

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Literature Review*

Pada bagian *literature review* ini membahas mengenai penelitian–penelitian yang mendukung dan berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Pada penelitian berjudul “Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM” penelitian ini bertujuan mengurangi harmonisa yang terjadi pada inverter dengan rangkaian *Buck Boost Converter*. Dengan didapatnya minimum THD dengan metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). Dimana dengan metode ini nilai THD dapat diturunkan hingga mencapai 7.40% untuk THD arus dan 17.63% untuk THD tegangan (Aliyan, Hasanah, & Muslim, 2014).

Pada penelitian berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode *Flux Vector Control Berbasis Self-Tuning PI*”. Penggunaan metode *flux vector control* dengan kontroler *Self-Tuning PI* dipilih untuk mendapatkan pengaturan kecepatan motor induksi yang baik. Metode *flux vector control* akan membuat motor induksi tiga fasa bisa dikontrol seperti motor dc penguatan terpisah. Sedangkan penggunaan *Self Tuning Regulator* digunakan untuk mengatasi perubahan parameter motor induksi. Sistem yang sudah dibuat menunjukkan bahwa dengan menggunakan kontroler *Self-Tuning PI* lebih baik dibandingkan menggunakan kontroler PI konvensional, dimana kecepatan motor mampu mengikuti referensi kecepatan yang diberikan meskipun diberi pembebanan mekanik dan perubahan resistansi stator (Arvianto, & Rameli, 2017).

Pada penelitian berjudul “*3 Phase Inverter With 180⁰ and 120⁰ Conduction Mode*”. Pada penelitian ini menggunakan dua mode pensaklaran yaitu dengan pensaklaran 180⁰ dan 120⁰ untuk *MOSFET*. Penelitian dilakukan dengan cara simulasi rangkaian inverter dengan 3 stage rangkaian yaitu *rectifier*, *buck converter* dan inverter. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa untuk mode 180 derajat magnitudo tegangan lebih besar dibanding dengan konduksi 120 derajat. (Mathukiya, 2017).

2.2. Teori Pendukung

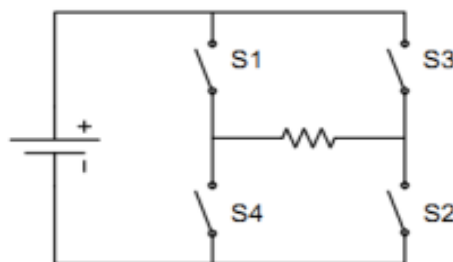
Pada bagian ini disajikan teori – teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

2.2.1. Inverter

Inverter adalah sebuah perangkat yang bisa mengkonversikan tegangan searah (DC) ke tegangan bolak-balik (AC) dengan besar tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Sumber tegangan *input* inverter bisa berupa baterai, PV, *accumulator*, dan sumber tegangan DC lainnya. Adapun *output* dari inverter adalah berupa tegangan AC 220 V atau 120 V dan memiliki frekuensi *output* 50 Hz ataupun 60 Hz. Untuk memperoleh tegangan *output* yang bervariasi, dapat dilakukan dengan membuat variasi tegangan *input* DC dan menjaga penguatan inverter supaya bernilai tetap. Sebaliknya apabila tegangan *input* DC tidak dikendalikan, maka dapat diperoleh tegangan *output* yang bervariasi dengan cara memvariasikan penguatan dari pada inverter. Penguatan inverter dapat diartikan dengan rasio perbandingan antara tegangan *output* AC terhadap tegangan *input* DC. Variasi dari penguatan inverter ini biasanya didapatkan dengan cara pengontrolan melalui PWM (*Pulse Width Modulation*) didalam inverter (Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017).

2.2.2. Inverter Satu Fasa *Full Bridge*

Full bridge inverter memiliki konfigurasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dimana memiliki 4 buah *switching device* yang mana 2 buah *switching device* pada setiap terminal. Dalam satu terminal, *switching device* ini hanya boleh ON satu buah *switching device*, karena jika tidak maka akan terjadi *short-circuit*.



Gambar 2.1 *Full Bridge* Inverter (Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017).

Adapun prinsip kerja *full bridge* inverter adalah jika saklar S1 dan S2 dalam keadaan *ON*, maka arus akan mengalir ke beban R dari arah kiri ke kanan, sehingga terbentuklah gelombang pada periode setengah gelombang yang pertama. Selanjutnya jika saklar S3 dan S4 dalam keadaan *ON*, maka arus akan mengalir ke beban R dari arah kanan ke kiri dan terbentuklah gelombang pada setengah periode kedua.

Tabel 2.1 Teori *Full Bridge* Inverter Satu Fasa

Saklar <i>ON</i>	Saklar <i>OFF</i>	Tegangan Keluaran (V_o)
S1 dan S2	S3 dan S4	+ V_o
S3 dan S4	S1 dan S2	- V_o
S1 dan S3	S2 dan S4	<i>OFF</i>
S2 dan S4	S1 dan S3	<i>OFF</i>

(Azmi, Sara, & Syahrizal, 2017).

Adapun tegangan keluaran rms *square wave* inverter dapat dicari dengan rumus berikut :

$$V_o = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

V_o = Tegangan *output* inverter

T_0 = Periode awal

V_s = Tegangan sumber

Sedangkan untuk inverter yang menggunakan teknik SPWM, maka tegangan *output* rms yang dihasilkan dapat dirumuskan :

$$V_o = V_s \left(\sum_{M=1}^{2P} \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

V_o = Tegangan *output* rms

V_s = Tegangan sumber

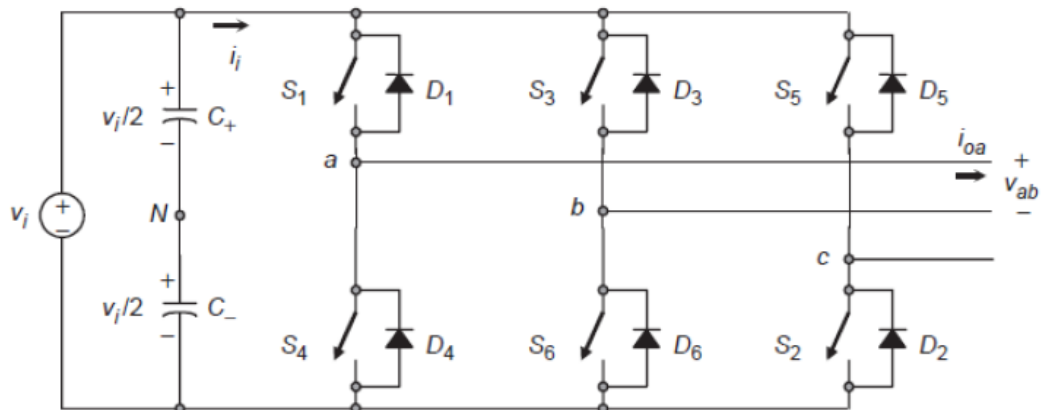
p = Jumlah pulsa dalam setengah siklus

δ = Lebar setiap pulsa

2.2.3 Inverter Tiga Fasa *Half Bridge*

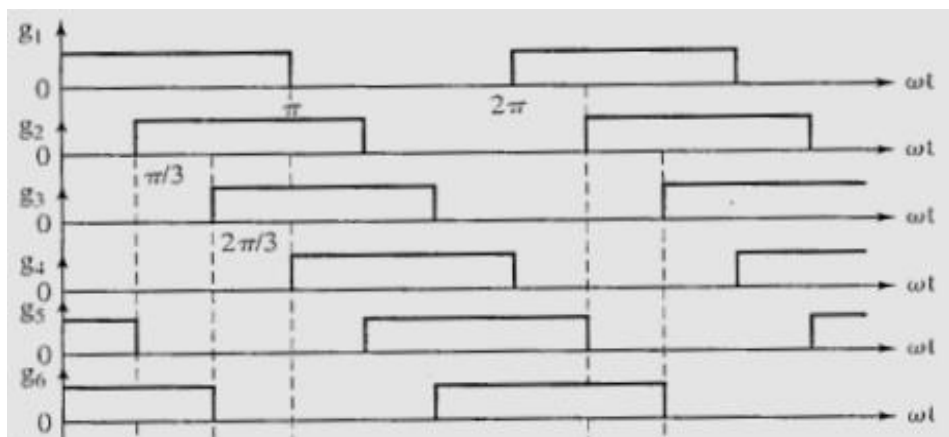
Inverter tiga fasa ini biasanya digunakan untuk aplikasi daya tinggi.

Rangkaian dasar inverter jembatan tiga-fasa dengan beban ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Half Bridge Inverter Tiga Fasa (Rashid, 1993).

Sinyal *gate* penyalan saklar dari inverter tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dari sinyal *gate* penyalan saklar dapat dibuat Tabel 2.2.



Gambar 2.3 Sinyal Gate Inverter Konduksi 180° (Rashid, 1993).

Setiap transistor melakukan untuk 180° . Tiga transistor tetap menyala setiap saat. Ketika transistor Q1, dinyalakan, terminal a dihubungkan ke terminal positif dari tegangan *input* DC. Ketika transistor Q4 diaktifkan, terminal a dibawa ke terminal negatif sumber. Ada enam mode operasi dalam satu siklus dan durasi setiap mode adalah 60° . Transistor diberi nomor sesuai urutan *gating* transistor (misal 123, 234, 345, 456, 561, 612). Tabel kondisi sinyal *gate* saklar inverter konduksi 180 derajat ditunjukkan pada Tabel 2.2.

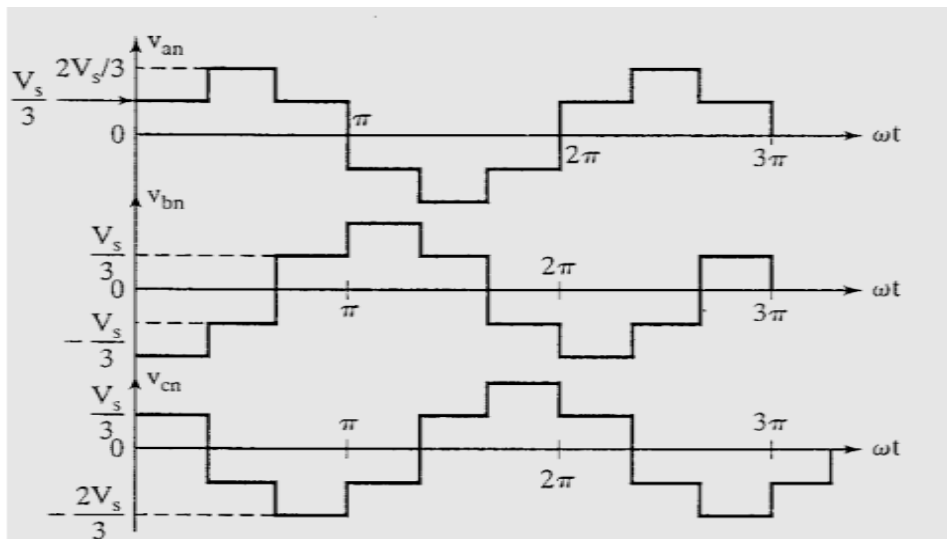
Tabel 2.2 Kondisi Saklar Inverter tiga Fasa dengan Konduksi 180°.

Mode	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON
2	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
3	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF
5	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF
6	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON

(Mathukiya, 2017).

Tabel 2.2 merupakan tabel kondisi saklar inverter tiga fasa setelah beroperasi. Dalam tiga fasa inverter dari setiap sakelar melakukan 180° siklus, pasangan *thyristor* di masing-masing inverter misal S1, S4; S3, S6 dan S5, S2 dihidupkan dengan interval waktu 180°. Ini berarti bahwa S1 melakukan untuk 180° dan S4 untuk 180° siklus berikutnya. Beralih di grup atas yaitu S1, S3, S5 melakukan diinterval 120°. Ini artinya bahwa jika S1 keluar pada $\omega t = 0^\circ$, maka S3 harus keluar pada $\omega t = 120^\circ$ dan S5 pada $\omega t = 240^\circ$. Dalam Tabel 2.2, baris pertama menunjukkan bahwa S1 dari grup atas melakukan 180°, S4 untuk 180° berikutnya dan sekali lagi S1 untuk 180° dan seterusnya. Di baris kedua, S3 dari kelompok atas ditunjukkan mulai melakukan 120° setelah S1 mulai melakukan. Setelah konduksi S3 untuk 180°, S6 melakukan untuk 180° berikutnya dan lagi S3 untuk 180° berikutnya dan seterusnya. Selanjutnya, di bagian ketigabarisan, S5 dari grup atas mulai melakukan 180° setelah S3 atau 240° setelah S1.

Setelah konduksi S5 untuk 180°, S2 melakukan untuk 180°, S5 untuk 180° berikutnya dan seterusnya. Dengan cara ini, pola menembakkan enam saklar diidentifikasi. Tabel 2.2 menunjukkan bahwa S5, S6, S1 harus terjaga keamanannya untuk langkah I; S6, S1, S2 untuk langkah II; S1, S2, S3 untuk langkah III; S2, S3, S4 untuk langkah IV dan seterusnya. Demikian urutan tembakan tersebut *thyristor* adalah S1, S2, S3, S4, S5, S6; S1, S2. Itu terlihat dari tabel yang setiap durasi langkahnya 60°, hanya tiga sakelar yang melakukan satu dari grup atas dan dua dari grup bawah atau dua dari kelompok atas dan satu dari kelompok bawah. Fasa tegangan gelombang 180 derajat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sinyal Keluaran Inverter Tiga Fasa.
(Rashid, 1993).

2.2.4 Rectifier

Penyearah atau *rectifier* adalah prosesor daya yang harus memberikan tegangan keluaran dc dengan jumlah minimum konten harmonik. Pada saat yang sama, *rectifier* harus menjaga arus *input* se-sinusoidal mungkin dan sefasa dengan tegangan *input* sehingga faktor daya mendekati 1 (*unity*). Kualitas pemrosesan daya penyearah memerlukan penentuan konten harmonik dari arus *input*, tegangan *output* dan arus keluaran. Kita harus menggunakan ekspansi seri Fourier untuk menemukan konten harmonik dari tegangan dan arus. Ada berbagai jenis rangkaian penyearah dan kinerja penyearah biasanya dievaluasi dalam hal parameter seperti nilai rata-rata dari tegangan *output* V_{dc} (V), nilai rata-rata dari arus *output* I_{dc} (A), dan daya *output* yang dapat dinyatakan dengan Persamaan.

Daya *output* DC atau P_{dc} (watt) adalah :

$$P_{dc} = V_{dc} \times I_{dc} \quad (2.3)$$

Parameter lainnya yaitu nilai tegangan efektif V_{rms} (V), nilai arus efektif I_{rms} (A), serta daya *output* AC yang dinyatakan dengan Persamaan.

Daya *output* AC atau P_{ac} (watt) adalah :

$$P_{ac} = V_{rms} \times I_{rms} \quad (2.4)$$

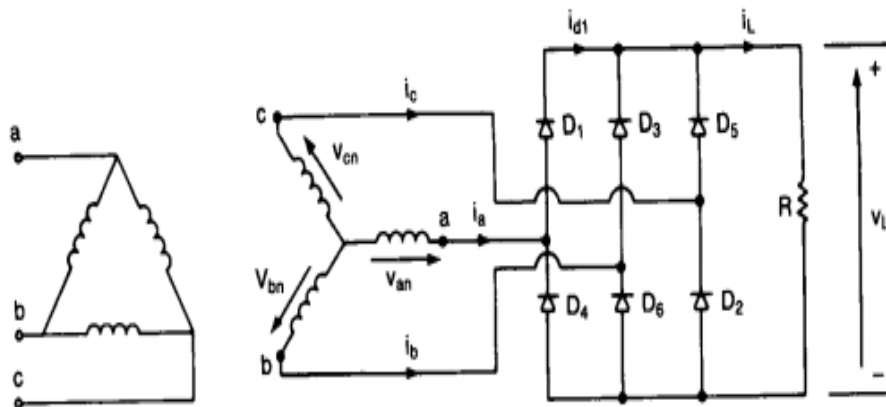
Parameter terakhir yaitu nilai efisiensi *rectifier* yang dinyatakan oleh persamaan.

Efisiensi *rectifier* (%) adalah :

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \quad (2.5)$$

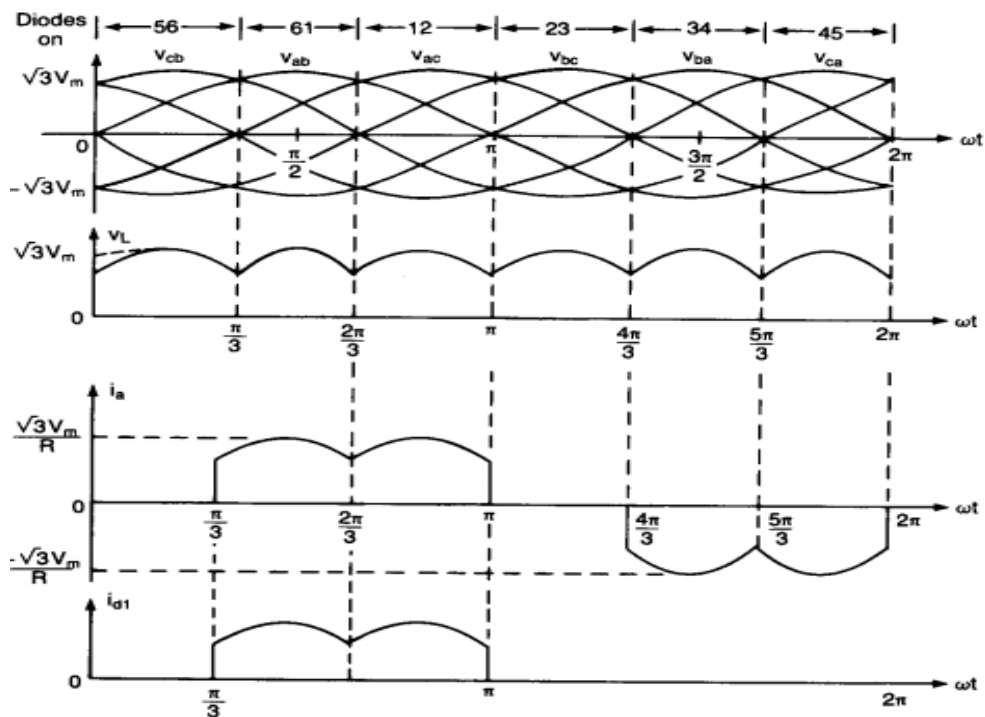
2.2.5 *Rectifier* Full Bridge

Rectifier gelombang penuh tiga fasa pada umumnya terdiri dari 6 buah diode yang di susun paralel seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Rectifier* Gelombang Penuh (Rashid, 1993).

Gambar 2.5 merupakan Penyearah / *rectifier* gelombang penuh 3 fasa, yaitu pengubah sebuah tegangan arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus listrik searah komponen dimana komponen tersebut hanya memperbolehkan arus listrik mengalir hanya dari satu arah. Dan itu bisa diperoleh dari rangkaian dioda semikonduktor. Penyearah tiga fase biasanya digunakan dalam industri untuk dibutuhkannya tegangan dc dan arus untuk beban daya yang besar. Sumber tegangan tiga fase memiliki keseimbangan daya karena di pasok oleh tiga fase a, b dan c. Hanya satu dioda di bagian atas jembatan yang bekerja pada satu waktu (D1, D3, atau D5). Hanya satu dioda di bagian bawah jembatan yang dapat bekerja pada satu waktu (D2, D4, atau D6). D1 dan D4 tidak dapat dilewati arus pada saat yang sama. Demikian pula, D3 dan D6). Tidak dapat pula di lewati (DC). Dalam mengubah tegangan AC menjadi DC ini diperlukan suatu arus secara bersamaan, begitu juga antara D5 dan D3. Beban *output* tegangan adalah salah satu *line-to-line* tegangan dari sumber. Misalnya, ketika D1 dan D2 menyala, tegangan *output* tersedia.



Gambar 2.6 Gelombang Keluaran *Rectifier* Tiga Fasa (Rashid, 1993).

Dalam *power* penyearah 3-fasa, konduksi selalu terjadi di dioda paling positif dan dioda paling negatif yang sesuai. Jadi ketika tiga fasa berputar melintasi terminal penyearah, konduksi dilewatkan dari dioda ke dioda. Kemudian setiap dioda berjalan selama 120° (sepertiga) dalam setiap siklus supply tetapi karena dibutuhkan dua dioda untuk berjalan berpasangan, setiap pasangan dioda akan berjalan hanya 60° (satu-keenam) dari siklus pada satu waktu.

Gambar 2.6 merupakan sinyal *output* yang akan diperoleh dari rangkaian penyearah 3 fasa gelombang penuh, Oleh karena itu kita dapat mengatakan bahwa untuk penyearah 3-fasa yang diumpankan oleh "3" transformator, setiap fasa akan dipisahkan oleh $360^\circ/3$ sehingga membutuhkan 2×3 dioda. Perhatikan juga bahwa tidak ada koneksi umum antara terminal *input* dan *output* penyearah. Oleh karena itu dapat diumpankan oleh supply transformator star connected atau delta connected. Dengan persamaan awal tegangan DC adalah (Rashid, 1993).

$$V_{dc} = 1,654 \times V_m \quad (2.6)$$

Dengan V_m adalah tegangan puncak fasa, maka nilai tegangan keluaran efektif dinyatakan dengan persamaan :

$$V_{rms} = 1,654 \times V_m \quad (2.7)$$

Bila beban adalah resitif murni, maka arus puncak yang melalui dioda dapat dinyatakan dengan persamaan :

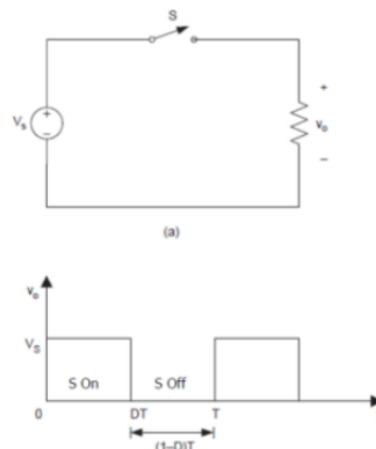
$$I_m = \sqrt{3} \frac{V_m}{R} \quad (2.8)$$

Dan I_{rms} dioda dinyatakan dengan persamaan :

$$I_{rms} = 0,5518 I_m \quad (2.9)$$

2.2.6 DC Chopper Step Down

Chopper (pemangkas) merupakan suatu rangkaian yang digunakan untuk mengubah sumber masukan tegangan DC tetap menjadi sumber keluaran tegangan DC yang dapat dikendalikan atau diatur. Komponen semikonduktor daya yang digunakan dapat berupa SCR, transistor, dan *MOSFET* yang beroperasi sebagai sakelar dan pengatur. Untuk *DC Chopper Step Down* jika sakelar *S* di-*on*kan sampai dengan DT , maka tegangan masukan V_s akan dipindahkan ke beban menjadi V_o , selanjutnya jika sakelar *S* di-*off*kan sampai dengan T , tegangan pada beban menjadi nol. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan luaran ditentukan oleh proses *on* dan *off* sakelar *S*. Rasio antara waktu sakelar *off* terhadap jumlah waktu sakelar *on* dan *off* disebut siklus kerja (*duty cycle*). Gambar 2.7 merupakan prinsip dasar kerja *chopper* penurun tegangan. (Nazaruddin, 2015).



Gambar 2.7 Prinsip Kerja DC Chopper Step Down.
(Nazaruddin, 2015).

Nilai siklus kerja (α atau D) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\alpha = D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = f \cdot T_{on} \quad (2.10)$$

Keterangan :

α = Siklus kerja (%)

T = Periode (s)

T_{on} = Periode ketika *on* (s)

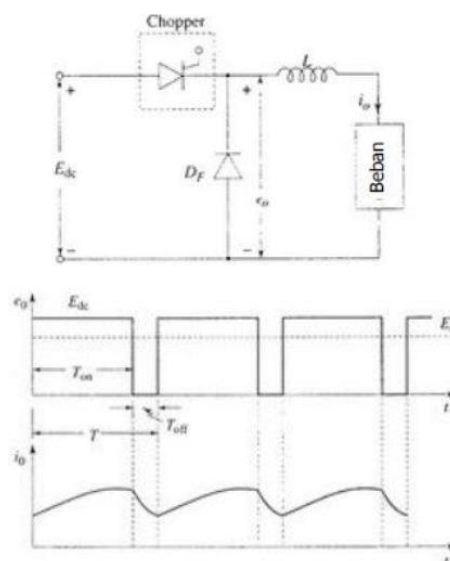
T_{off} = Periode ketika *off* (s)

f = Frekuensi (Hz)

Persamaan (2.20) dapat dijelaskan bahwa pengaturan siklus kerja dapat dilakukan melalui dua operasi, yaitu:

- operasi frekuensi konstan
- operasi frekuensi variabel

Operasi frekuensi konstan dilakukan dengan cara menjaga frekuensi selalu konstan dan T_{on} diatur. Pengaturan T_{on} ini lazim disebut pengaturan lebar pulsa atau modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation*). Operasi frekuensi variabel dilakukan dengan mengatur frekuensi, pengaturan ini biasanya disebut modulasi frekuensi (*frequency modulation*). Gambar 2.8 mengilustrasikan prinsip kerja *chopper* penurun tegangan yang ditunjukkan dengan SCR di dalam kotak. Selama periode T_{on} atau ketika *chopper ON*, tegangan sumber akan terhubung dengan terminal beban.



Gambar 2.8 Sinyal Keluaran DC Chopper Step Down (Nazaruddin, 2015).

Selanjutnya, selama perioda T_{off} atau ketika *chopper OFF*, arus beban akan mengalir pada dioda komutasi (Df), sehingga terminal beban terhubung singkat dengan Df dan tegangan beban menjadi nol selama T_{off} . Dengan demikian, tegangan searah (DC) pada beban dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$E_o = E_{dc} \alpha \quad (2.11)$$

Keterangan :

- α = Siklus kerja (%)
- E_o = Tegangan *output* (V)
- E_{dc} = Tegangan *input* (V)

2.2.7 IC NE555

IC NE555 merupakan IC yang digunakan dalam berbagai aplikasi pewaktuan, sumber pulsa gelombang, serta aplikasi osilator. IC ini dapat dimanfaatkan dalam rangkaian elektronika sebagai penunda waktu (*delay timer*), rangkaian flip-flop, dan osilator. Secara fisik IC NE555 berbentuk DIP atau *Dual inline package* dengan *package* 8 pin. Pada dasarnya aplikasi utama IC NE555 ini digunakan sebagai *timer* dengan operasi rangkaian *monostable* dan Pembangkit Pulsa dengan operasi rangkaian *astable*. Selain itu, dapat juga digunakan sebagai *Time Delay Generator* dan *Sequential Timing*.

Prinsip dasar dari IC 555 adalah sebagai rangkaian pengingat yang dikendalikan oleh RS Flip Flop. *Output* RS Flip Flop akan berlogika 1 jika masukan terminal S di set 1, meski kemudian terminal S sudah berlogika 0, selagi terminal R dari RS Flip Flop belum berlogika 1 maka *output* RS Flip Flop akan tetap dalam kondisi *High*. IC 555, jika pin 2 (*trigger*) telah mendapatkan sinyal dan dalam kondisi *ON*, selagi pin 6 (*threshold*) tidak berlogika 1 (*high*), meskipun pin2 (*trigger*) tidak di berikan tegangan kembali, IC555 akan tetap dalam keadaan *high* atau *ON* berlogika 1. Prinsip kerja IC 555 secara detail dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Basri, Arsyfadillah, Irfan, & Thamrin 2018).

Tabel 2.3 Prinsip Kerja IC555

Pin 6 (threshold)	Pin 2 (trigger)	RS flip-flop			Pin 3 (output)	Keterangan
		R	S	Q		
0	0	0	0	0	0	OFF
0	1	0	1	1	1	ON
0	0	0	1	1	1	ON
1	0	1	0	0	0	OFF
0	0	0	0	0	0	OFF
0	1	0	1	1	1	ON
0	0	0	1	1	1	ON

(Basri, Arsyfadillah, Irfan, & Thamrin 2018).

Keterangan :

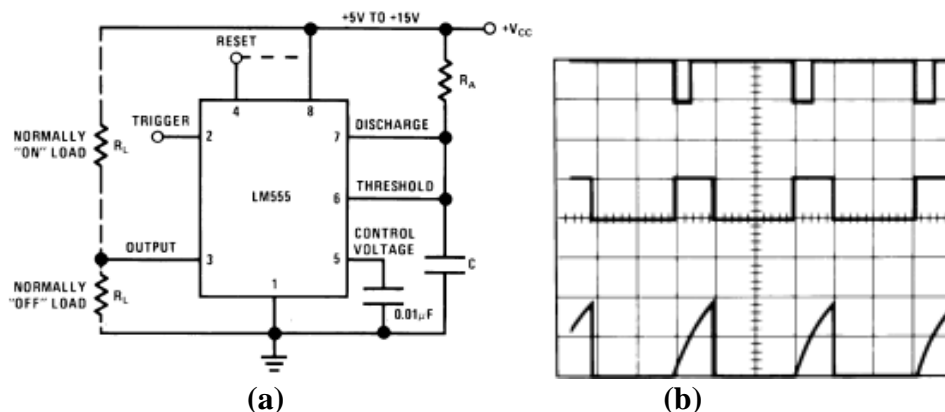
0 = *Low* = Off

1 = *High* = On

Bila dilihat dari cara pengaplikasiannya, pada Gambar 2.9. dan 2.10. IC NE555 dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

A. Rangkaian *Monostable Multivibrator*

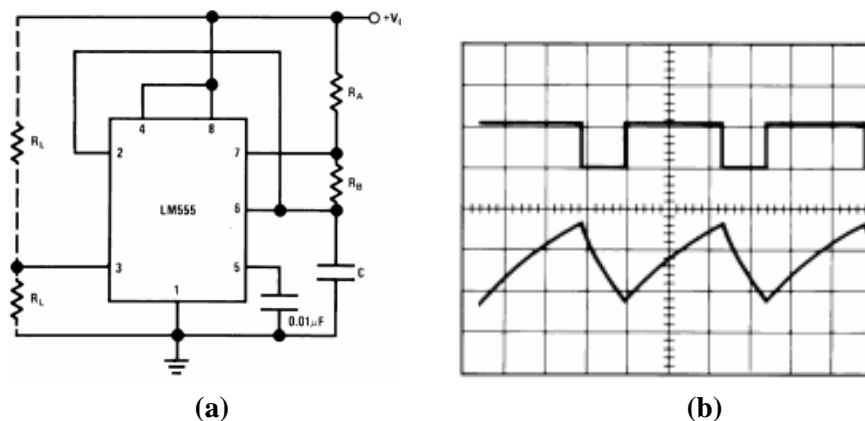
Dari Gambar 2.7 *monostable* mempunyai arti satu atau mono dan stabil yang dimana kondisi awal *standby* pada kondisi *low* dan *high* selama selang waktu tertentu setelah dipicu. Rangkaian ini dapat dimanfaatkan sebagai penunda waktu, pendeteksi pulsa gelombang yang hilang, *bounce free switch* atau penekanan saklar sekali dan memalang, saklar sentuh, *Pulse Wide Modulation* (PWM), pembagi frekuensi, dan kapasitansi meter.



Gambar 2.9 Rangkaian Monostable dan Sinyal Keluaran
(Datasheet NE555, 2015).

B. Multivibrator Astable

Multivibrator astable mempunyai dua keadaan, namun tidak stabil pada salah satu keadaan diantaranya dengan perkataan lain. *Multivibrator* akan berada pada salah satu keadaanya selama sesaat dan kemudian berpindah ke keadaan yang lain. Disini *Multivibrator* tetap untuk sesaat sebelum kembali ke keadaan semula, perpindahan berkesinambungan ini menghasilkan suatu gelombang segiempat dengan waktu bangkit yang sangat cepat. Karena tidak dibutuhkan sinyal masukan untuk memperoleh suatu keluaran.



Gambar 2.10 Rangkaian Astable dan Sinyal Keluaran (Datasheet NE555, 2015).

Waktu pengisian daya (*output* tinggi) diperoleh dengan :

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C \quad (2.12)$$

Untuk waktu debit (keluaran rendah) diperoleh dengan :

$$t_2 = 0.693 (R_B) C \quad (2.13)$$

Maka total Periode yang di dapat adalah :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C \quad (2.14)$$

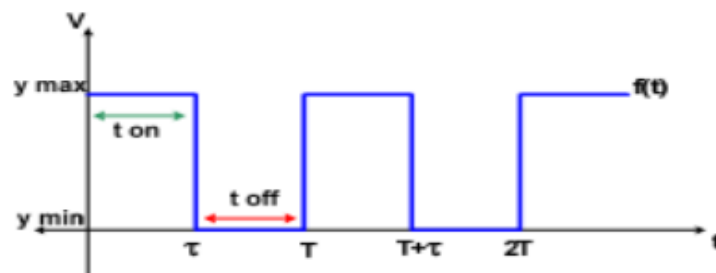
Frekuensi osilasi diperoleh dengan :

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C} \quad (2.15)$$

Pengatur waktu NE 555 adalah sebuah IC dengan berbagai fungsi yang berlainan, termasuk operasi astabil. Rangkaian ini bekerja bebas pada frekuensi yang ditentukan oleh dua buah resistor dan 1 buah kapasitor (Basri, Arsyfadillah, Irfan, & Thamrin 2018).

2.2.8 PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pengaturan lebar pulsa modulasi atau PWM merupakan salah satu teknik yang “ampuh” yang digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan di berbagai bidang yang sangat luas, salah satu diantaranya adalah *speed control* (kendali kecepatan), *power control* (kendali system tenaga), *measurement and communication* (pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi). Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*). Gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut. PWM pada dasarnya adalah menyalakan (*ON*) dan mematikan (*OFF*) motor DC dengan cepat. Kuncinya adalah mengatur berapa lama waktu *ON* dan *OFF*.



Gambar 2.11 Konsep Dasar SPWM
(Arifin, & Fathoni, 2014).

Pada Gambar 2.11 dapat dijelaskan T_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (baca: *high* atau 1) dan, T_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (baca: *low* atau 0). Anggap T_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara T_{on} dengan T_{off} biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang”.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.16)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.17)$$

Sehingga ,

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.18)$$

Dari rumus diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan keluaran

dapat diubah-ubah secara langsung dengan mengubah nilai T_{on} . Apabila T_{on} adalah 0, V_{out} juga akan 0. Apabila T_{on} adalah T_{total} maka V_{out} sama dengan V_{in} (Arifin, & Fathoni, 2014).