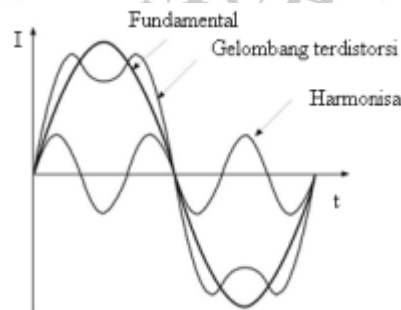


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Total Harmonik Distortion (THD)*

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi akibat penyimpangan gelombang tegangan dan arus yang berasal dari perwujudan gelombang frekuensi harmonik serta frekuensi dasar. Jika frekuensi fundamental sebuah sistem ialah 50Hz harmonik ke-2 ialah 100Hz dan harmonik ke-3 ialah 150Hz, kemudian gelombang harmonik ikut pada gelombang dasar menyebabkan bentuk gelombang tidak sinusoidal.



Gambar 2.1 Gelombang fundamental, harmonik, dan fundamental terdistorsi

THD merupakan indeks harmonik terhadap kualitas tegangan dan arus pada suatu sistem. THD biasanya dijelaskan berbentuk presentase rasio nilai RMS harmonik dengan nilai RMS dasar. indikator tersebut mewakili seberapa panjang wujud gelombang periodik dengan harmonik yang bersebrangan dari wujud gelombang sinus. Ada berbagai macam standar batas THD yang ditentukan, namun umumnya standar acuan yang dipakai sebagai batas THD ialah IEEE std 519-2014.

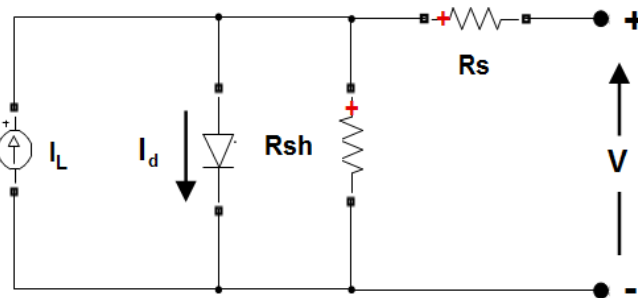
Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
69 kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
161 kV $< V$	1.0	1.5 ^a

Tabel 2.1 Rekomendasi batas harmonik tegangan

$$V_{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 1.1}$$

2.2 Solar cells (Panel Surya)

Solar Cells ialah sebuah komponen semi konduktor seperti silikon yang terdiri dari sebagian besar dioda p-n junction, dimana ketika cahaya dapat menghasilkan listrik. Perubahan ini disebut *photovoltaic*, ketika cahaya menimpa cells, beberapa bagian cahaya tersebut menyerap pada bahan semikonduktor. *Photovoltaic* cells mempunyai beberapa medan listrik yang membuat elektron bergerak ke arah tertentu. Aliran elektron ini adalah arus listrik kemudian berpacar secara acak.



Gambar 2.2 Photovoltaic

Karakteristik *photovoltaic* dapat dijelaskan pada persamaan berikut [rumus sel surya] :

$$i_{pv} = i_{ph} - i_o \left[\exp\left(\frac{v_{pv} + i_{pv} R_s}{\frac{n k b T}{q}}\right) - 1 \right] - \frac{v_{pv} + i_{pv} R_s}{R_p} \dots\dots\dots 1.2$$

Dimana :

i_{pv} = Arus keluaran sel surya

I_{ph} = Arus yang dihasilkan dari penyerapan energi proton

I_o = Arus saturasi dioda

q = Muatan elektron

V_{pv} = Tegangan keluaran sel surya

R_s = Tahanan seri

R_p = Tahanan Shunt

n = faktor ideal

k_b = konstanta boltzman

T = suhu sel surya

2.3 MPPT (Maximum Power Point Tracking)

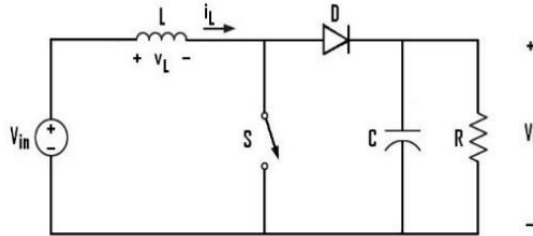
Maximum power point tracking (MPPT) adalah sistem yang mengoperasikan modul sel surya untuk menghasilkan jumlah daya listrik yang efisien sebagai produksi dari sel surya. MPPT bukan merupakan sistem yang mengarahkan modul sel surya pada matahari namun MPPT sendiri merupakan sistem yang secara keseluruhan mengubah titik operasi pada sel surya sehingga mampu menghasilkan daya yang maksimal.

Karena MPPT berubah dengan adanya radiasi matahari dan suhu sekitar maka dibutuhkan algoritma MPPT untuk mengeluarkan potensi daya maksimal dari panel surya. Algoritma P&O merupakan algoritma yang umum dan mudah diaplikasikan pada berbagai variasi daya. Algoritma P&O bekerja dengan membandingkan nilai tegangan referensi dan tegangan keluaran sel surya sehingga dapat menaikkan dan menurunkan tegangan secara berkala.

2.4 Boost Converter

Boost converter ialah konverter yang dapat mengeluarkan tegangan yang lebih besar dari sumber tegangan input. Tegangan yang diproduksi oleh boost converter memiliki polaritas serupa dengan sumber tegangan input. Konverter ini beroperasi secara periodik ketika saklar ON dan OFF. Boost converter beroperasi di dua keadaan ketika saklar ON dan OFF. Saat saklar ON, dioda berubah pada

reverse bias mengakibatkan besar arus input serupa seperti arus induktor. Pada keadaan ini induktor menahan energi. Sedangkan saat saklar OFF, dioda akan berubah pada forward bias dan induktor akan membuang energi yang disimpan.



Gambar 2.3 Rangkaian DC Boost Converter

Untuk mencari parameter dari rangkaian tersebut menggunakan rumus:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_o} \dots\dots\dots 1.3$$

Induktor

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta I_L \cdot f_s} \dots\dots\dots 1.4$$

Kapasitor

$$C = \frac{D}{R \cdot \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \cdot f_s} \dots\dots\dots 1.5$$

Keterangan :

D : Duty Cycle

V_{in} : Tegangan Input

ΔI_L : Riak Arus Induktor

f_s : Frekuensi Switching

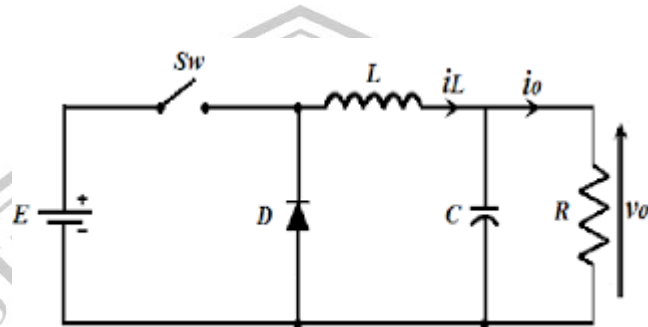
R : Resistansi

ΔV_o : Riak Tegangan Output

V_o : Tegangan Output

2.5 Buck Konverter

Buck Converter adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dengan inpur yang lebih besar agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan. Buck konverter bekerja dalam dua keadaan ketika saklar ON dan OFF, pada saat skalar ON dioda OFF lalu arus mengalir menuju induktor dan difilter oleh kapasitor sampai ke beban. Pada saat saklar OFF arus yang ditahan pada induktor dibuang ke beban dan berbalik lagi ke induktor.



Gambar 2.4 Rangkaian DC-DC Buck Converter

Untuk mencari parameter rangkaian tersebut menggunakan rumus :

$$D = \frac{v_{in}}{v_o} \dots\dots\dots 1.6$$

Induktor

$$L = \frac{v_o(v_{in} \cdot v_o)}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot v_{in}} \dots\dots\dots 1.7$$

Kapasitor

$$C = \frac{v_o(v_{in} \cdot v_o)}{8 \cdot L \cdot v_{in} \cdot f_s^2} \dots\dots\dots 1.8$$

Keterangan :

D : Duty Cycle

Vin : Tegangan Input

ΔI_L : Riak Arus Induktor

f_s : Frekuensi Switching

L : Induktor

V_o : Tegangan Output

2.6 Kontrol PI (Proporsional Integral)

Kontrol PI digunakan sebagai pengatur tegangan pada konverter sehingga menghasilkan tegangan DC yang stabil sebagai input tegangan inverter cascade H-Bridge 5 level. Kontrol PI terdiri dari P (proporsional) dan I (integral) yang memiliki karakteristik berbeda. Terdapat beberapa teknik dalam tuning kontrol PI yaitu *trial error*, analisis Ziegler Nichols dan juga Cohen-Coon.

Fungsi alih dari kontrol PI dapat dinyatakan sebagai berikut :

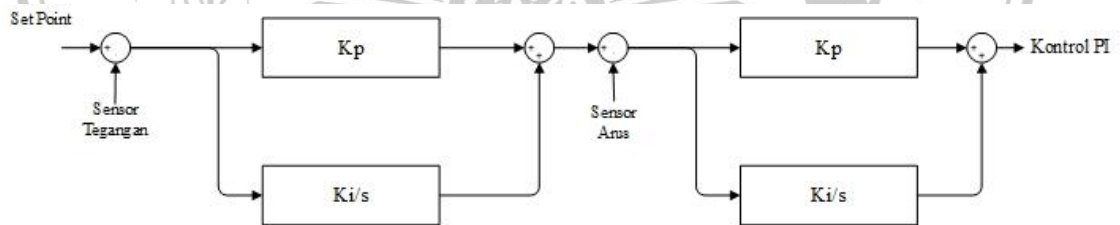
$$G_{PI}(s) = K_p \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots 1.9$$

Keterangan :

K_p : Konstanta Proporsional

K_i : Konstanta Integral

s : waktu

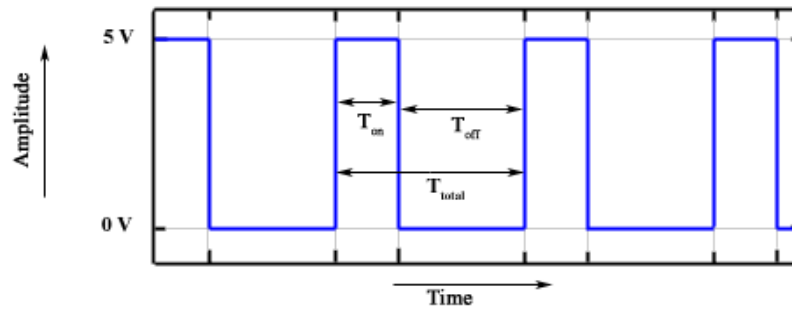


Gambar 2.5 Diagram kontrol PI

Konstanta proporsional yaitu dapat mempercepat respon ouput dari suatu plant untuk mencapai set point, sedangkan konstanta integral digunakan untuk memperkecil error agar menjadi kondisi steady state dari output.

2.7 Generator PWM (Pulse Width Modulation)

Generator PWM adalah generator yang menghasilkan pulsa kotak yang lebar pulsanya (duty cycle) dapat diatur dan besarnya duty cycle dalam satu perioda untuk memperoleh tegangan yang berbeda.



Gambar 2.6 Bentuk pulsa PWM

2.8 Battery

Baterai ialah sebuah sel listrik yang mengandung proses elektrokimia yang sifatnya berbalikkan dengan efisiensi yang tinggi. Proses tersebut bersifat berbalikkan ialah ketika baterai sedang melakukan memproses perubahan menjadi energi listrik, dan sebaliknya dari energi listrik ke energi kimia, pengisian energi baterai adalah dengan cara meregenerasikan elektroda yang ada dan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan pada sel.

2.9 Cascade H-Bridge Konvensional

Inverter bertingkat menggunakan rangkaian inverter *full bridge* yang terhubung seri dengan input terpisah pada pengaturan modular untuk membuat bentuk gelombang bertahap. Inverter jembatan penuh ini sendiri merupakan inverter 3 tingkat dan setiap modul ditambahkan untuk memperluas inverter dengan tingkat tegangan yang berbeda lagi, dimana akan menambah jumlah step pada gelombang.

Pada tiap tingkatan multilevel dapat menghasilkan tiga tegangan output berbeda-beda, $+V_{dc}$, 0 , $-V_{dc}$ yang dihubungkan pada sumber dc dan keluaran ac dengan perbandingan gabungan dari empat buah saklar, Saklar1, Saklar2, Saklar3, Saklar4. Agar menghasilkan $+V_{dc}$, maka saklar1 dan Saklar4 hidup, saat $-V_{dc}$ juga bisa diperoleh dengan menyalakan Saklar2 dan Saklar3.

Dengan mematikan Saklar1, Saklar2, Saklar3, Saklar4 maka output tegangan ialah nol. Tegangan output AC di tiap tingkat inverter *full bridge* berbeda-beda dihubungkan seri yang menghasilkan gelombang tegangan dari penjumlahan

seluruh output inverter. Jumlah tingkat tegangan output di setiap fasa pada multilevel inverter dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n = 2H + 1 \dots\dots\dots 1.6$$

Jumlah H-bridge/sumber :

$$H = \frac{n-1}{2} \dots\dots\dots 1.7$$

Jumlah Saklar :

$$S = n2 - 2 \dots\dots\dots 1.8$$

Maksimum tegangan :

$$S = H \times Vdc \dots\dots\dots 1.9$$

Keterangan:

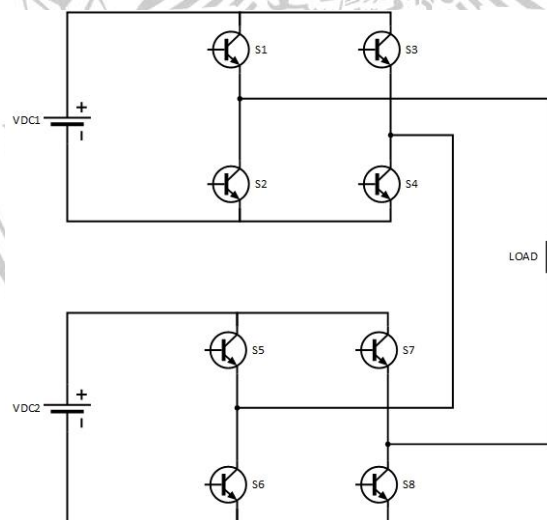
n= Jumlah level tegangan output

H= Jumlah H-bridge/sumber

S= Jumlah Saklar

Vdc= Nilai tegangan DC

a) Topologi CHB konvensional



Gambar 2.7 Cascade H bridge 5 level konvensional

Operasi pensaklaran CHB 5 level

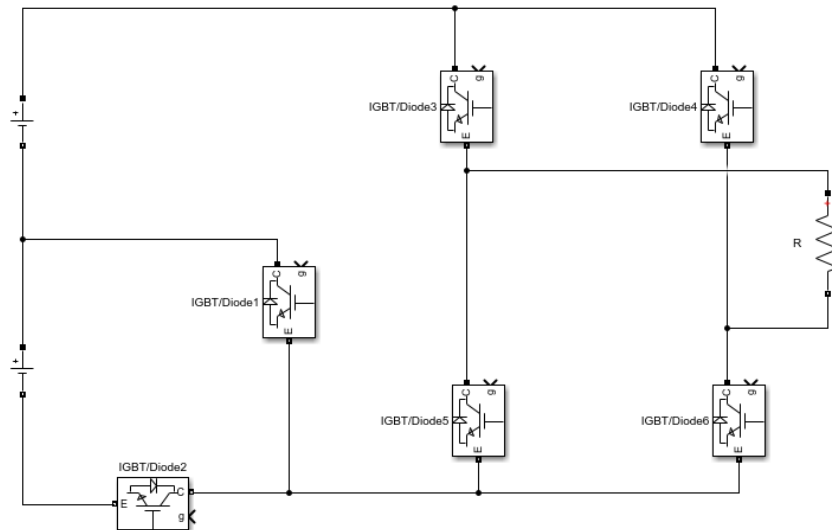
CHB 5 level memiliki 2 CHB seperti gambar diatas, CHB 5 level memiliki 2 sumber DC terpisah dan 8 IGBT. Operasi pensaklaran CHB 5 level dijelaskan pada **tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Operasi pensaklaran CHB 5 Level

Tegangan Output	Saklar							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
2V	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
V	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON
0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
-V	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON
-2V	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF

2.9.1 Cascade H-Bridge 5 Level yang dimodifikasi

Berdasarkan struktur sub-multilevel maka topologi yang diajukan dengan mengurangi jumlah saklar digambarkan di **gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Cascade H bridge 5 level yang dimodifikasi

Operasi pensaklaran CHB 5 level yang dimodifikasi

CHB 5 level memiliki 2 sumber DC terpisah dan 6 IGBT. Operasi pensaklaran CHB 5 level dapat dijelaskan dalam **tabel 2.3**. Pada +2Vdc S2,S3,S6 ON, +Vdc S1,S3,S6 ON

Tabel 2.3 Operasi pensaklaran CHB 5 level yang dimodifikasi

Tegangan Output	Saklar					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2Vdc	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
Vdc	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
-Vdc	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
-2Vdc	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF

2.10 Filter LC

Filter LC adalah gabungan dari induktor yang dihubungkan seri dengan kapasitor yang di shunt dengan output inverter. Induktor dihubungkan seri dengan output inverter karena memiliki sifat dapat menyimpan perubahan arus yang mengalir, sedangkan pada kapasitor yang dihubungkan secara paralel dengan beban dapat mengisi muatan serta menyimpan energi pada saat periode konduksi. Untuk mendapatkan nilai L dan C pada filter didapatkan dari persamaan :

Induktor

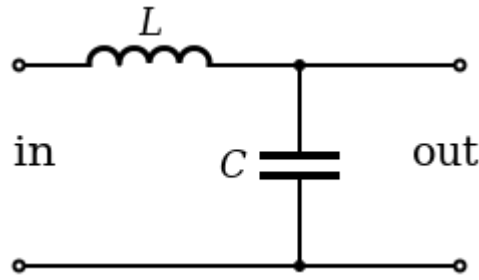
$$L_f = \frac{V_{dc}}{4f_s \Delta I_{pp}} \dots\dots\dots 1.10$$

Kapasitor

$$C = \left(\frac{10}{2\pi f_s}\right)^2 \times \left(\frac{1}{L_f}\right) \dots\dots\dots 1.11$$

Frekuensi cut off

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}} \dots\dots\dots 1.12$$

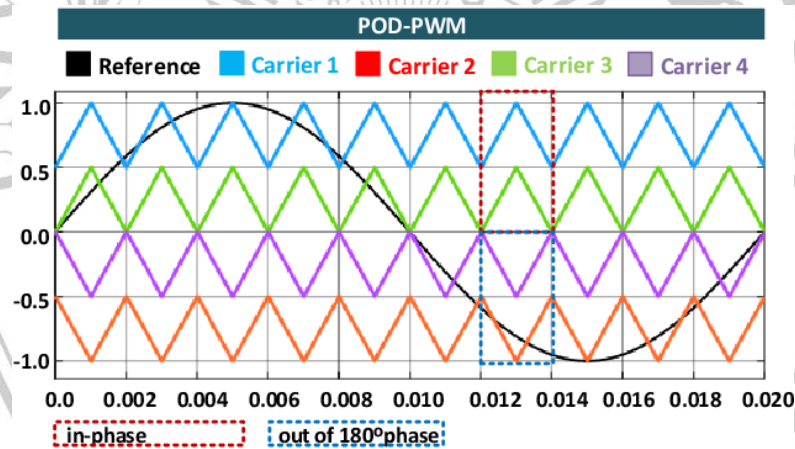


Gambar 2.9 Rangkaian filter LC

2.11 PODPWM

Phase Opposition Disposition (POD) adalah salah satu jenis modulasi multicarrier, dimana gelombang carrier diatas nol sefasa dan dibawah nol berbeda 180° dari fasa awal. Aturan untuk phase opposition disposition pulse width modulation adalah apabila jumlah level inverter 5 maka m=5.

Gelombang pembawa atau gelombang carrier m-1=4 disusun berurutan sehingga gelombang carrier diatas nol sefasa dan dibawah nol berbeda 180° dari fasa.



Gambar 2.10 Phase opposition disposition pulse width modulation

2.12 PR kontrol

Proportional resonant kontrol ialah sistem yang dapat memperbaiki respon sistem pada loop tertutup dengan mengontrol variable sinusoidal yang memiliki frekuensi resonansi pada 50Hz dan saat waktu yang sama menolak frekuensi lainnya. Transformasi laplace dari PR kontrol adalah sebagai berikut :

$$G_{PR}(s) = K_p \frac{2K_r s}{s^2 \omega_1^2} \dots\dots\dots 1.13$$

Keterangan:

K_p : Konstanta proportional

K_r : Konstanta resonant

s : waktu

ω_1 : frekuensi resonan

Dimana K_p adalah konstanta proportional dapat mempercepat respon sistem sementara K_r adalah konstanta resonan yang dapat menghilangkan error steady state dan magnitude.

2.13 Beban (Load)

Beban listrik adalah beban yang membutuhkan listrik untuk dapat bekerja sehingga semua komponen yang memerlukan listrik untuk bekerja dapat dikatakan sebagai beban listrik, beban listrik terbagi dua menjadi beban linier dan non linier.

Beban linier memiliki impedansi yang tetap sehingga tegangan dan arus sebanding seiring waktu seperti yang dinyatakan pada hukum ohm beban non linier ialah beban yang menghasilkan gelombang arus yang berbeda dengan gelombang tegangan yang mengakibatkan gangguan pada gelombang tersebut.