

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah jenis pembangkit listrik yang menggunakan sel surya atau photovoltaic (PV) sebagai sumber energi. Pembangkit photovoltaic (PV) sendiri adalah perangkat yang menggunakan bahan semikonduktor untuk menghasilkan energi dari matahari. Karena jenis energi yang dihasilkan adalah DC atau arus searah, pembangkit listrik tenaga surya (PV) adalah pilihan yang paling ramah lingkungan untuk menghasilkan energi [13].

Rumus persamaan arus output pada modul PV adalah (I_{pv}) :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(v + IR_s)}{N_s A k T} \right) - 1 \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

I_{ph} = photocurrent (A)

I_0 = arus saturation dari dioda (A)

q = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)

V = tegangan dioda (V)

K = konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)

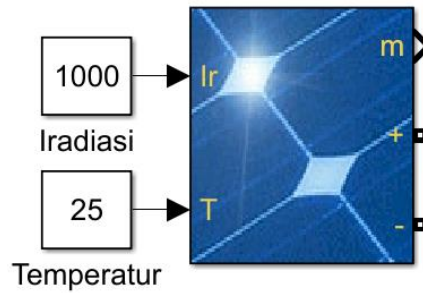
T = suhu junction dalam Kelvin (K)

A = faktor idealitas dari dioda 1,3. untuk *polycrystalline*

R_s = tahanan seri dari dioda

N_s = jumlah sel hubung seri

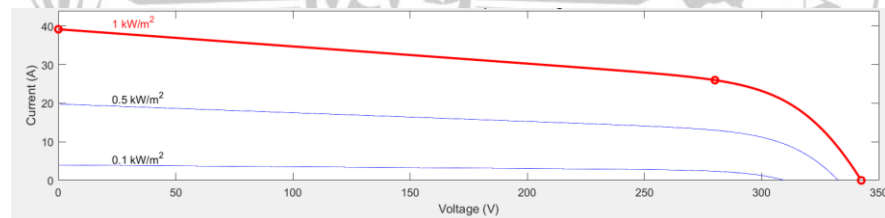
\exp = fungsi eksponensial (2,71828183)



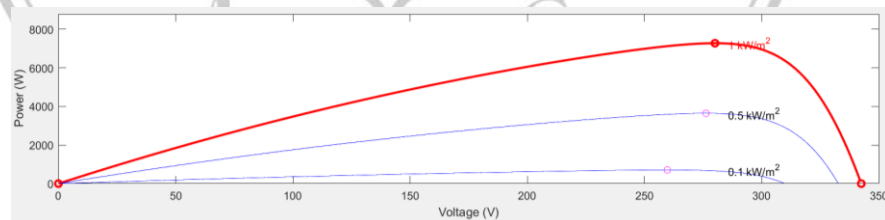
Gambar 2.1 Panel Surya/*Photovoltaic* (PV)

2.1.1 Radiasi Matahari (*Irradiance*)

Meskipun radiasi matahari memainkan peran penting dalam menghasilkan listrik, kestabilan tegangan fotovoltaik dapat terganggu karena radiasi yang tidak konstan dan selalu berubah. Oleh karena itu, untuk menjaga stabilitas fotovoltaik dalam kondisi yang berubah, diperlukan pengawasan Maksimal Daya Tinggi (MPPT). Berikut adalah nilai besaran listrik yang dihasilkan oleh berbagai tingkat radiasi.



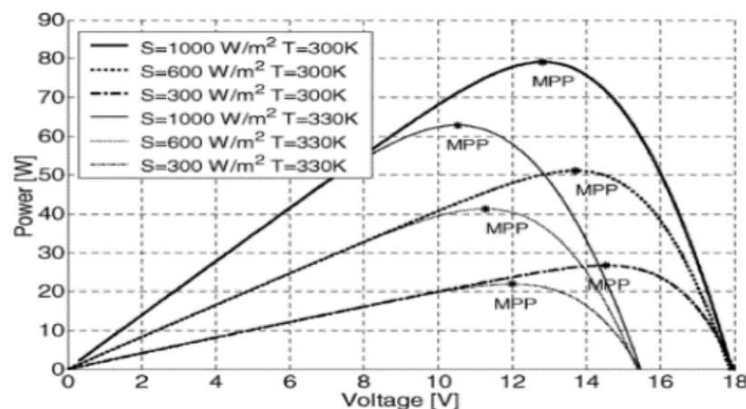
Gambar 2.2 Karakteristik Radiasi Matahari untuk Tegangan dan Arus PV



Gambar 2.3 Karakteristik Radiasi Matahari untuk Tegangan dan Daya PV

2.1.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

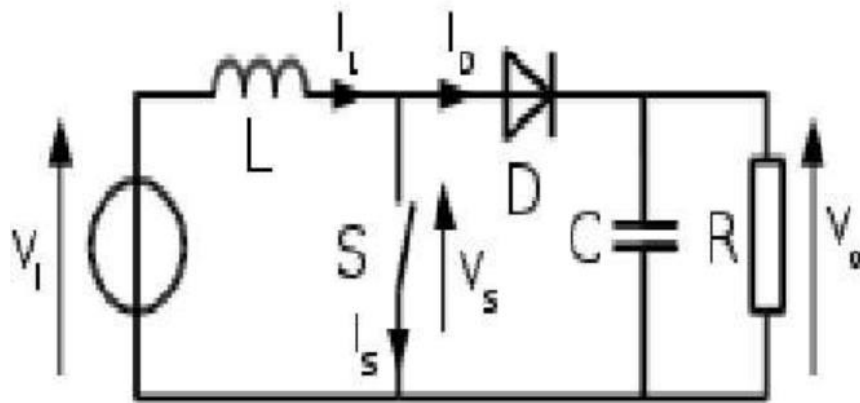
Metode pelacakan titik daya puncak (MPPT) adalah cara untuk menemukan lokasi titik daya puncak (MPP) yang belum diketahui dan mempertahankan tegangan fotovoltaik pada titik MPP tersebut [2]. Aplikasi MPPT adalah konverter DC-DC yang membantu fotovoltaik untuk menghasilkan daya maksimum sesuai dengan kapasitas fotovoltaik, sehingga ketika panel fotovoltaik menemukan titik daya puncak, fotovoltaik dapat bekerja lebih baik dan mendapatkan beban yang paling banyak. Cara yang mudah untuk mencapai MPPT adalah dengan mengubah tegangan hingga panel fotovoltaik menemukan titik daya puncak. Karena radiasi matahari yang selalu berubah-ubah, sistem MPPT perlu memiliki fleksibilitas dalam mencari nilai daya maksimal, Pelacakan MPPT ditunjukkan pada Gambar 2.4 [12].



Gambar 2.4 Karakteristik PV dengan Suhu dan Iradiasi yang Berbeda

2.1.3 DC-DC Boost Converter

DC-DC Boost Converter bekerja ketika tegangan masukan lebih rendah dari yang diharapkan. Ini memungkinkan pengubah untuk meningkatkan tegangan ke tingkat yang diinginkan, dan beban (Load) dapat menerima jumlah daya yang diperlukan. Rangkaian *DC-DC boost converter* ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.5 Rangkaian Dc-Dc *Boost Converter*

Saat sakelar dalam keadaan tertutup, arus akan mengalir melalui induktor dalam arah searah jarum jam, sehingga induktor akan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Kutub positif terletak pada kiri sisi induktor. Ketika sakelar dibuka, arus menurun dan impedansi meningkat. Untuk menjaga arus yang mengalir ke beban, medan magnet yang dihasilkan sebelumnya harus dihancurkan. Dalam proses ini, polaritas berbalik terjadi, yang berarti sisi kiri induktor menjadi negatif. Setelah itu, dua sumber dihubungkan secara seri untuk menghasilkan tegangan yang lebih besar. Tegangan ini dapat digunakan untuk mengisi kapasitor melalui dioda [13].

Untuk menghitung cara kerja sistem konverter boost berdasarkan tegangan keluaran yang diinginkan, persamaan (2.2) digunakan..

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2.2)$$

Mencari Nilai R dengan persamaan (2.3).

$$R = \frac{V_o}{I} \quad (2.3)$$

Perkirakan arus riak induktor pada tegangan input maksimum untuk memilih nilai induktor yang tepat. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai acuan. Dengan demikian, perkiraan arus riak dapat digunakan untuk menentukan nilai induktor.

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2F} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.5) menyatakan bahwa nilai ΔV_o , yaitu riak tegangan keluaran yang diinginkan, adalah sebesar 1%. Hal ini berarti bahwa kita ingin meminimalkan riak tegangan keluaran sehingga nilainya tidak melebihi 1% dari tegangan keluaran yang diinginkan.

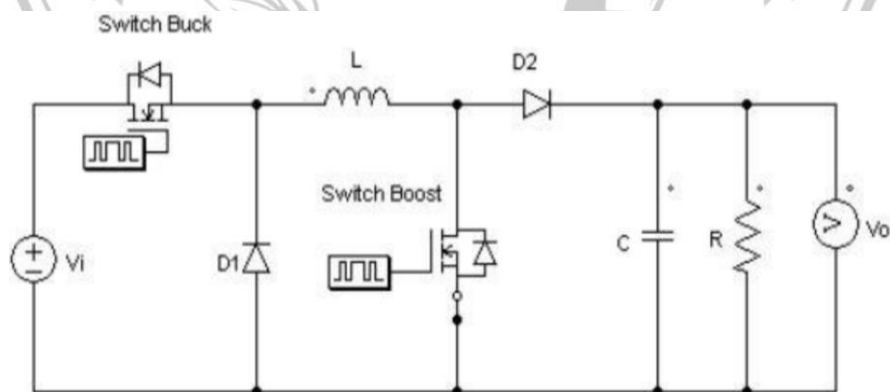
$$\Delta V_o = 1\% \times V_{in} \quad (2.5)$$

Nilai kapasitor yang tepat untuk mengurangi riak tegangan keluaran atau variasi tegangan keluaran dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan (2.6). Dalam persamaan ini, kita menggunakan nilai riak atau variasi tegangan keluaran untuk mengetahui nilai kapasitor yang dibutuhkan. Oleh karena itu, persamaan (2.6) dapat digunakan untuk memilih nilai kapasitor.

$$C = \frac{V_{out} \times D}{R \times \Delta V_{out} \times f} \quad (2.6)$$

2.1.4 DC-DC Buck Boost Converter (Bidirectional)

Buck Boost DC-DC Converter adalah kombinasi dari Boost Converter dan Buck Converter. Berfungsi saat tegangan turun atau beberapa volt lebih rendah dari tegangan output, sedangkan Boost Converter beroperasi saat tegangan turun atau dengan kata lain tegangan input lebih rendah dari tegangan yang diharapkan untuk mencapai tingkat dan beban yang diinginkan.



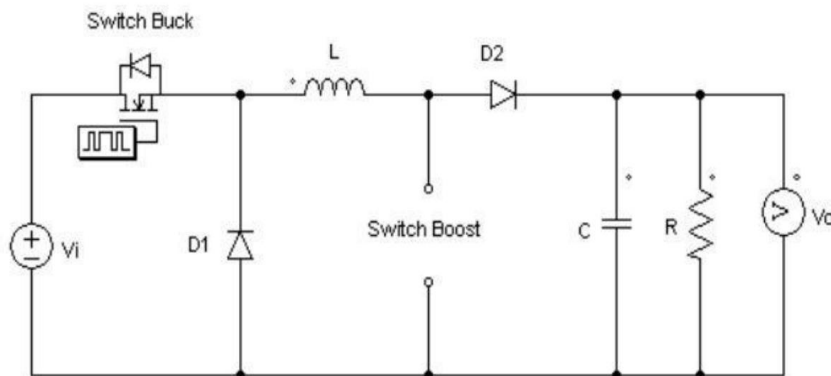
Gambar 2.6 Rangkaian Dc-Dc Buck Boost Converter

Terdapat 3 mode pengontrolan pada *Buck Boost Converter*, Yaitu :

- Mode *Boost* = Mode ini terjadi saat nilai tegangan tidak mencapai ketentuan yang sudah ditetapkan atau dibawah *setpoint*.
- Mode *Buck* = Mode ini terjadi saat nilai tegangan melebihi ketentuan yang sudah ditetapkan atau diatas *setpoint*.
- Mode *Buck Boost* = Mode ini terjadi saat nilai tegangan masukan konsisten atau satabil dan hampir menyamai tegangan yang ditentukan

2.1.5 Mode Buck Converter

Pada mode buck, PWM 1 buck akan memberikan sinyal *switching* kepada S**bu**ck, sementara S**bo**ost akan memperoleh sinyal *switching* dari PWM 2 dengan nilai *duty-cycle* (D) = 0. Hal ini menyebabkan *switch* pada S**bo**ost terbuka, seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian Dc-Dc *Buck Boost Converter* Mode Buck

Dari gambar 2.7 dapat dilihat saklar buck tertutup sehingga terjadi *reverse* bias pada Dioda satu dan *forward* bias pada dioda dua mengakibatkan aliran daya akan mengisi induktor serta beban tersuplai. Persamaan pada mode buck dapat dilihat dibawah ini:

Mencari Nilai *Duty cycle* (D) untuk mendapatkan nilai keluaran yang diinginkan dengan persamaan (2.7)

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.7)$$

Mencari Nilai R yang diinginkan dengan persamaan (2.8)

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (2.8)$$

Untuk memilih nilai induktor yang tepat, perlu memperkirakan arus riak induktor pada tegangan input maksimum. Persamaan (2.9) dapat digunakan untuk melakukannya sebagai acuan. Dengan demikian, nilai induktor dapat dipilih berdasarkan perkiraan arus riak tersebut.

$$L = \frac{(1-D)^2}{2f} \times R \quad (2.9)$$

Persamaan (2.10) menyatakan bahwa nilai ΔV_o , yaitu riak tegangan keluaran yang diinginkan, adalah sebesar 1%. Hal ini berarti bahwa kita ingin meminimalkan riak tegangan keluaran sehingga nilainya tidak melebihi 1% dari tegangan keluaran yang diinginkan.

$$\Delta V_o = 1\% \times V_{in} \quad (2.10)$$

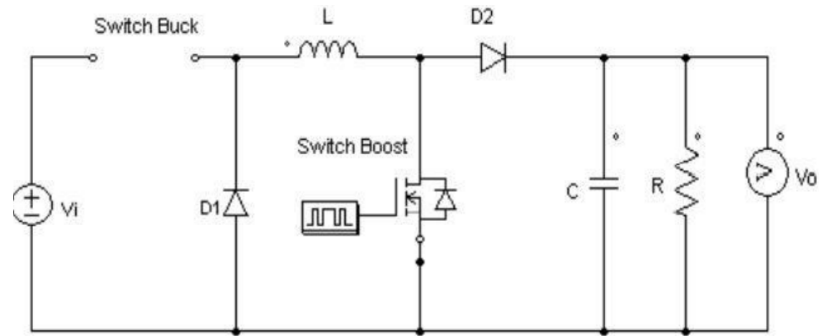
Persamaan (2.11) digunakan untuk menghitung nilai kapasitor yang tepat untuk mengurangi riak tegangan keluaran atau variasi tegangan keluaran. Dalam persamaan tersebut, kita menggunakan nilai riak atau variasi tegangan keluaran untuk memperkirakan nilai kapasitor yang dibutuhkan. Dengan demikian, pemilihan nilai kapasitor dapat dilakukan berdasarkan persamaan (2.11).

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V \times f} \quad (2.11)$$

2.1.6 Mode Boost Converter

Dalam mode boost, PWM 2 boost digunakan untuk memberikan sinyal *switching* ke S_{buck}, sementara S_{buck} memperoleh sinyal *switching* dari PWM 1

dengan nilai duty-cycle (D) = 0. Akibatnya, *switch* pada *Sbuck* akan terbuka, seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian DC-DC *Buck Boost Converter* Mode Boost

Dari gambar 2.8 dapat dilihat saklar boost tertutup sehingga terjadi bias mundur pada dioda 1 dan dioda 2 mengakibatkan aliran daya akan mengisi induktor. Pada sisi kiri induktor memiliki polaritas positif yang lebih tinggi daripada sisi kanan. Persamaan yang digunakan pada mode boost dapat dilihat di bawah ini:

$$\begin{aligned}
 V_i &= V_L \\
 V_i &= L \frac{di}{dt} \\
 V_i \cdot t_{on} &= L \cdot \Delta i
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Saklar pada mode boost dibuka terjadi ketika saklar boost dinyalakan (on), menghasilkan polaritas dioda satu bergerak kebelakang dan polaritas dioda dua bergerak kedepan. Karena impedansi yang meningkat, arus beban pada induktor menurun. Akibatnya, polaritas induktor menjadi terbalik, sehingga arus dioda dan arus beban akan dihitung dengan cara menambahkan arus sumber dan arus induktor. Saat ini, Daya disimpan dalam kapasitor dalam bentuk tegangan. Tegangan output dari konverter boost meningkat daripada tegangan inputnya.

$$\begin{aligned}
 V_o &= V_i + V_L \\
 V_o &= L \frac{\Delta i}{t_{off}} + V_i
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Persamaan yang diberikan di atas dapat dimanfaatkan dalam mendapatkan nilai V_o melalui penggunaan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_o &= V_i + V_i \frac{ton}{toff} \\
 V_o &= V_i(1 - ton toff) \\
 V_o &= V_i \left(\frac{1}{1-D} \right)
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

2.1.7 Baterai *Lead Acid*

Karena memerlukan sinar matahari dan perubahan cuaca, PLTS tidak dapat menghasilkan listrik secara konstan. Oleh karena itu, perlu ada tempat penyimpanan agar saat PLTS tidak dapat menghasilkan listrik, masih ada sumber listrik cadangan. Salah satu tempat penyimpanan ini adalah baterai. Baterai *Lead Acid* adalah salah satu jenis baterai yang paling umum digunakan karena memiliki manfaat berikut:

- Bebas perawatan,
- Relatif murah,
- Mampu *discharging* hingga 80% dari kapasitasnya (*deep discharging*),
- Memiliki tingkat bahaya yang sedikit dibandingkan dengan jenis lainnya.

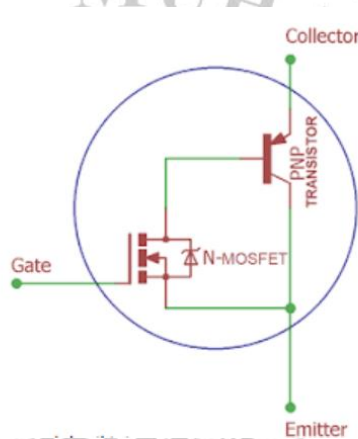
Baterai *Lead Acid* memiliki kekurangan, yaitu umur penggunaan yang singkat jika diisi dengan arus yang tinggi atau melebihi kapasitasnya. Untuk menjaga masa pakai baterai yang lama, penting untuk mengontrol arus pengisian dan kondisi pengisian (SoC) baterai [12].

Beberapa metode dapat digunakan untuk mengestimasi *State of Charge* (SoC) baterai, seperti yang dijelaskan dalam penelitian [13] dan [14]. Namun, rata-rata metode yang dipakai dalam mencari arus baterai untuk memperkirakan nilai SoC menggunakan rumus berikut:

$$SoC = SoC_0 + \frac{\eta}{c_{bat}} \int_{t_0}^t i_{bat}(\tau) d\tau \tag{2.14}$$

2.1.8 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

IGBT berfungsi sebagai saklar dan merupakan kombinasi antara transistor bipolar junction (BJT) dan transistor efek tanah metal oksida (MOS-FET). Inverter, emitter, dan collector adalah tiga terminal IGBT. Emitter dan collector terhubung ke sirkuit listrik, dan gate berfungsi sebagai pengendali. IGBT dapat bekerja dalam mode "ON" dan "OFF", masing-masing ditentukan oleh sinyal yang dikirim ke terminal gate. Dalam mode "ON", arus dapat mengalir melalui IGBT, sedangkan dalam mode "OFF", arus tidak dapat mengalir melalui IGBT.



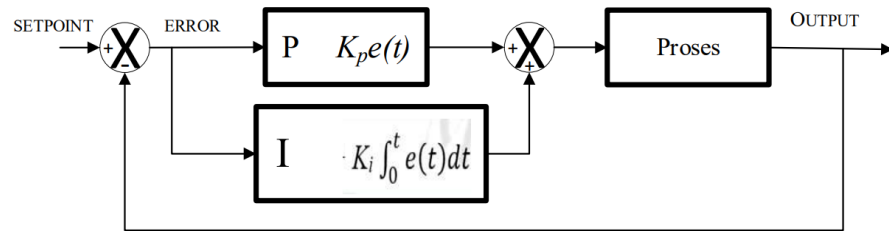
Gambar 2.9 Rangkaian IGBT

2.1.9 DC BUS

Bus daya listrik (DC) berfungsi sebagai penghubung antara sumber dan beban dan berfungsi sebagai pengatur tegangan untuk memastikan bahwa beban menerima catu daya yang diinginkannya. Tegangan BUS DC biasanya antara 12V dan 600V untuk penggunaan rumah. Ada kemungkinan bahwa penggunaan nilai tegangan tinggi akan mengurangi kerugian daya [13].

2.1.10 Proportional Integral (PI)

Kontrol *Proportional Integral* (PI) adalah sistem pengendali yang terdiri dari dua elemen yaitu *Proportional* (P) dan *Integral* (I). PI dipakai untuk menaikan reaksi dinamis dan memperkecil kesalahan steady-state pada suatu sistem.



Gambar 2.10 Blok Kontrol PI

persamaan matematis PI sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.15)$$

Tabel dibawah ini memperlihatkan respon dari kontrol PI:

Tabel 2.1 Respon Loop Tertutup Kontrol PI

Respon Loop Tertutup	Kp	Ki
<i>Settling Time</i>	Perubahan Kecil	Ditingkatkan
<i>Overshoot</i>	Ditingkatkan	Ditingkatkan
<i>Rise Time</i>	Dikurangi	Dikurangi
<i>Error Steady State</i>	Dikurangi	Dieliminasi

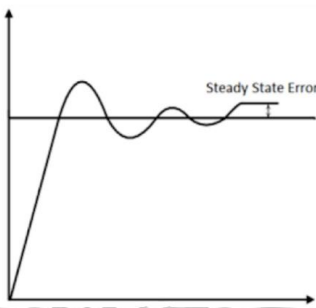
Proporsional - integral (PI) adalah salah satu komponen dari kontrol PID (*Proporsional-Integral-Derivative*) yang terdiri dari gabungan P dan I, sedangkan variabel D (*differential*) dihilangkan atau menjadi 0. Rumusan Kontrol PI dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2.16)$$

2.1.11 Proporsional (P)

Fungsi kontrol *proporsional* (P) atau yang disebut juga dengan pengaturan laju adalah untuk mempercepat waktu naik (*rise time*) suatu sistem kontrol. Pada kontrol ini, semakin besar nilai kesalahan, semakin besar pula kontrol keluaranya, dan sebaliknya, semakin kecil nilai kesalahan, semakin kecil pula kontrol keluaranya. Dengan menggunakan nilai K_p yang tepat, respon sistem dapat ditingkatkan. Namun, apabila K_p dinaikkan terlalu besar, variabel proses akan mulai bergetar dengan meningkat kecepatan dan menjadikan tidak stabilnya sistem. Rumus persamaan kontrol rasio:

$$P = K_p e(t) \quad (2.17)$$



Gambar 2.11 Respon Proporsional

2.1.12 Integral (I)

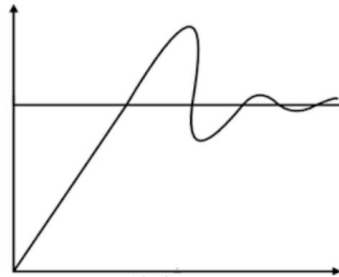
Kontrol integral berfungsi untuk mengurangi *error steady-state* dan mengoreksi *overshoot*. *Gain integral* berbanding terbalik dengan laju respons, sehingga peningkatan K_i akan mengurangi laju respons. Kontrol PI sering digunakan bersama-sama, yaitu pengontrol *proporsional* dan *integral*, untuk mencapai respons yang baik dan responsif terhadap kondisi. Rumus persamaan kontrol integral:

$$I = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.18)$$

Dengan keterangan :

K_I : gain integral dan error adalah selisih antara setpoint dan output aktual.

$\int_0^t e(t)dt$: *integral* waktu dari *error*, yang merupakan area di bawah kurva *error* vs waktu.

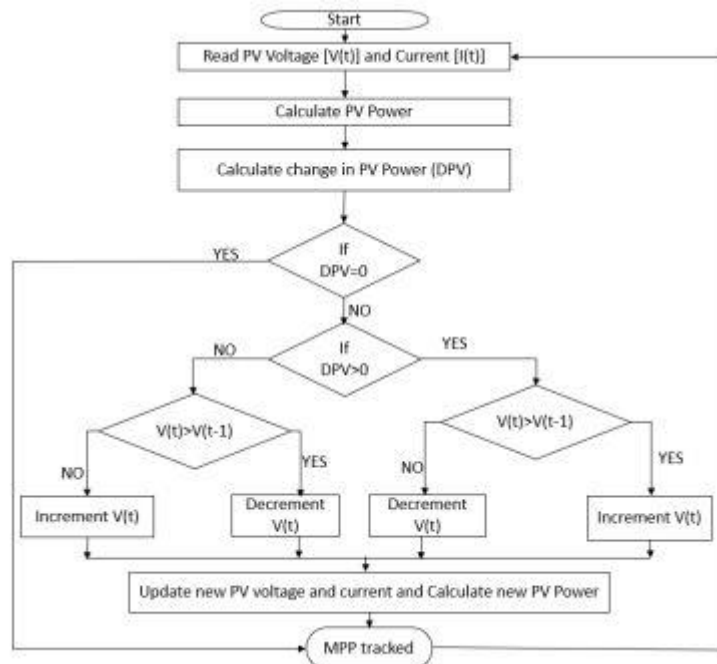


Gambar 2.12 Respon Integral

2.1.13 Perturn Algorithm and Observ (P&O)

Karena tergolong paling mudah diimplementasikan dan lebih sederhana, algoritma P&O menjadi yang paling sering digunakan oleh para peneliti [4].

Algoritma ini termasuk salah satu teknik dari MPPT yang kegunaannya pada sistem PV adalah agar sistem tersebut dapat menghasilkan daya maksimum. P&O dapat bekerja dengan memanfaatkan tegangan dan arus keluaran dari PV, dan beberapa parameter yang sudah diatur oleh penggunanya, agar dapat menyesuaikan sistem kerja untuk melacak *Maximum Power Point* (MPP) dan mencapai efisiensi yang lebih tinggi. diagram alir dari algoritma P&O [13]. Flowchart diperlihatkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Flowchart Bagaimana P&O Mengoptimasi PLTS

