

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tinjauan pustaka ini diambil sesuai data-data dan masukan ide secara teoritis yang kemudian dijadikan landasan utama dan referensi tersebut dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya secara ilmiah. Kegiatan dilakukan diantaranya dengan membaca buku-buku referensi, artikel, jurnal maupun sumber bacaan lainnya. Berdasarkan sumber yang digunakan dapat disimpulkan, diringkas serta dijadikan acuan dalam penelitian tugas akhir ini. Berikut adalah beberapa referensi yang digunakan dari penelitian sebelumnya.

Kebutuhan untuk energi tegangan tinggi saat ini telah banyak digunakan untuk penelitian ilmiah dan industri, juga dalam produk-produk komersial. Nitika Rani (2017) dalam jurnalnya yang berjudul “*Design and Performance Analysis of Cockcroft-Walton Voltage Multiplier (CWVM) Energy Harvesting for Low Power Applications*” memaparkan rancangan pembangkit tegangan tinggi DC menggunakan metode *Cockcroft-Walton Voltage Multiplier* 5 tingkat untuk menghasilkan keluaran tegangan tinggi DC dari *input* tegangan AC rendah atau dari tegangan DC rendah. Penelitian ini menggunakan input gelombang persegi dengan memvariasikan frekuensi untuk CWVM dan menganalisis kinerja *prototype* CWG (Rani, 2017).

NAAzmi (2016) dalam jurnalnya yang berjudul “*Design of DC High Voltage and Low Current Power Supply using Cockcroft-Walton (CW) Voltage Multiplier*” memaparkan desain rancangan *Cockcroft-Walton* yang menghasilkan tegangan keluaran 6000 Volt. Desain *Cockcroft-Walton* yang digunakan mengurangi jumlah tingkatan dari 1200 menjadi 32 tingkat tanpa menggunakan *transformator*. Dengan tidak menggunakan metode *transformator*, biaya dan ukuran untuk membuat *Cockcroft-Walton* berkurang (Azmi, 2016).

MA Razzak (2015) dalam jurnalnya yang berjudul “*Design of a Multistage 0.1/12 kV DC-DC Matrix Converter using Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Topology*” memaparkan penggunaan konverter cocok untuk aplikasi sistem

pembangkit DC *input* rendah. Tegangan masukan DC rendah dinaikkan dengan menggunakan konverter DC-DC dan dibalik kembali melalui sirkuit yang diusulkan. Tingkatan CWVM kemudian mengubah tegangan AC yang diperoleh ke tegangan keluaran DC tinggi.

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya memiliki kesamaan, yaitu semua peneliti menggunakan pembangkit tegangan tinggi DC dengan menggunakan metode *Cockcroft-Walton*. Dengan beberapa tingkatan dapat melipat gandakan tegangan masukan yang kecil menjadi tegangan keluaran yang besar. Oleh karena itu peneliti bermaksud merancang bangun pembangkit tegangan tinggi metode *Cockcroft-Walton Voltage Multiplier* dengan menggunakan pembangkit sinyal ICL8038.

2.2. Hukum Ohm

Dasar hukum fisika yang menjadi dasar bagi ilmu kelistrikan salah satunya adalah Hukum Ohm. Hukum ini ditemukan pada tahun 1827 oleh George Ohm, seorang Fisikawan Jerman yang hidup pada tahun 1787 ± 1854 (Warnes, 1994), yang menghubungkan antara beda potensial listrik, kuat arus listrik dan hambatan listrik. Hukum Ohm berbunyi: Untuk suatu konduktor logam pada temperatur konstan, perbandingan antara perbedaan potensial antara dua titik dari konduktor dengan arus listrik adalah konstan (Alonso, 2010).

Hukum Ohm berbicara mengenai hubungan antara tegangan listrik (V) dan arus listrik (I). Sebelum memahami hubungan antar kedua besaran fisika tersebut, perlu pemahaman mengenai definisi arus listrik. Arus listrik merupakan banyaknya muatan listrik yang mengalir persatuan waktu. Pergerakan muatan listrik terjadi jika terjadi beda potensial, elektron akan bergerak dari potensial rendah ke potensial tinggi. Besar arus listrik yang mengalir pada sebuah penghantar sebanding dengan beda potensial sumber (Saefullah, 2018).

Kemudahan arus listrik yang mengalir pada sebuah penghantar bergantung pada jenis penghantar. Kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus listrik disebut dengan konduktivitas, lawan dari resistivitas atau lebih dikenal dengan istilah hambatan (R). Semakin besar resistivitas sebuah penghantar, akan semakin

sulit arus listrik melewatinya. Hubungan antara beda potensial, arus listrik, dan hambatan dapat ditulis seperti persamaan (2.1)

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) dikenal dengan Hukum Ohm, dimana I merupakan arus, V merupakan tegangan, dan R merupakan hambatan (Wahyudi, 2015).

2.3 Pembangkit Tegangan Tinggi

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*).

Metode yang paling efisien dari pembangkitan tegangan tinggi DC yaitu melalui proses *rectification* (penyearah) menggunakan rangkaian *voltage multiplier*. 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* (Kuffel, 2000).

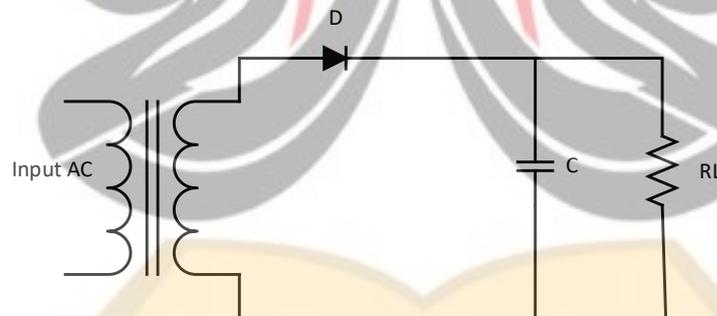
2.4 Rangkaian Penyearah

Rangkaian Penyearah untuk menghasilkan pembangkitan tegangan tinggi DC yang berasal dari sumber AC, mungkin berbentuk setengah gelombang, gelombang penuh, dan *voltage doubler*. Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasi secara *forward bias*. Tegangan yang keluar dioda akan difilter menggunakan kapasitor. Untuk gambar penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh dapat dilihat pada gambar berikut:

2.4.1 Penyearah Setengah Gelombang

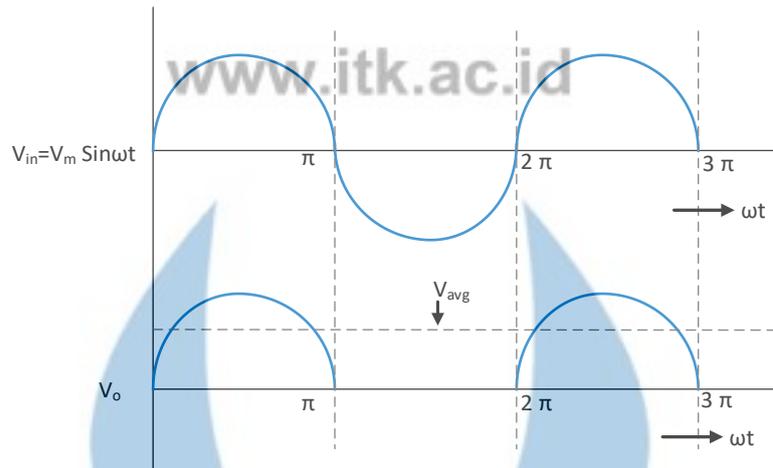
Aplikasi umum dari rangkaian penyearah adalah untuk mengubah input tegangan AC ke *output* tegangan DC. Penyearah setengah gelombang pada Gambar 2.1 memiliki beban RC yang diparalel. Tujuan dari kapasitor adalah untuk mengurangi variasi dalam tegangan keluaran, membuat lebih seperti DC. Resistansi dapat mewakili beban eksternal, dan kapasitor dapat berupa filter yang merupakan bagian dari rangkaian penyearah.

Asumsikan kapasitor pada awalnya tidak bermuatan dan memberikan rangkaian energi, dioda menjadi bias maju ketika sumber menjadi positif. Dengan dioda aktif, tegangan *output* sama dengan tegangan sumber, dan kapasitor menyimpan. Kapasitor mengisi ke sumber saat tegangan input mencapai puncak positifnya. Saat sumber berkurang setelahnya, kapasitor melepaskan ke resistor beban. Di beberapa titik, tegangan sumber menjadi kurang dari tegangan keluaran, membalikkan bias dioda dan mengisolasi beban dari sumber. Tegangan *output* adalah eksponensial yang menghilang dengan waktu konstan RC sementara dioda mati (Hart, 2011).



Gambar 2. 1 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (Hart,2011)

Berdasarkan rangkaian penyearah setengah gelombang pada Gambar 2.1, diperoleh bentuk sinyal keluaran seperti pada Gambar 2.2

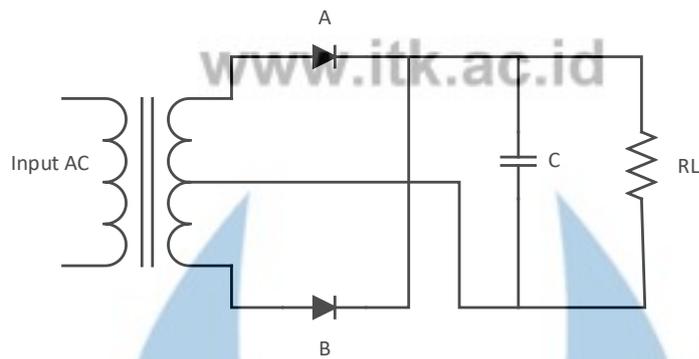


Gambar 2. 2 Sinyal keluaran penyearah setengah gelombang (Abidin, 2015)

Sinyal keluaran yang dihasilkan pada penyearah setengah gelombang sudah menghasilkan sinyal DC, yaitu semua gelombang berada di siklus positif saja. Namun, pada penyearah setengah gelombang ini memiliki jeda atau jarak antar puncaknya.

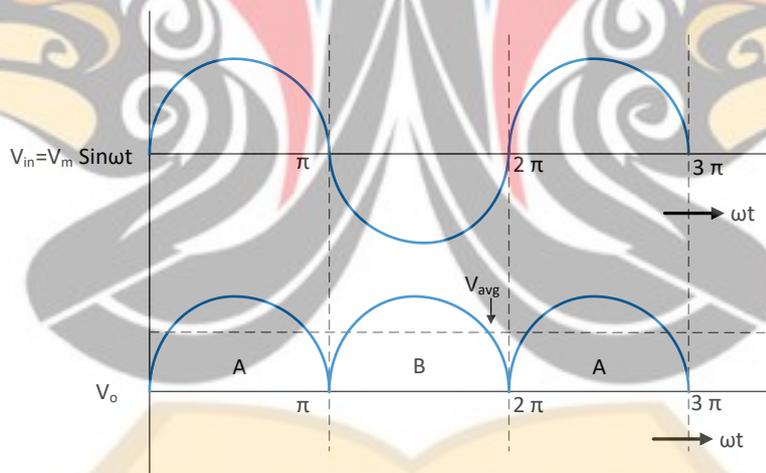
2.4.2 Penyearah Gelombang Penuh

Secara objektif penyearah gelombang penuh adalah untuk menghasilkan tegangan atau arus yang murni DC atau memiliki beberapa komponen DC yang ditentukan. Sedangkan tujuan dari penyearah gelombang penuh pada dasarnya sama dengan penyearah setengah gelombang, penyearah gelombang penuh memiliki beberapa keunggulan mendasar. Arus rata-rata dalam sumber AC adalah nol pada penyearah gelombang penuh, sehingga menghindari masalah yang terkait dengan arus sumber rata-rata bukan nol, khususnya dalam transformator. *Output* dari penyearah gelombang penuh lebih sedikit riak dari penyearah setengah-gelombang (Hart, 2011).



Gambar 2. 3Rangkaian penyearah gelombang penuh (Hart,2011)

Berdasarkan rangkaian penyearah gelombang penuh pada Gambar 2.3 saat arus listrik mengalir pada dioda A maka akan terjadi forward bias kemudian kapasitor akan mengisi dan membentuk satu puncak gelombang dan saat dioda B juga dialiri arus listrik maka kapasitor juga menyimpan dan membentuk satu puncak, diperoleh bentuk sinyal keluaran seperti pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Sinyal keluaran penyearah gelombang penuh (Abidin, 2015)

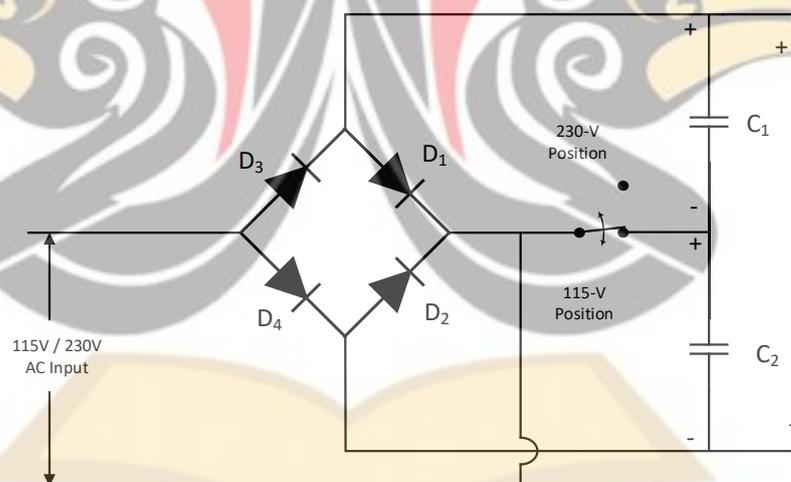
Sinyal keluaran yang dihasilkan pada penyearah gelombang penuh sudah menghasilkan sinyal DC, yaitu semua gelombang berada di siklus positif saja. Pada penyearah gelombang penuh ini tidak memiliki jeda atau jarak antar puncaknya, sehingga nilai riak yang dihasilkan lebih kecil daripada penyearah setengah gelombang.

2.4.3 Penyearah Voltage Doubler

Dalam banyak aplikasi, besarnya tegangan saluran input mungkin tidak cukup untuk memenuhi persyaratan tegangan keluaran DC. Lebih penting lagi, peralatan mungkin diperlukan untuk beroperasi dengan tegangan saluran 115 V dan juga 230 V. Oleh karena itu, penyearah pengganda tegangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dapat digunakan untuk menghindari transformator tegangan *stepup*.

Seperti pada Gambar 2.5 saklar pada posisi 115-V dan voltase saluran 115 V, setiap kapasitor akan dibebankan kira-kira puncak dari tegangan masukan AC, dan karena itu, V_d (yang merupakan jumlah dari tegangan yang melintasi C_1 dan C_2)

kira-kira sama dengan operasi 230-V. Kapasitor C_1 dibebankan melalui dioda D_1 selama setengah siklus positif dari tegangan input AC, dan C_2 dibebankan melalui D_2 selama setengah siklus negatif. Oleh karena itu, dalam mode ini sirkuit beroperasi sebagai penyearah *Voltage-Doubler* (Mohan, 1995).



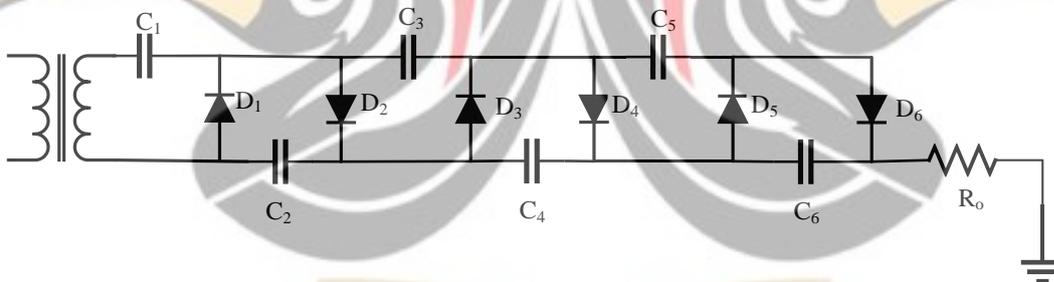
Gambar 2. 5 Rangkaian Penyearah Voltage-Doubler (Mohan dkk, 1995)

Tingkatan dari rangkaian *Doubler* dapat ditambah menjadi tiga tingkat (rangkaiannya *Tripler*), empat tingkat (rangkaiannya *Quadroupler*), dan seterusnya. Dalam praktiknya, tidak disarankan untuk melakukan penambahan tingkatan hingga dua belas tingkat. Penambahan tingkatan lebih dari dua belas tingkat tidak hanya memperlambat *charging time* atau waktu pengisian kapasitor, namun juga akan mereduksi nilai tegangan keluaran seiring dengan meningkatnya nilai

tegangan *ripple* keluaran. Peningkatan jumlah tingkatan rangkaian akan meningkatkan nilai tegangan keluaran, tetapi itu juga meningkatkan lebih banyak rugi-rugi (Langdon, 2019).

2.5 Cockcroft-Walton Voltage Multiplier

Proses menggandakan tegangan, ada beberapa metode yang digunakan yaitu metode *Villard* dan metode *Cockcroft-Walton*. Metode *Cockcroft-Walton* merupakan pelipat ganda tegangan yang menghasilkan tegangan output yang lebih baik daripada tegangan *output* metode *Villard*. Rangkaian *Cockcroft-Walton* (CW) atau pengganda tegangan adalah sirkuit listrik yang menghasilkan daya *Direct Current* (DC) pada tegangan tinggi. Rangkaian ini ditemukan jauh sebelumnya oleh Heinrich Greinacher pada tahun 1919. Rangkaian diberi nama setelah fisikawan Inggris dan Irlandia Jhon Douglas Walton dan Earnest Thomsan Walton, yang pertama kali menggunakan rangkaian ini pada tahun 1932 untuk memberi daya ke akselerator partikel (Bhutange, 2017). Untuk lebih jelas, rangkaian CWWM dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Rangkaian Cockcroft-Walton Voltage Multiplier (Kuffel, 2000)

Komponen utama yang digunakan pada rangkaian pembangkit DC Cockcroft-Walton yaitu dengan menggunakan susunan antara dioda dan kapasitor yang tersusun secara bertingkat.

- D1, D3, D5 = Dioda yang berfungsi sebagai penyearah tegangan.
- C1, C2, C3 = Kapasitor yang berfungsi sebagai penyimpan tegangan.
- C4, C5, C6 = Kapasitor sebagai penyimpan tegangan dan filter tegangan.

Tanpa Beban: mengacu pada Gambar 2.6 rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC *Cockcroft-Walton*, tegangan *output* dari trafo adalah $V(t)$ yang

merupakan tegangan AC. Dapat dilihat pada rangkaian penyearah, bagian ini adalah semacam penyearah setengah gelombang. Pada saat tegangan sumber AC melewati kapasitor C1 maka akan diisi sampai V_{in} sampai pada titik M, lalu disearahkan oleh dioda D2 menjadi tegangan DC dan diteruskan ke C4 untuk difilter gelombang, pada titik antara C4 dan C5 tegangan mencapai $2V_{in}$, begitu pun selanjutnya tegangan akan bertambah sesuai tingkat pembangkit.

Tegangan pada masing-masing kapasitor adalah tegangan searah dan besarnya sama dengan $2V_{in}$ pada setiap tingkatnya, kecuali kapasitor C1 yang tegangannya hanya V_{in} . Setiap dioda D1, D2, D3, D4, tahan terhadap tegangan $2V_{in}$ atau dua kali tegangan puncak dari tegangan AC dan untuk jumlah n tingkatan *output* dapat mencapai seperti persamaan 2.2 pada beban kosong.

$$V_o = 2 \times n \times V_{in} \quad (2.2)$$

Persamaan diatas adalah analisis dasar yang digunakan dalam menentukan tegangan keluaran dari pembangkit tegangan tinggi DC, dimana hal tersebut dipengaruhi oleh banyaknya jumlah tingkatan dari pembangkit tersebut (Kuffel, 2000).

$$V_o = n \times V_{in} \quad (2.3)$$

Keterangan pada persamaan (2.3)

V_o = tegangan *output* DC tidak berbeban (V)

n = jumlah tingkat pembangkit

V_{in} = tegangan *input* (V)

Persamaan 2.3 merupakan digunakan untuk rangkaian CWVM dengan sumber masukan DC, hal ini dikarenakan pada sumber DC tidak terdapat siklus negatif sehingga dioda yang aktif hanyalah D2, D4, dan D6.

Keuntungan dari sirkuit Multiplier Cockcroft-Walton adalah biaya rendah dan ukurannya kecil. Desain pengali tegangan CWVM yang sederhana perlu mempertimbangkan parameter komponen, untuk memastikan kinerja sirkuit yang baik. Salah satu hal yang pasti terdapat pada keluaran CWVM adalah riak tegangan.

Riak tegangan dari rangkaian CWVM dapat dilihat pada persamaan berikut (Nikhil, 2015).

www.itk.ac.id

$$\delta V = \frac{1}{2f} \left(\frac{1}{C_n} + \frac{2}{C_{n-1}} + \frac{3}{C_{n-2}} + \dots + \frac{1}{C_1} \right) \quad (2.4)$$

Mengacu persamaan (2.4), nilai kapasitor yang digunakan disetiap tingkatnya memiliki nilai yang sama, yaitu $C_n = C_{n-1} = \dots C_1 = C$, Sehingga diperoleh persamaan riak tegangan sebagai berikut

$$\delta V = \frac{1}{2fC} \frac{n(n+1)}{2} \quad (2.5)$$

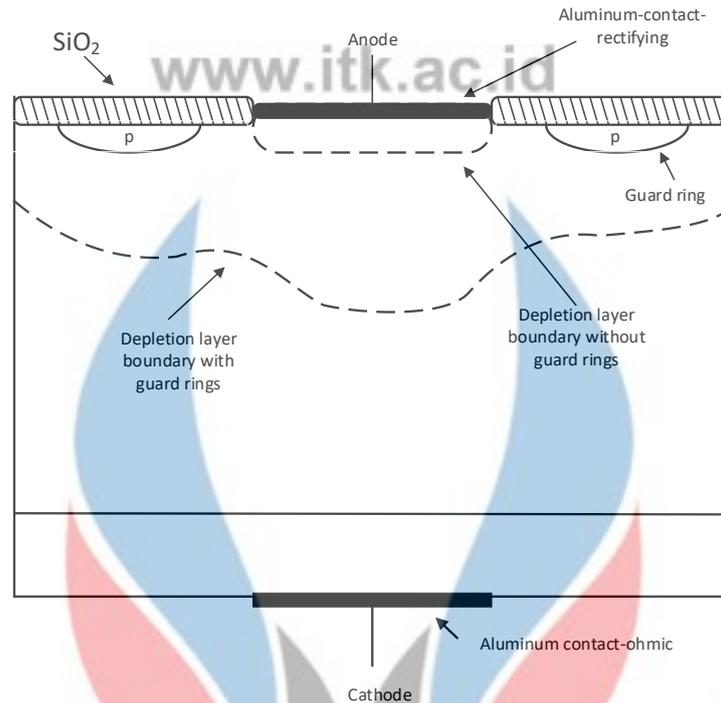
Berdasarkan persamaan (2.5), diketahui bahwa δV merupakan riak tegangan, f merupakan frekuensi, C merupakan nilai kapasitansi kapasitor, dan n merupakan jumlah tingkatan rangkaian.

2.6 Dioda Schottky

Masalah penyimpanan muatan pada persimpangan pn dapat dihilangkan atau dikurangi sebuah dioda Schottky. Hal ini dicapai dengan mendirikan “penghalang potensial” dengan sebuah kontak antara logam dan semikonduktor. Lapisan logam biasanya disimpan pada lapisan tipis silicon tipe n. Potensi penghalang untuk mensimulasikan perilaku persimpangan pn (Rashid, 2014). Gambar 2. 7 menunjukkan lapisan logam adalah elektroda positif dan semikonduktor adalah katoda.



www.itk.ac.id



Gambar 2. 7 Penampang Dioda Schottky (Mohan, 1995)

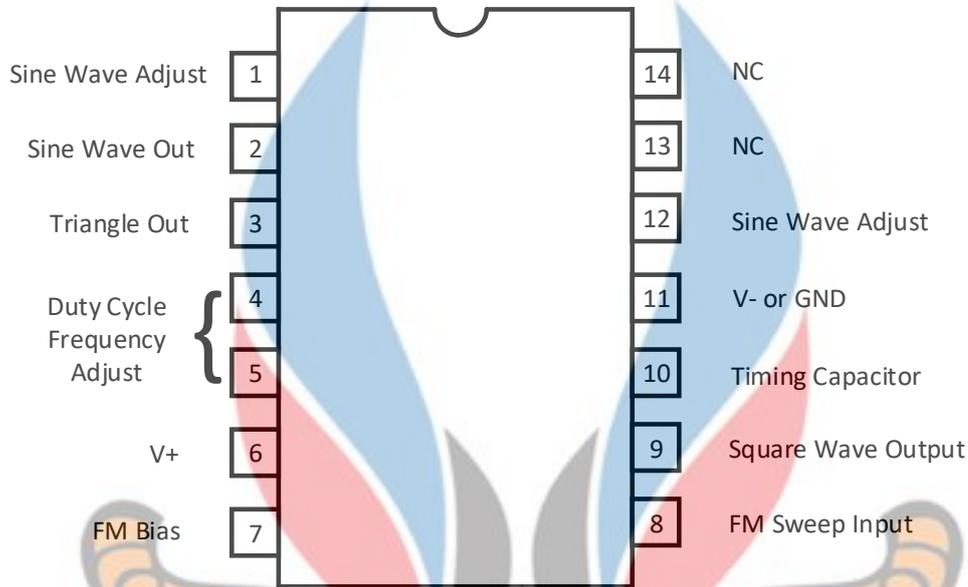
Tegangan jatuh jauh lebih rendah, biasanya 0,3-0,4 V, daripada dioda silikon. Dengan demikian, dioda Schottky memungkinkan lebih disukai untuk digunakan dalam beberapa aplikasi daya. Namun sebaliknya, dioda Schottky memiliki arus bocor terbalik yang lebih besar jika dibandingkan persimpangan pn dioda silikon. Tegangan *breakdown* dioda Schottky saat ini tidak dapat dibuat lebih besar dari 100-200 V (Mohan, 1995).

2.7 Osilator

Osilator merupakan rangkaian elektronik untuk menghasilkan sinyal keluaran tanpa adanya sinyal masukan. Osilator menghasilkan gelombang yang periodik hanya dengan masukan berupa tegangan DC. Keluaran osilator dapat berupa sinusoidal dan *non* sinusoidal tergantung pada tipe dari osilator. Beberapa tipe keluaran osilator yaitu gelombang sinus, gelombang kotak, gelombang segitiga, dan gelombang gigi gergaji (Asad, 2012).

Pada saat ini terdapat *Integrated Circuit* (IC) yang dapat menghasilkan gelombang keluaran sinus, gelombang kotak, gelombang segitiga, dan pulsa. ICL8038 merupakan salah satu jenis IC *function generator* tersebut dengan

minimum komponen eksternal. Frekuensi dapat di variasi secara eksternal dengan rentang frekuensi antara 0.001Hz hingga 300kHz dengan menggunakan resistor atau kapasitor (Intersil, 2001).



Gambar 2. 8 ICL8038 (Intersil, 2001)

Berikut ini merupakan spesifikasi dari ICL8038.

Tabel 2. 1 Spesifikasi ICL8038 (Intersil, 2001)

<i>Low Frequency Drift with Temperature</i>	250ppm/°C
<i>Low Distorsion</i>	1% (<i>Sine Wave Output</i>)
<i>High Linearity</i>	0.1% (<i>Triangle Wave Output</i>)
<i>Wide Frequency Range</i>	0.001Hz to 300kHz
<i>Variable Duty Cycle</i>	2% to 98%
<i>High Level Output</i>	TTL to 28V

ICL8038 dibuat dengan teknologi canggih monolitik, menggunakan dioda penghalang Schottky dan resistor film tipis, dan output stabil pada rentang yang luas dengan suhu dan pasokan. Perangkat ini mungkin dihubungkan dengan putaran rangkaian fasa tertutup untuk mengurangi suhu menghilang hingga kurang dari 250ppm/°C.

2.8 Gambaran Umum Posisi Penelitian

Berikut merupakan tabel gambaran umum penelitian dalam tugas akhir yang akan dilakukan.

Tabel 2. 2 Gambaran Umum Posisi Penelitian

Penulis	Tujuan	Metode	Parameter
Razak 2015	Pengujian <i>Cockcroft-Walton</i> dengan DC Converter	Menggunakan <i>Boost Converter</i>	$V_{in} = 100\text{VDC}$ 20 Tingkat $V_{out} = 12\text{kVDC}$
Azmi 2016	Mereduksi Tingkatan	Menggunakan IC555	$V_{in} = 5\text{VAC}$ 32 Tingkat $V_{out} = 6\text{kVDC}$
Rani 2017	Pengujian Bentuk Gelombang	Menggunakan IC555	$V_{in} = 2,5\text{VAC}$ 5 Tingkat $V_{out} = 13,56\text{VDC}$
Murad 2019	Pengujian <i>Double DC-DC Converter</i>	LT1618 <i>Step up Converter</i>	$V_{in} = 5\text{VAC}$ 15 Tingkat $V_{out} = 1,6\text{kVDC}$
Eza 2020	Pengujian frekuensi terhadap tegangan keluaran variasi terhadap	Menggunakan ICL8038 sebagai <i>Waveform Generator</i>	$V_{in} = 2,8-11,6\text{VDC}$ 5 Tingkat $V_{out} = n \cdot V_{in}$ Frekuensi 50Hz, 2kHz, 6kHz