22, pp. 1289–1292, 1975.
- G. Reinhold, K. Truempy, and J. Bill, "The Symmetrical Cascade Rectifier An Accelerator Power Supply In The Megavolt And Milliampere," IEEE, pp. 288–292, 1965.
- Patel, A. P. dan Rathod Mulav. 2016. Design, Simulation and Construction of Cockroft Walton Voltage Multiplier. GRDJE. Department of Electrical Engineering S.V.I.T (VASAD).
<https://elektronika-dasar.web.id/pembagi-tegangan-voltage-divider/>
<https://teknikelektronika.com/pengertian-mcb-miniature-circuit-breaker-prinsip-kerja-mcb/>
- W.B. Pramono, D.E. Saputro, Warindi, H.S. Utama. RANCANG BANGUN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI DC 15 KV DENGAN METODE COCKROFT-WALTON. Teknik Elektro FTI UII Yogyakarta, 2016
- J.D. Nurmayady, Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Direct Current Pada Sistem Electrospinning. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir. BATAN. 2012.
- R.A. Ardiansah. Rancang Bangun Sistem Pembangkitan Tegangan Tinggi Dc Sebagai Penghasil Plasma Pijar Korona Untuk Mereduksi Gas Co Pada Gas Buang Motor Bensin (Hardware dan Software). Skripsi. Surabaya: PENS ITS. 2012.
- A. Raditya, A. Warsito, A. Syakur. Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Dc Full Wave Walton Cockcroft dan Aplikasinya Sebagai Pengendap Debu Secara Elektret. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro. 2014.
- T. Bonggas, Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Edisi Kedua. Jakarta. Erlangga. 2012.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Pembangkit Tegangan Cockcroft-Walton

1. Tegangan *input* 20 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 20$$

$$V_{out} = 905 \text{ V}$$

2. Tegangan *input* 40 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 40$$

$$V_{out} = 1.810,1 \text{ V}$$

3. Tegangan *input* 60 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 60$$

$$V_{out} = 2.715,2 \text{ V}$$

4. Tegangan *input* 80 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 80$$

$$V_{out} = 3.620,3 \text{ V}$$

5. Tegangan *input* 100 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 100$$

$$V_{out} = 4.525,4 \text{ V}$$

6. Tegangan *input* 120 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 120$$

$$V_{out} = 5.430 \text{ V}$$

7. Tegangan *input* 140 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 140$$

$$V_{out} = 6.335,6 \text{ V}$$

8. Tegangan *input* 160 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 160$$

$$V_{out} = 7.240,7 \text{ V}$$

9. Tegangan *input* 180 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 180$$

$$V_{out} = 8145,8 \text{ V}$$

10. Tegangan *input* 200 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 200$$

$$V_{out} = 9.050,9 \text{ V}$$

11. Tegangan *input* 220 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 220$$

$$V_{out} = 9.956 \text{ V}$$

12. Tegangan *input* 240 V

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 10.861 \text{ V}$$

B. Perhitungan Tegangan Jatuh

1. Tingkatan ke-2

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 2^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 2^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,002}{15000}$$

$$\Delta V = 0,0000001 \text{ V} = 0,0001 \text{ mV}$$

2. Tingkatan ke-4

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 4^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 4^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,01}{15000}$$

$$\Delta V = 0,0000009 \text{ V} = 0,0009 \text{ mV}$$

3. Tingkatan ke-6

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 6^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 6^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,04}{15000}$$

$$\Delta V = 0,000002 \text{ V} = 0,002 \text{ mV}$$

4. Tingkatan ke-8

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 8^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 8^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,10}{15000}$$

$$\Delta V = 0,000006 V = 0,006 mV$$

5. Tingkatan ke-10

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 10^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 10^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,19}{15000}$$

$$\Delta V = 0,00001 V = 0,01 mV$$

6. Tingkatan ke-12

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 12^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 12^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,34}{15000}$$

$$\Delta V = 0,00002 V = 0,02 mV$$

7. Tingkatan ke-14

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 14^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 14^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,54}{15000}$$

$$\Delta V = 0,00003 \text{ V} = 0,03 \text{ mV}$$

8. Tingkatan ke-16

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{n}{3} \left(\frac{2 + n^2}{2} \right)$$

$$V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 16^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,0039}{5000} \times \frac{2}{3} \left(\frac{2 + 16^2}{2} \right)$$

$$\Delta V = \frac{0,804}{15000}$$

$$\Delta V = 0,00005 \text{ V} = 0,05 \text{ mV}$$

C. Perhitungan Tegangan Riak

1. Tingkatan ke-2

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 2$$

$$\delta V = \frac{0,00078}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000015 \text{ V} = 0,00015 \text{ mV}$$

2. Tingkatan ke-4

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 4$$

$$\delta V = \frac{0,0015}{5000}$$

$$\delta V = 0,000003 \text{ V} = 0,0003 \text{ mV}$$

3. Tingkatan ke-6

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 6$$

$$\delta V = \frac{0,0023}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000046 \text{ V} = 0,00046 \text{ mV}$$

4. Tingkatan ke-8

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 8$$

$$\delta V = \frac{0,0031}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000062 \text{ V} = 0,00062 \text{ mV}$$

5. Tingkatan ke-10

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 10$$

$$\delta V = \frac{0,0039}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000078 \text{ V} = 0,00078 \text{ mV}$$

6. Tingkatan ke-12

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 12$$

$$\delta V = \frac{0,0046}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000092 \text{ V} = 0,00092 \text{ mV}$$

7. Tingkatan ke-14

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 14$$

$$\delta V = \frac{0,0054}{5000}$$

$$\delta V = 0,00000010 \text{ V} = 0,00010 \text{ mV}$$

8. Tingkatan ke-16

$$\delta V = \frac{I}{fC} \times \frac{1}{2} n$$

$$\delta V = \frac{0,00039}{50 \times 100} \times \frac{1}{2} 16$$

$$\delta V = \frac{0,0062}{5000}$$

$$\delta V = 0,0000012 \text{ V} = 0,0012 \text{ mV}$$

D. Perhitungan Error Persen Alat Terhadap Perhitungan

1. $Error (\%) = \left| \frac{Ht-Hp}{Ht} \right| \times 100\%$

$$Error (\%) = \left| \frac{905-657,6}{905} \right| \times 100\%$$

$$Error (\%) = 27,3\%$$

2. $Error (\%) = \left| \frac{Ht-Hp}{Ht} \right| \times 100\%$

$$Error (\%) = \left| \frac{1.810,1-1.315,2}{1.810,1} \right| \times 100\%$$

$$Error (\%) = 27,3\%$$

3. $Error (\%) = \left| \frac{Ht-Hp}{Ht} \right| \times 100\%$

$$Error (\%) = \left| \frac{2.715,2-1.945,4}{2.715,2} \right| \times 100\%$$

$$Error (\%) = 28,3\%$$

4. $Error (\%) = \left| \frac{Ht-Hp}{Ht} \right| \times 100\%$

$$Error (\%) = \left| \frac{3.620,3-2.548,2}{3.620,3} \right| \times 100\%$$

$$Error (\%) = 29,6\%$$

5. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{4.525,4 - 3.096,2}{4.525,4} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 31,5\%$
6. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{5.430 - 3.644,2}{5.430} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 32,8\%$
7. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{6.335,6 - 4.301,8}{6.335,6} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 32,1\%$
8. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{7.240,7 - 4.795}{7.240,7} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 33,7\%$
9. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{8.145,8 - 5.425,2}{8.145,8} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 33,3\%$
10. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{9.050,9 - 5.781,4}{9.050,9} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 36,1\%$
11. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{9.956 - 6.384,2}{9.956} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 35,8\%$
12. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{10.861,1 - 7.014,4}{10.861,1} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 35,4\%$

E. Perhitungan Error Persen Alat Terhadap Simulasi

1. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{904,2 - 657,6}{904,2} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 27,2\%$
2. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{1.781 - 1.315,2}{1.781} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 26,1\%$
3. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{2.657,8 - 1.945,4}{2.657,8} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 26,8\%$
4. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{3.616,8 - 2.548,2}{3.616,8} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 29,5\%$
5. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{4.548,4 - 3.096,2}{4.548,4} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 31,9\%$
6. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{5.480 - 3.644,2}{5.480} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 33,5\%$
7. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{6.274,6 - 4.301,8}{6.274,6} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 31,4\%$
8. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{7.206,2 - 4.795}{7.206,2} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 33,4\%$

$$9. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{H_t - H_p}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{7.973,4 - 5.425,2}{7.973,4} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 31,9\%$$

$$10. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{H_t - H_p}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{9.096,8 - 5.781,4}{9.096,8} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 36,4\%$$

$$11. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{H_t - H_p}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{9.699,6 - 6.384,2}{9.699,6} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 34,1\%$$

$$12. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{H_t - H_p}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{10.603,8 - 7014,4}{10.603,8} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 33,8\%$$

F. Perhitungan Tiap Tingkat Pembangkit Tegangan Cockcroft-Walton Dengan Tegangan Input 240 V

1. Tingkat ke-1

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 1 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 678,82 \text{ V}$$

2. Tingkat ke-2

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 2 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 1.357,63 \text{ V}$$

3. Tingkat ke-3

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 3 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 2.036,46 \text{ V}$$

4. Tingkat ke-4

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 4 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 2.715,29 V$$

5. Tingkat ke-5

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 5 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 3.394,11 V$$

6. Tingkat ke-6

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 6 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 4.072,93 V$$

7. Tingkat ke-7

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 7 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 4.751,75 V$$

8. Tingkat ke-8

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 8 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 5.430,58 V$$

9. Tingkat ke-9

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 9 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 6.109,40 V$$

10. Tingkat ke-10

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 10 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 6.788,22 V$$

11. Tingkat ke-11

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 11 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 7.467,04 V$$

12. Tingkat ke-12

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 12 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 8.145,87 V$$

13. Tingkat ke-13

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 13 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 8.824,69 V$$

14. Tingkat ke-14

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 14 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 9.503,51 V$$

15. Tingkat ke-15

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 15 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 10.182,33 V$$

16. Tingkat ke-16

$$V_{out} = 2n\sqrt{2} V_{in}$$

$$V_{out} = 2 \times 16 \times \sqrt{2} \times 240$$

$$V_{out} = 10.861,16 V$$

G. Perhitungan *Error* Persen Tegangan Setiap Tingkatan Alat *Voltage Multiplier Cockcroft-Walton* Terhadap Perhitungan

$$1. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{678,8 - 676,7}{678,8} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 0,3\%$$

$$2. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{1.357,6 - 1.349,4}{1.357,6} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 0,6\%$$

$$3. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{2.036,4 - 2.012,02}{2.036,4} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 1,2\%$$

$$4. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{2.715,2 - 2.658,2}{2.715,2} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 2,1\%$$

$$5. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{3.394,1 - 3.282,1}{3.394,1} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 3,3\%$$

$$6. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{4.072,9 - 3.877,4}{4.072,9} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 4,8\%$$

$$7. \text{ Error (\%)} = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{4.751,7 - 4.438,1}{4.751,7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error (\%)} = 6,6\%$$

8. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{5.430,5 - 4.958,1}{5.430,5} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 8,7\%$
9. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{6.109,4 - 5.431,2}{6.109,4} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 11,1\%$
10. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{6.788,2 - 5.851,4}{6.788,2} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 13,8\%$
11. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{7.467,04 - 6.220,02}{7.467,04} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 16,7\%$
12. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{8.145,8 - 6.524,8}{8.145,8} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 19,9\%$
13. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{8.824,6 - 676,7}{8.824,6} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 23,4\%$
14. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{9.503,5 - 6.918,5}{9.503,5} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 27,2\%$
15. $Error (\%) = \left| \frac{Ht - Hp}{Ht} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = \left| \frac{10.182,3 - 6.995,2}{10.182,3} \right| \times 100\%$
 $Error (\%) = 31,3\%$

$$16. \text{ Error } (\%) = \left| \frac{H_t - H_p}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error } (\%) = \left| \frac{10.861,1 - 7,016,4}{10.861,1} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error } (\%) = 35,4\%$$

H. Perhitungan Nilai Daya Input, Daya Output dan Efisiensi Pada Beban $1\text{M}\Omega$

1. Tegangan *input* 20 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 20\text{ V} \times 0,31\text{ A}$$

$$P_{IN} = 0,62\text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 548,63\text{ V} \times 0,0005\text{ A}$$

$$P_{OUT} = 0,30\text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{0,30\text{ W}}{0,62\text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 48,54\%$$

2. Tegangan *input* 40 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 240\text{ V} \times 0,61\text{ A}$$

$$P_{IN} = 2,44\text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 1084,72\text{ V} \times 0,0010\text{ A}$$

$$P_{OUT} = 1,17\text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{1,17\text{ W}}{2,44\text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 48,22\%$$

3. Tegangan *input* 60 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 60 \text{ V} \times 0,092 \text{ A}$$

$$P_{IN} = 5,52 \text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 1607,85 \text{ V} \times 0,0016 \text{ A}$$

$$P_{OUT} = 2,58 \text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{2,58 \text{ W}}{5,52 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 46,73\%$$

4. Tegangan *input* 80 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 80 \text{ V} \times 0,12 \text{ A}$$

$$P_{IN} = 9,6 \text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 2153,66 \text{ V} \times 0,0021 \text{ A}$$

$$P_{OUT} = 4,63 \text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{4,63 \text{ W}}{9,6 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 48,31\%$$

5. Tegangan *input* 100 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 100 \text{ V} \times 0,14 \text{ A}$$

$$P_{IN} = 14 \text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 2615,33 \text{ V} \times 0,0026 \text{ A}$$

$$P_{OUT} = 6,83 \text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{6,83 W}{14 W} \times 100\%$
 $\eta = 48,85\%$

6. Tegangan *input* 120 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
 $P_{IN} = 120 V \times 0,18 A$
 $P_{IN} = 21,6 W$
- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 3183,88 V \times 0,0031 A$
 $P_{OUT} = 10,13 W$
- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{10,13 W}{21,6 W} \times 100\%$
 $\eta = 46,28\%$

7. Tegangan *input* 140 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
 $P_{IN} = 140 V \times 0,21 A$
 $P_{IN} = 29,4 W$
- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 3713,69 V \times 0,0037 A$
 $P_{OUT} = 13,79 W$
- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{13,79 W}{29,4 W} \times 100\%$
 $\eta = 46,91\%$

8. Tegangan *input* 160 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
 $P_{IN} = 160 V \times 0,24 A$
 $P_{IN} = 38,4 W$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 4230,01 \text{ V} \times 0,0042 \text{ A}$
 $P_{OUT} = 17,89 \text{ W}$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{17,89 \text{ W}}{38,4 \text{ W}} \times 100\%$
 $\eta = 46,59\%$

9. Tegangan *input* 180 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
 $P_{IN} = 180 \text{ V} \times 0,27 \text{ A}$
 $P_{IN} = 48,6 \text{ W}$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 4730,33 \text{ V} \times 0,0047 \text{ A}$
 $P_{OUT} = 22,37 \text{ W}$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{22,37 \text{ W}}{48,6 \text{ W}} \times 100\%$
 $\eta = 46,04\%$

10. Tegangan *input* 200 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$
 $P_{IN} = 200 \text{ V} \times 0,30 \text{ A}$
 $P_{IN} = 60 \text{ W}$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$
 $P_{OUT} = 5276,14 \text{ V} \times 0,0052 \text{ A}$
 $P_{OUT} = 27,83 \text{ W}$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{27,83 \text{ W}}{60 \text{ W}} \times 100\%$
 $\eta = 46,39\%$

11. Tegangan *input* 220 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 220 \text{ V} \times 0,33 \text{ A}$$

$$P_{IN} = 72,6 \text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 5799,21 \text{ V} \times 0,0057 \text{ A}$$

$$P_{OUT} = 33,63 \text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{33,63 \text{ W}}{72,6 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 46,32\%$$

12. Tegangan *input* 240 V

- $P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN}$

$$P_{IN} = 240 \text{ V} \times 0,36 \text{ A}$$

$$P_{IN} = 86,4 \text{ W}$$

- $P_{OUT} = V_{OUT} \times I_{OUT}$

$$P_{OUT} = 6322,27 \text{ V} \times 0,0063 \text{ A}$$

$$P_{OUT} = 39,97 \text{ W}$$

- $\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\%$

$$\eta = \frac{39,97 \text{ W}}{86,4 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 46,26\%$$

I. Dokumentasi



Gambar 1 Saat Melakukan Pengujian Alat di Laboratorium Sistem Tenaga Teknik Elektro Universitas Jember