

BAB II

www.itk.ac.id

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Inverter*

Inverter merupakan sebuah konverter yang mengubah gelombang ke AC dari DC pada sumber. Salah satu fungsi dari *inverter* tersebut dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor yang diinginkan. Pada keluaran AC sinusoidal besarnya frekuensi dan magnitude dapat dikontrol, dimana keluaran AC yang dikontrol secara independen adalah bentuk gelombang tegangan. *Inverter* dibangun dari sakelar daya yang menyebabkan bentuk gelombang AC terdiri dari nilai-nilai diskrit. Nilai keluaran frekuensi dan magnitude pada *inverter* dapat dikontrol dengan menggunakan *pulse-width-modulation* (PWM), pengoperasian ini dilakukan dengan mengontrol jumlah waktu dan urutan yang digunakan untuk menghidupkan dan mematikan sakelar daya. Pada klasifikasinya, *inverter* dapat dibagi menjadi 2, yaitu *inverter* satu fasa dan *inverter* tiga fasa. Perbedaan dari *inverter* satu dan tiga fasa terdapat pada besaran rentangan daya rendah dan daya menengah hingga tinggi yang akan digunakan (Rasyid, 2007).

2.1.1 *Full Bridge Inverter*

Rangkaian dasar dari *full bridge inverter* dapat dilihat pada Gambar 2.1 (a), keluaran AC dihasilkan dari masukan DC dengan menutup dan membuka sakelar sesuai dengan urutannya. Tegangan keluaran V_o dapat menjadi +VDC, -VDC, atau nol, bergantung dari sakelar mana yang tertutup. Gambar 2.1 (b) sampai (e) menunjukkan rangkaian ekuivalen dari kombinasi penyakelaran. Sehingga, dari rangkaian tersebut, dapat dibuat tabel hasil yang disajikan pada Tabel 2.1. Ingat bahwa sakelar S_1 dan S_2 tidak boleh tertutup pada saat yang sama, hal ini berlaku juga kepada S_3 dan S_4 . Apabila hal ini diabaikan, maka akan terjadi hubung singkat pada sumber DC. Sakelar tidak dapat aktif dan tidak aktif seketika, sehingga transisi penyakelaran harus dibantu pada pengaturan penyakelaran. Pengaktifkan tanpa menonaktifkan sakelar berkali-kali akan

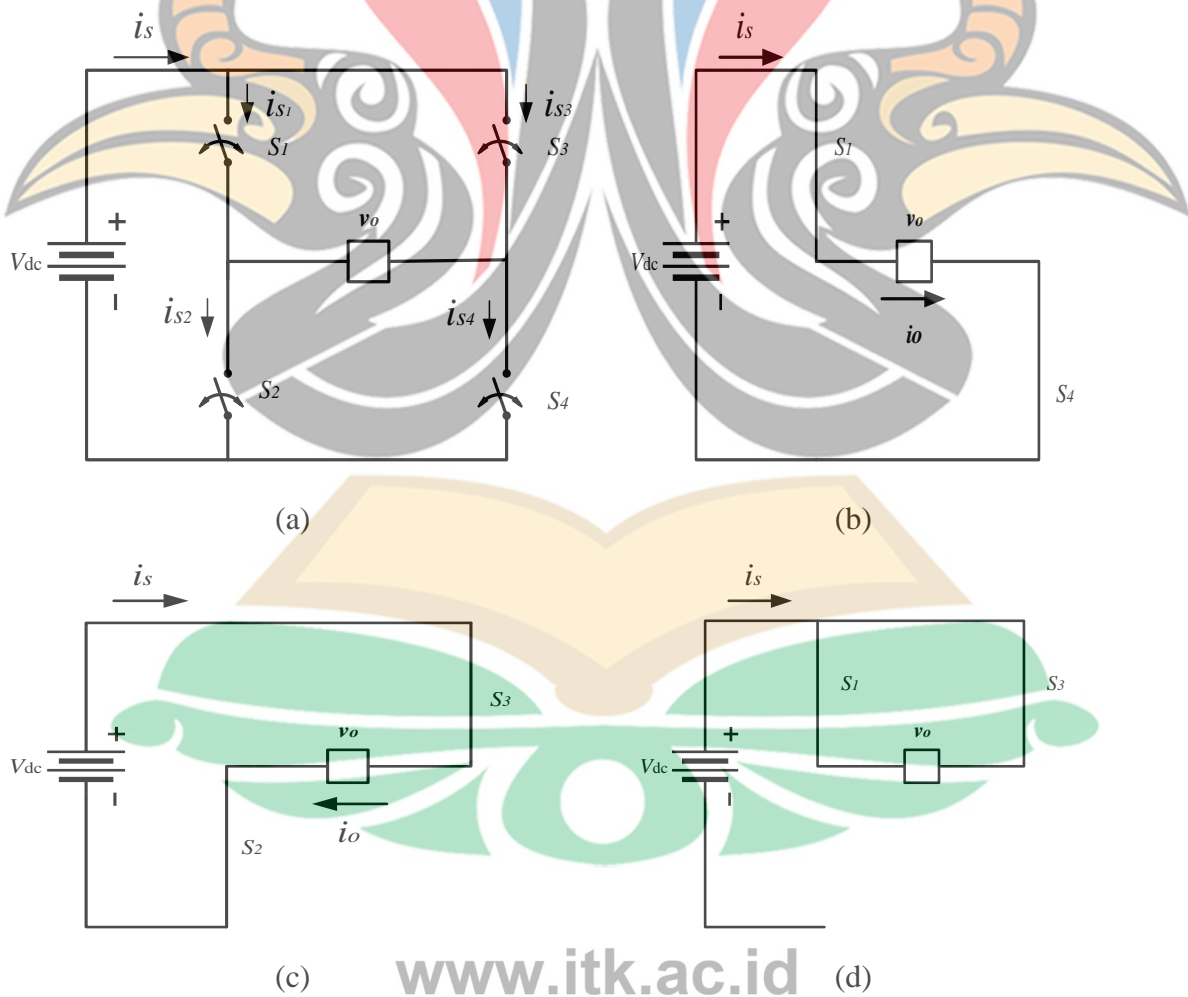
menghasilkan hubung singkat, kadang-kadang disebut *shoot-through fault*, melintasi sumber tegangan DC. Waktu yang diizinkan untuk berganti disebut *blanking time* (Hart, 2011).

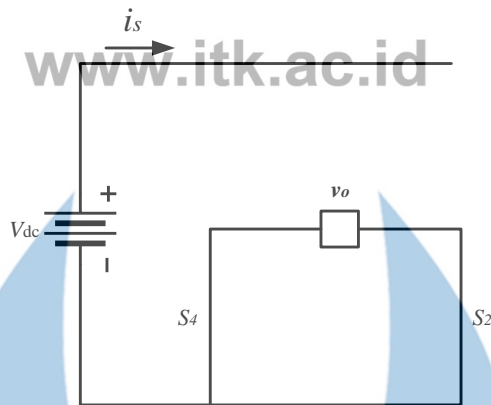
Tabel 2.1 Tabel Hasil Penyakelaran *)

Sakelar Tertutup	Tegangan Keluaran (V_o)
S_1 dan S_4	+V DC
S_2 dan S_3	-V DC
S_1 dan S_3	0
S_2 dan S_4	0

*) (Hart, 2011)

Dapat diperlihatkan Gambar 2.1 rangkaian *full bridge inverter* dan kondisi saat penyakelaran pada *inverter*.



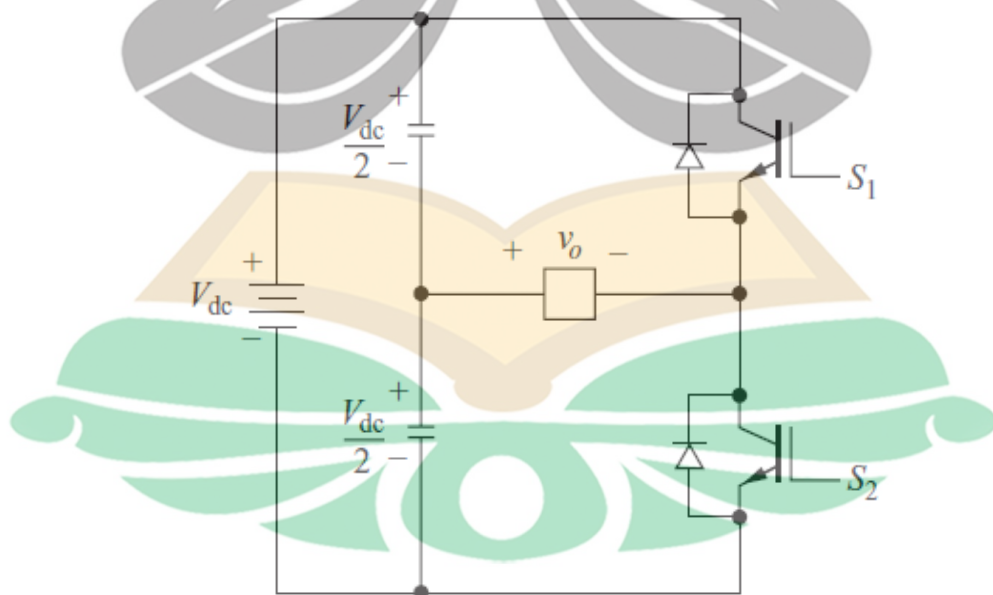


(e)

Gambar 2.1 (a) Rangkaian *full bridge inverter*, (b) Sakelar S_1 dan S_2 tertutup, (c) Sakelar S_3 dan S_4 tertutup, (d) Sakelar S_1 dan S_3 tertutup, (e) Sakelar S_2 dan S_4 tertutup (Hart, 2011).

2.1.2 *Half Bridge Inverter*

Rangkaian *Inverter half bridge* atau *inverter* setengah jembatan merupakan rangkaian *inverter* yang sederhana yang sering digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari *half bridge inverter*.



Gambar 2.2 Skema rangkaian *half bridge inverter* (Hart, 2011)

Dalam rangkaian, jumlah dari sakelarnya adalah dua dengan membagi sumber tegangan DC menjadi dua bagian kapasitor. Setiap kapasitor akan menjadi nilai yang sama dan akan memiliki tegangan $V_{DC}/2$ melalui kapasitor tersebut. Ketika S_1 tertutup, tegangan beban adalah $-V_{DC}/2$. ketika S_2 tertutup, tegangan beban adalah $+V_{DC}/2$. Sehingga, keluaran sebuah gelombang persegi atau sebuah keluaran *pulse width modulated*. Tegangan yang melintas sebuah sakelar terbuka adalah bernilai dua kali dari tegangan beban atau V_{DC} . Seperti *full bridge inverter*, *blanking time* untuk sakelar dibutuhkan untuk menekan hubung singkat terhadap sumber dan dioda umpan balik dibutuhkan untuk menyediakan kontinuitas dari arus untuk beban induktif (Hart, 2011).

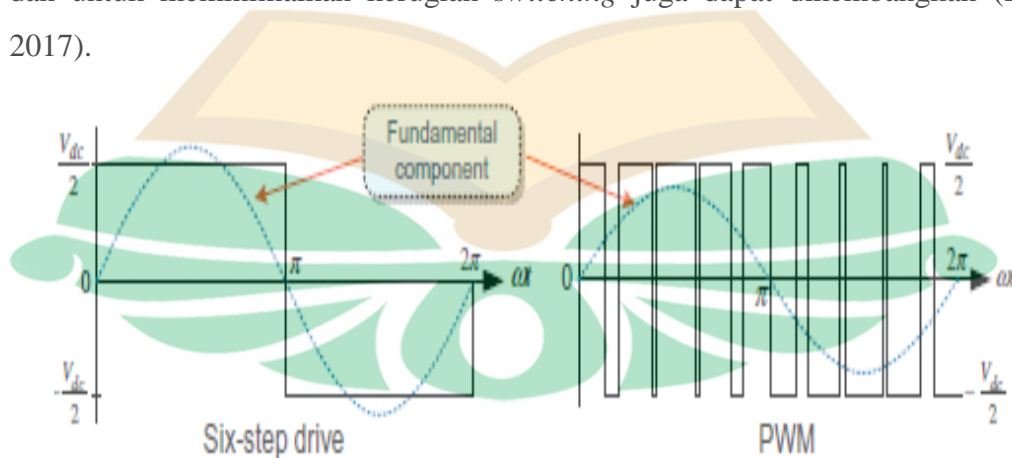
2.2 Metode Sinyal Penyakelaran

Pada konverter elektronika daya, energi listrik dari satu level dari tegangan atau arus atau frekuensi akan dikonversikan menjadi bentuk lainnya dengan menggunakan komponen sakelar berbasis semikonduktor. Proses dari penyakelaran pada perangkat konverter elektronika daya dari kondisi satu ke kondisi lainnya disebut modulasi. Setiap bagian keluar dari converter daya memiliki strategi modulasi yang diinginkan yang bertujuan untuk mengoptimalkan operasi rangkaian. Parameter seperti frekuensi switching, distorsi, kerugian, harmonik yang dihasilkan, dan kecepatan respon adalah masalah yang harus dipertimbangkan ketika mengembangkan strategi modulasi untuk converter daya. Pada *inverter* PWM (*Pulse Width Modulation*) berfungsi untuk mengurangi distorsi tegangan keseluruhan karena harmonisa dari *inverter*, tetapi dengan menggunakan penyakelaran yang tepat besar tegangan harmonik orde rendah dapat dikurangi, biasanya dengan meningkatkan besarnya tegangan harmonik orde tinggi. Situasi seperti itu dapat diterima dalam banyak kasus, karena tegangan harmonik dari frekuensi yang lebih tinggi dapat disaring dengan menggunakan ukuran filter dan kapasitor yang lebih rendah. Banyak beban, seperti beban motor yang memiliki kualitas yang melekat untuk menekan arus harmonik frekuensi tinggi dan karenanya filter eksternal mungkin tidak diperlukan (Peddapelli, 2017).

Pada konverter modern ini, *Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan sebuah proses dengan kecepatan dengan kisaran cepat tergantung pada rentang dari beberapa kilohertz (pengaturan kecepatan motor) sampai kepada rentang megahertz (resonansi konverter untuk catu daya). Terdapat beberapa metode PWM yang berbeda dalam metode pelaksanaannya. Tetapi dalam semua teknik dari PWM ini bertujuan adalah untuk menghasilkan tegangan keluaran, yang setelah beberapa penyaringan, akan menghasilkan tegangan keluaran yang setelah beberapa penyaringan, akan menghasilkan bentuk gelombang tegangan keluaran sinusoidal berkualitas baik dari frekuensi dan besaran fundamental yang diinginkan (Peddapelli, 2017).

2.2.1 *Pulse Width Modulation* (PWM)

PWM merupakan sebuah teknik yang digunakan untuk mengatur frekuensi pada tegangan keluaran. Untuk mengontrol amplitudo dan frekuensi tegangan keluaran, teknik PWM umumnya digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada *inverter* PWM kontrol berikut ini mungkin mengontrol linear tegangan dari tegangan keluaran mendasar, mengontrol frekuensi tegangan keluaran, dan mengontrol harmonik dalam tegangan keluaran. Tujuan utama PWM adalah untuk menghasilkan pulse dari sakelar untuk *inverter* untuk menghasilkan tegangan keluaran dengan amplitudo dan frekuensi dasar yang diinginkan. Dalam proses modulasi ini, pola *switching* untuk menghilangkan harmonisa yang tidak perlu dan untuk meminimalkan kerugian *switching* juga dapat dikembangkan (Kim, 2017).



www.itk.ac.id

Gambar 2.3 Kontrol tegangan keluaran dari *inverter* (Kim, 2017).

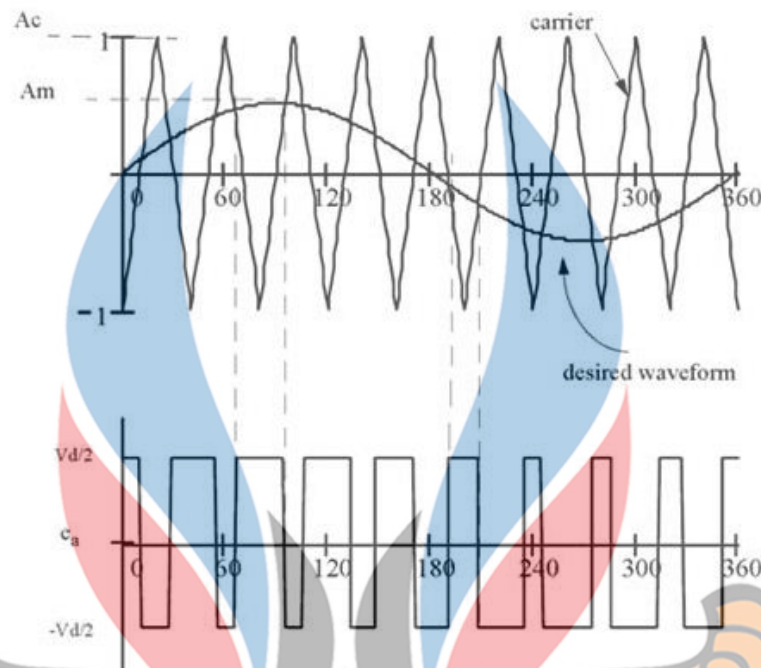
Dalam pengaplikasiannya pada *inverter*, PWM dapat mengatur proses penyakelaran pada komponen penyakelaran yang digunakan, yaitu *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) maupun *Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET). Pengaturan dengan metode PWM harus memiliki spesifikasi yang sangat kompleks, sehingga keluaran yang dihasilkan dari *inverter* dapat menyatu dengan jaringan. PWM harus didesain sedemikian rupa dengan dasar pengaturan non-linier (Tong, 201).

Pengaturan dengan metode PWM juga memiliki keuntungan setiap spesifik penyakelaran. Dalam penyakelaran IGBT menggunakan PWM, dapat dinyatakan bahwa PWM dapat memberikan hasil yang baik dengan frekuensi penyakelaran diatas 100 kHz. Dari sini dapat dipertimbangkan lagi bahwa frekuensi penyakelaran berdampak kepada hasil keluaran *inverter* (Chen, 2011).

2.2.2 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) adalah sebuah teknik PWM yang digunakan pada *inverter*. *Inverter* menghasilkan keluaran AC dari tegangan masukan DC dengan menggunakan *switching* yang dilakukan oleh sakelar untuk mensimulasikan gelombang sinus dengan menghasilkan satu atau lebih pulsa tegangan persegi per setengah siklus. Jika lebar pulsa disesuaikan sebagai cara mengatur tegangan keluaran, maka keluaran dikatakan sebagai PWM. SPWM menghasilkan beberapa pulsa per setengah siklus. Pulsa di dekat tepi setengah siklus selalu lebih sempit daripada pulsa di dekat pusat setengah siklus sehingga lebar pulsa sebanding dengan amplitudo yang sesuai dari gelombang sinus pada bagian siklus. Untuk mengubah tegangan keluaran dengan efektif, lebar semua pulsa dinaikkan atau diturunkan dengan tetap mempertahankan proporsionalitas sinusoidal. Dengan modulasi lebar pulsa, hanya lebar pulsa (tepat waktu) yang dimodulasi. Dalam SPWM klasik, bentuk gelombang referensi sinusoidal dibandingkan dengan bentuk gelombang pembawa segitiga untuk menghasilkan urutan *switching* untuk semikonduktor daya dalam modul *inverter*. Metode kontrol frekuensi dasar SPWM diusulkan untuk meminimalkan kerugian *switching*. Metode kontrol *multi-carrier* SPWM juga diterapkan untuk meningkatkan kinerja *inverter* bertingkat dan

diklasifikasikan menurut pengaturan sinyal pembawa vertikal atau horizontal (Colak, 2013).



Gambar 2.4 Sinusoidal pulse width modulation (Colak, 2013).

Dalam metode modulasi SPWM, *on* dan *off* dari sinyal PWM dapat ditentukan dari perbandingan gelombang referensi dengan gelombang segitiga atau sinyal *carrier* frekuensi tinggi seperti Gambar 2.4 (Peddapelli, 2017).

Frekuensi dari tegangan keluaran dapat ditentukan dari frekuensi gelombang modulasi. Amplitudo dari puncak gelombang modulasi menentukan indeks modulasi dan pada gilirannya mengontrol nilai dari RMS dari tegangan keluaran. Saat indeks modulasi diubah, nilai RMS dari tegangan keluaran juga akan berubah. Teknik ini meningkatkan faktor distorsi secara signifikan dibandingkan dengan cara modulasi multiphase lainnya. Ini menghilangkan semua harmonisa kurang dari atau sama dengan $(2n-1)$, dimana n didefinisikan sebagai jumlah pulsa per setengah siklus gelombang sinus. Tegangan keluaran *inverter* berisi harmonisa. Rasio amplitude modulasi dapat ditentukan dengan persamaan 2.1

$$m_a = \frac{\text{amplitudo puncak } V_{\text{control}}}{\text{amplitudo } V_{\text{carrier}}} \quad (2.1)$$

Dimana (V_o) adalah komponen frekuensi dasar dari tegangan kutub V_o . Jika $m_a \leq 1$, nilai amplitude dari frekuensi dasar dari tegangan keluaran bernilai linier secara proporsional kepada m_a .

$$V_o = m_a \times V_s \quad (2.2)$$

Rasio modulasi frekuensi (m_f), yang seharusnya bilangan bulat adalah rasio antara frekuensi PWM dan frekuensi dasar.

$$m_f = \frac{f_c}{f_m} \quad (2.3)$$

Amplitudo dari frekuensi dasar dari keluaran SPWM selanjutnya diatur oleh m_a . Dimana f_c merupakan frekuensi dari PWM atau frekuensi *carrier* dan f_m merupakan sinyal dasar atau referensi. Tegangan keluaran dari SPWM memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi referensi dari tegangan modulasi. Teknik penyakelaran *inverter* dengan SPWM dapat mereduksi arus harmonis dan dapat dihasilkan gelombang keluaran mendekati sinusoidal (Fuadi, 2014; Hart, 2011; Peddapelli, 2017).

Untuk menentukan jumlah pulsa yang dihasilkan dan dibutuhkan untuk menghasilkan sinyal penyakelaran pada metode SPWM dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$N_p = \frac{T_d/2}{T_c} \quad (2.4)$$

T_d dan T_c adalah periode dari sinyal referensi dan sinyal *carrier*, periode sendiri dapat dicari dengan persamaan 2.5.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.5)$$

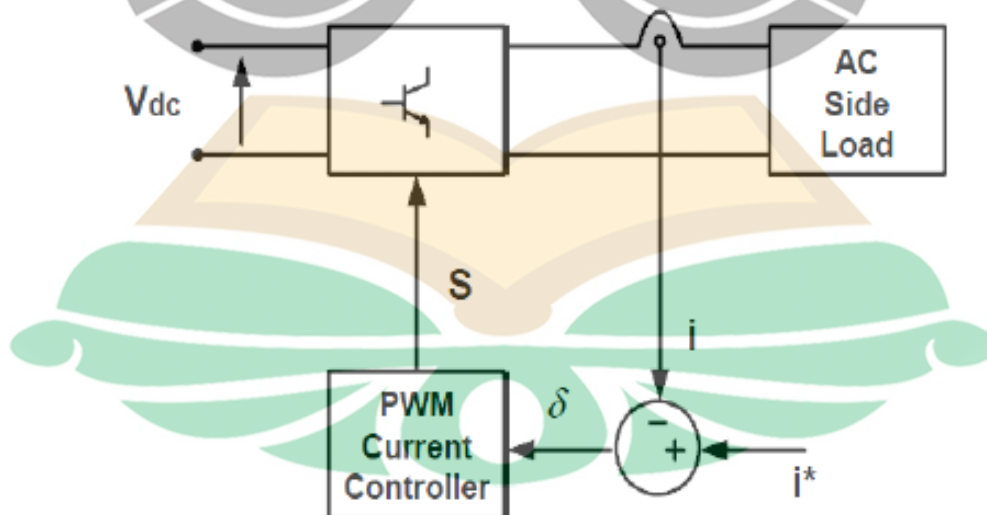
Untuk menentukan nilai dari *duty cycle* PWM yang akan digunakan. Maka mendapatkan gelombang sinus sangat penting untuk menentukan nilai *duty cycle*. Pada sisi digital, sangat memungkinkan menghitung nilai dari PWM yang juga merupakan sinusoidal. Namun, sangat dibutuhkan untuk mendefinisikan beberapa aspek untuk mendapatkan nilai yang diinginkan. Jumlah step juga didapatkan dengan membandingkan periode dari satu siklus sinyal sinus dengan periode penyakelaran yang digunakan dalam satu siklus. Maka didapatkan persamaan 2.6.

$$Array = \frac{T_d}{T_c} \quad (2.6)$$

T_d dan T_c merupakan periode dari sinyal referensi dan sinyal *carrier* (Sola, 2016).

2.2.3 Hysterisis Band Pulse Width Modulation (HBPWM)

Prinsip dasar dari HBPWM adalah referensi sinusoidal dari magnitudo dan frekuensi yang diinginkan dibandingkan dengan sinyal segitiga dari batasan histeresis. Kontrol arus histeresis dasar didasarkan pada kontrol PWM yang memperbaiki tegangan keluaran *inverter* secara langsung. Tugas utama dari pengontrol arus PWM di *inverter* adalah untuk menyesuaikan arus keluaran, i , untuk melacak referensi saat ini yang disediakan oleh i^* (Ganesan, 2018).

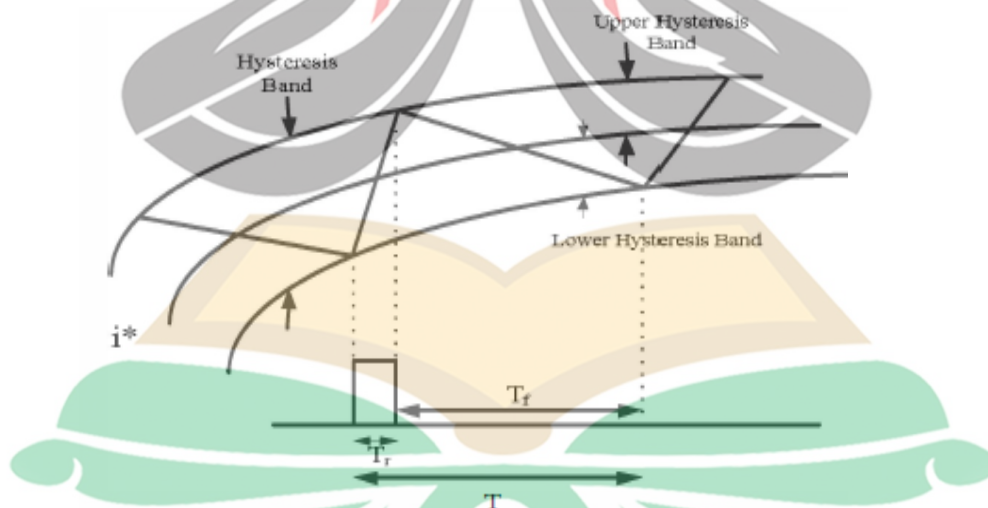


Gambar 2.5 Skema dasar hysteresis band pulse width modulation (Ganesan, 2018).

Membandingkan arus sesaat dalam beban dengan sinyal referensi, pengontrol harus menyesuaikan *duty cycle* sinyal PWM di *inverter*. Sebagai akibatnya, sinyal kesalahan (δ) harus dikurangi. Pada Gambar 2.5 merupakan skema dasar dari HBPWM. Kesalahan antara dua (i dan i^*) akan melewati komparator dengan batasan histeresis yang sesuai untuk membatasi arus sedekat mungkin dengan nilai aktual. Batasan histeresis menentukan arus *ripple peak to peak* dan frekuensi *switching*. Pada Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram untuk kontrol arus sesaat. Saat arus melebihi nilai batasan histerisis yang telah ditentukan, sakelar atas akan dalam keadaan mati dan sakelar bawah akan aktif selama waktu t_f . Karena tegangan keluaran ini jatuh ke nilai saturasi yang lebih rendah dari nilai saturasi atas yang akan mengakibatkan kehilangan arus. Untuk menghindari kesalahan pada setiap transisi ada ketentuan untuk waktu penguncian t_d yang menyebabkan jalur untuk bentuk gelombang arus sinusoidal aktual dalam *hysteresis band* (HB). Batasan histerisis dapat didefinisikan secara matematis sebagai (Tanmay, 2016).

Jika $(i - i^*) > HB$: Sakelar atas aktif

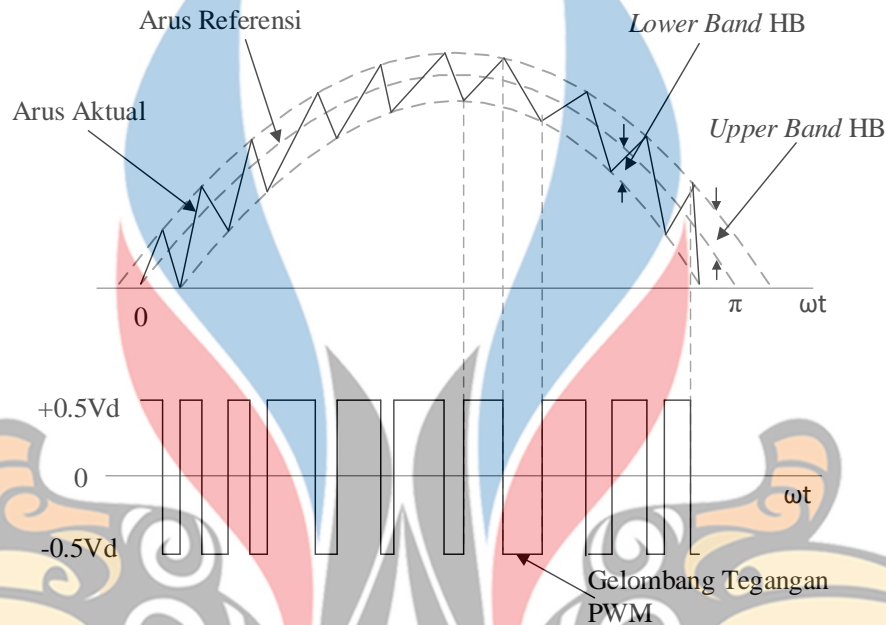
Jika $(i - i^*) < -HB$: Sakelar bawah aktif



Gambar 2.6 Prinsip dari *hysteresis band pulse width modulation* (Tanmay, 2016).

Untuk kinerja dinamis yang optimal harus ada keseimbangan antara frekuensi *switching* dan arus *ripple*. Untuk frekuensi *hysteresis band switching* yang lebih kecil adalah arus *ripple* tinggi dan rendah (Tanmay, 2016).

HBPWM merupakan metode pengaturan arus umpan balik dari *inverter* secara terus menerus pada PWM, di mana arus aktual sebagai sinyal *carrier* secara terus menerus mengikuti arus referensi atau sinyal sinus didalam sebuah *hysteresis band*. Pada gambar 2.7 dapat dilihat bentuk gelombang modulasi dengan menggunakan metode penyakelaran HBPWM (Ranganadh, 2013).



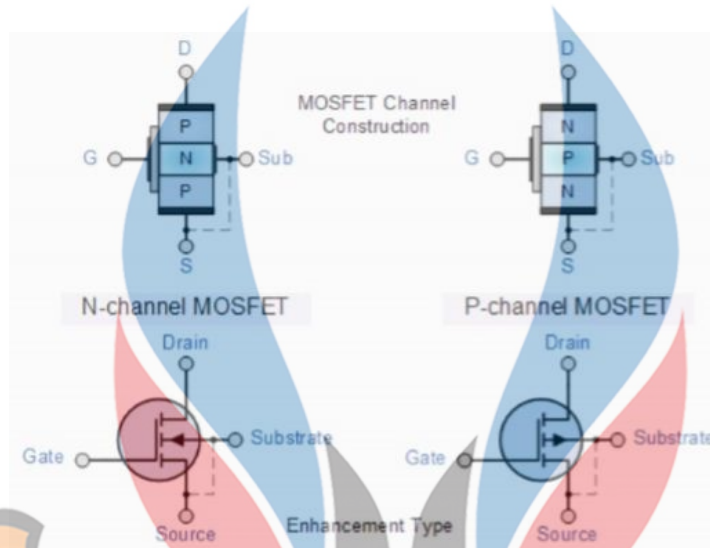
Gambar 2.7 Prinsip kontrol arus *hysteresis-band* (Ranganadh, 2013)

2.3 MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*)

Komponen penyakelaran MOSFET atau singkatan dari *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* adalah komponen semikonduktor yang dikontrol dengan tegangan. MOSFET berfungsi untuk melakukan penyakelaran dengan kapasitas arus yang besar. MOSFET memiliki tiga terminal yaitu *gate*, *drain*, dan *source* menggantikan tiga terminal untuk kolektor, emitor, dan basis pada BJT. Komponen BJT beroperasi dengan mengatur arus sedangkan MOSFET daya adalah perangkat yang beroperasi mengatur tegangan (Bimbhra, 2004; Hart, 2011).

MOSFET adalah salah satu komponen penyakelaran yang dapat digunakan pada *inverter* yang terhubung kepada jaringan. Perbedaan MOSFET P-Channel memiliki panah keluar, hal ini menunjukkan bahwa pada MOSFET P-Channel

memiliki konduktansi yang terjadi disebabkan oleh *holes*, sedangkan MOSFET N-Channel memiliki panah masuk, yang menunjukkan bahwa konduktansi yang terjadi dikarenakan oleh elektron (Jain, 2007; Linggarjati, 2012).



Gambar 2.8 N dan P channel MOSFET (Linggarjati, 2012)

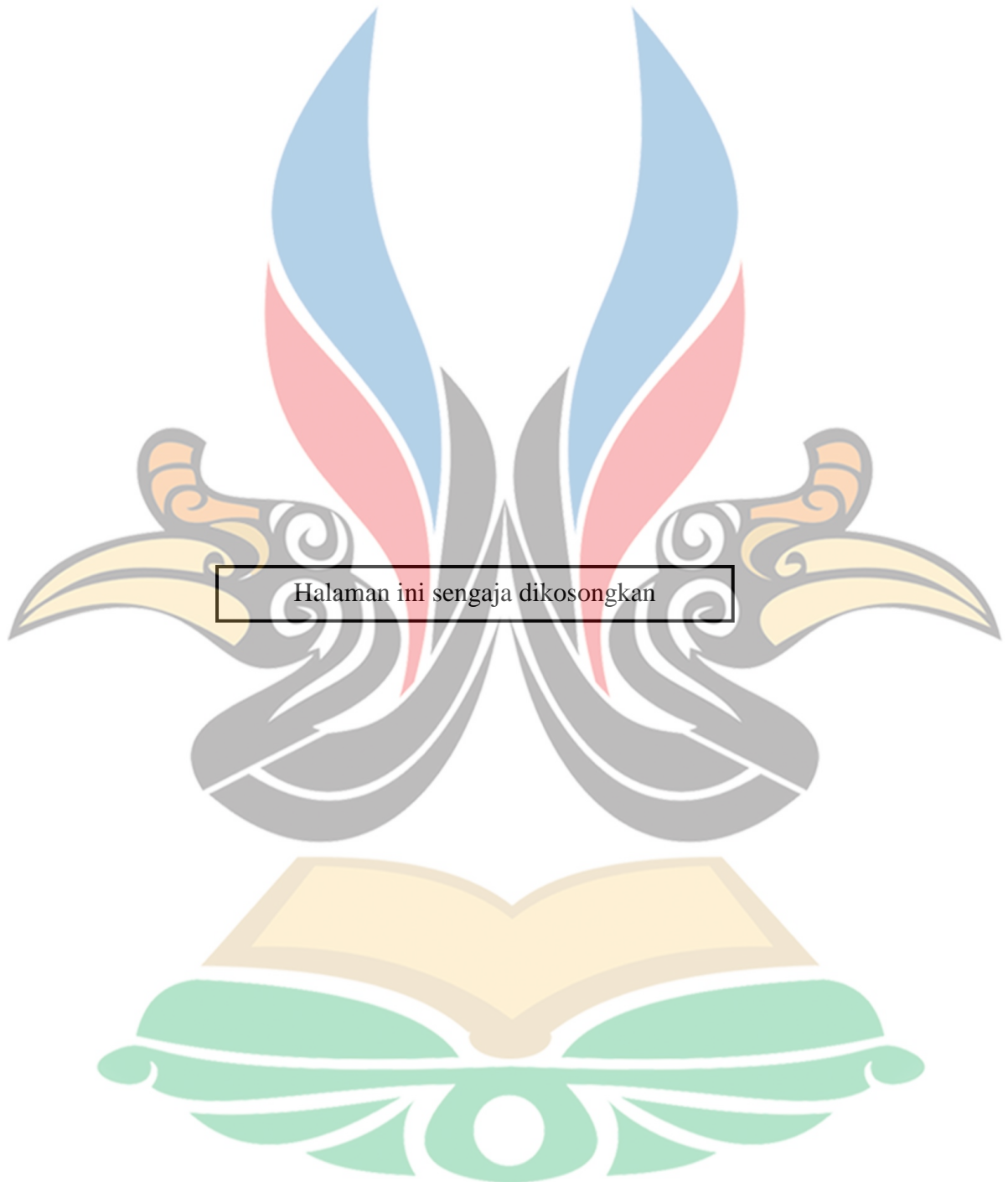


2.4 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2.2 Tabel Hasil Penelitian yang Tela Dilakukan

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
1.	G. Ganesan Subramanian, Dr. M.K. Mishra, K. Jayaprakash and P.J. Sureshbabu (2018)	<i>Simulation Study of Hysteresis Current Controlled Singl Phase Inverters for PhotoVoltaic Systems with Reduced Harmonics level</i>	HBPWM dan SPWM	Dari hasil penelitian, metode hysteresis current controller dapat mengurangi THD dari metode SPWM
2.	Amruta Pattnaik, Haymang Ahuja, Shubham Mittal, Nisha Kothari, Tushar Sharma (2015)	<i>Design and Implementation of SPWM and Hysteresis based VSI Fed Induction Motor</i>	SPWM dan HBPWM	Dari hasil penelitian, pada metode HBPWM dapat mengurangi THD saat performa motor induksi bekerja dengan baik dibandingkan dengan SPWM
3.	Murat KALE, Engin OZDEMIR (2015)	<i>A New Hysteresis Band Current Control Technique for A Shunt Active Filter</i>	HBPWM	Dari hasil penelitian, pada metode HPWM dapat mengurangi kehilangan daya
4.	Ferry Aditya Sandjojo, Iwan Setiawan dan Trias Andromeda (2018)	Implementasi Kontrol Arus Pada Inverter Satu Fasa Menggunakan Dspic30f4011 Dengan Metode Kontrol Hysteresis	HBPWM	Dari hasil penelitian, Gelombang arus keluaran pada inverter dengan kontroler arus Histeresis dapat mengikuti referensi arus dengan baik, meskipun nilai resistansi beban diubah.
5.	Andika Rama Alam (2019)	Analisis Perbandingan Metode <i>Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) dan Hysteresis Band Pulse Width Modulation (HBPWM) Pada Single Phase Inverter</i>	SPWM dan HBPWM	

www.itk.ac.id



Halaman ini sengaja dikosongkan

www.itk.ac.id