

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini meninjau tentang teori pendukung yang berhubungan dengan permasalahan pada Bab 1. Teori pendukung tersebut di antaranya MPPT, *Flyback Converter*, *Fuzzy Logic Controller*, dan LC Filter.

2.1 *Maximum Power Point Tracking*

Maximum Power Point Tracking untuk selanjutnya disebut MPPT adalah sebuah sistem yang bertujuan menghasilkan daya keluaran yang maksimum. MPPT membutuhkan arus *input* (I) dan tegangan *input* (V) dalam pengoperasiannya. Nilai daya (P) pada **Persamaan 2.1** diperoleh dari nilai masukan arus dan tegangan.

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

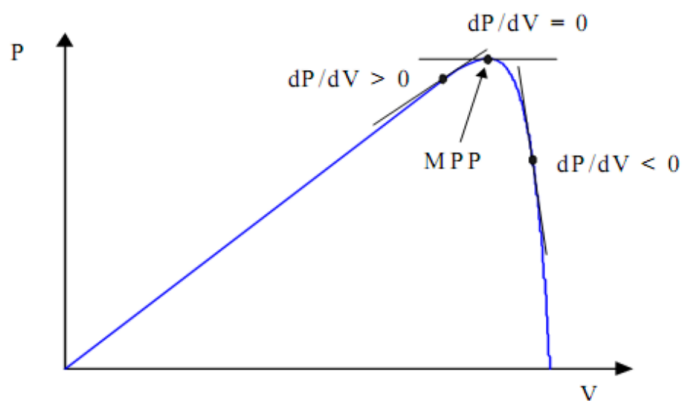
Perubahan daya keluaran yang tidak tetap disebabkan oleh perubahan pada nilai *irradiance* dan suhu. Selain itu, karakteristik *photovoltaic* tidaklah selalu bekerja pada titik optimumnya [8]. Prinsip kerja MPPT seperti pada **Gambar 2.1** yaitu menaikkan tegangan dan menurunkan tegangan kerja PV. Jika tegangan (V) berada pada daerah sebelah kiri tegangan maksimum (V_{mpp}) atau $V < (V_{mpp})$, maka V akan dinaikkan sampai mencapai V_{mpp} , jika V berada di sebelah kanan V_{mpp} atau $V > (V_{mpp})$, maka V akan diturunkan sampai mencapai V_{mpp} . Keadaan tercapainya V_{mpp} berarti daya keluaran juga akan maksimal (P_{mpp}), DC-DC *Converter* memegang tugas untuk menaikkan dan menurunkan tegangan[9]. Seperti yang dijelaskan pada Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.4), terdapat 3 posisi titik yang berbeda pada kurva daya PV *cell* [9].

$$\frac{dP}{dV} > 0, \quad (2.2)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0, \quad (2.3)$$

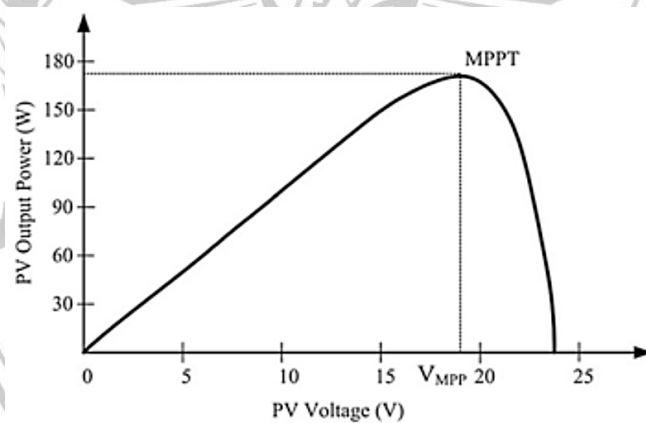
$$\frac{dP}{dV} < 0, \quad (2.4)$$

Ketiga persamaan tersebut merupakan nilai perubahan daya terhadap perubahan tegangan pada panel surya.

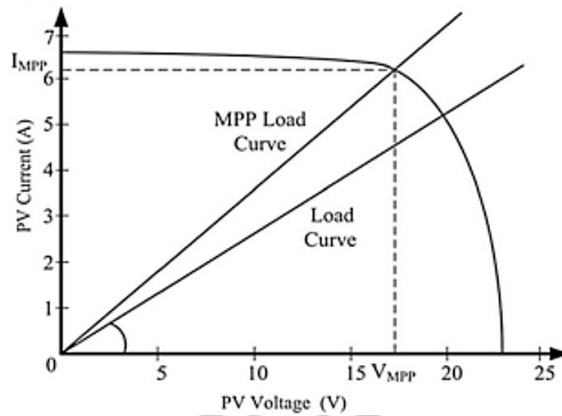


Gambar 2.1 Prinsip Kerja MPPT

Gambar 2.2 berupa kurva karakteristik MPPT yang menampilkan hubungan daya keluaran terhadap tegangan PV yang melacak dan mencatat titik MPPT sistem tersebut. Lalu pada kurva **Gambar 2.3** menunjukkan *range* atau area beban MPP pada arus PV terhadap tegangan PV. Karakteristik keluaran $I - V$ pada PV adalah nilai dari *irradiance* dan suhu. Transisi *irradiance* menentukan nilai keluaran dari arus PV sedangkan transisi suhu atau temperatur memengaruhi nilai keluaran dari tegangan PV. Sementara nilai keluaran dari daya PV ditentukan oleh impedansi beban, baik berupa beban DC dengan atau tanpa baterai.

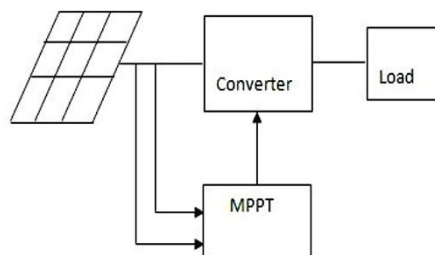


Gambar 2.2 Kurva Karakteristik dari MPPT Berupa Kurva Daya-Tegangan [10]



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik dari MPPT Berupa Kurva Arus-Tegangan [10]

Secara teoritis, PV *cell* menghasilkan nilai maksimum daya saat impedansi keluaran sel PV setara nilai beban. Dengan demikian, kerja MPPT pada PV *cell* sebenarnya berupa percobaan menjadikan nilai keluaran dari impedansi sel PV selaras dengan impedansi beban secara bertahap antara satu dengan yang lain. Berikut adalah diagram blok MPPT yang dijelaskan pada **Gambar 2.4** di bawah ini.



Gambar 2.4 Diagram Blok MPPT [11]

MPPT akan bekerja sebagai kontroler dari konverter untuk menyesuaikan arus dan tegangan yang akan dikonversi. Dalam hal ini, *duty cycle* dan PWM (Pulse Width Modulation) yang akan bertugas untuk mengatur hal tersebut. PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* atau *low* di mana durasi sinyal *high* dan *low* dapat diatur sesuai yang diinginkan dengan cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode. Sementara *duty-cycle* adalah persentase dari periode sinyal *high* dan *low*. *Duty-cycle* mengukur perbandingan antara durasi sinyal *clock* dalam keadaan tinggi dengan total periode sinyal *clock*. Misalnya, *duty cycle* 50% atau 0.5 berarti bahwa sinyal berada dalam keadaan tinggi

selama setengah dari periode total sinyal *clock*. *Duty cycle* yang seimbang membantu memastikan operasi yang stabil dan sinkron antara komponen-komponen dalam sistem. PWM akan berada pada rentang -5 sampai dengan 255 dan *duty-cycle* akan bernilai antara 0 sampai dengan 9 dalam bentuk desimal.

Berbagai metode MPPT berturut-turut telah diusulkan untuk memenuhi beragam tantangan dalam mencapai peningkatan efisiensi daya yang dihasilkan *photovoltaic*. Berikut ini adalah **Tabel 2.1** yang menjelaskan hasil pengujian metode MPPT dari penelitian terdahulu.

Tabel 2.1 Metode MPPT Berdasarkan Penelitian Terdahulu

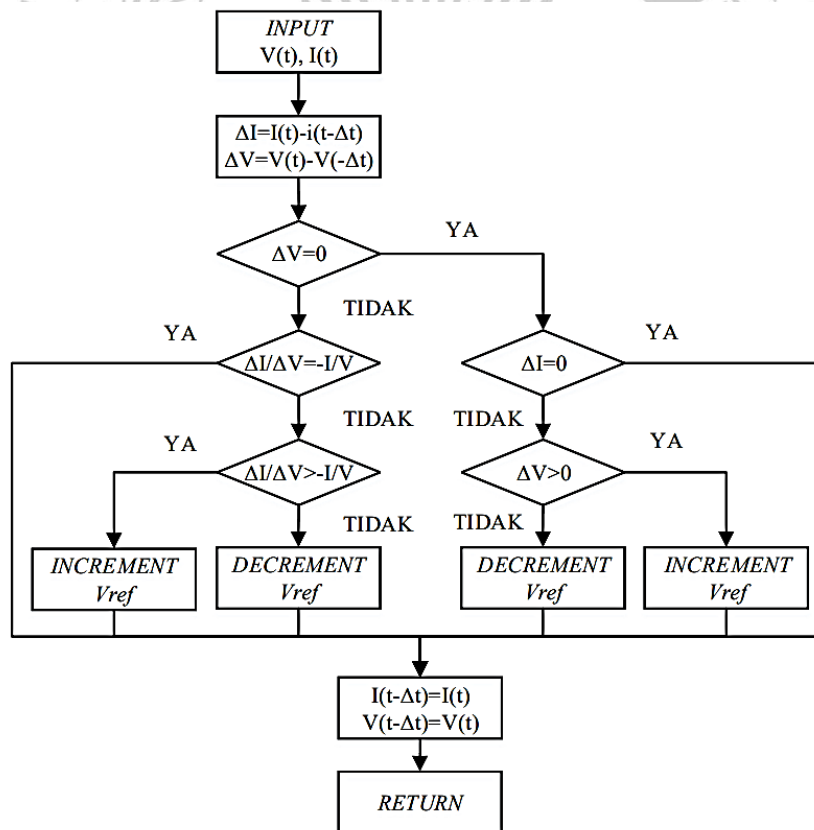
Metode	Hasil Pengujian
FLC-ZVS berbasis <i>interleaved converter</i> [7]	FLC memberikan respons yang lebih singkat selama 0.0057s untuk mencapai <i>settle time</i> jika dibandingkan dengan PI yang memerlukan 0.0261s. FLC juga memberikan respons yang lebih baik pada perubahan beban yang tiba-tiba.
Efisiensi MPPT dengan MPC (<i>Model Predictive Control</i>) [2]	Pengujian MPC dan INC menunjukkan hasil berturut-turut 99.65% dan 99.60% untuk efisiensi. Serta waktu konvergensi dengan INC 0.15s dan dengan MPC 0.05s
Fuzzy berbasis <i>flyback converter</i> [3]	FLC menunjukkan keandalan jika dibandingkan dengan PI. FLC mampu mempertahankan kestabilannya saat diganggu dengan beban, nilai <i>error</i> pada <i>steady-state</i> yang rendah dan transisi yang lebih baik. Di mana, PI memerlukan waktu <i>settle</i> yang lebih lama serta <i>overshoot</i> saat diberikan variasi beban.
<i>Sliding mode controller</i> untuk <i>multiphase bidirectional flyback converter</i> [6]	Fuzzy memerlukan 0.01s untuk mencapai <i>settle time</i> , lebih lambat jika dibandingkan SMC yang hanya memerlukan 0.007s. Namun, lebih baik jika dibandingkan GA-PID yang memerlukan 0.012s. Untuk nilai <i>error steady-state</i> berturut-turut pada GA-PID, FLC dan SMC adalah 1.07%, 0.53% dan 0.33%.

Metode	Hasil Pengujian
<p><i>Interleaved Buck Converter</i> dengan algoritma <i>fuzzy perturb and observe</i> [8]</p>	<p>Penelitian menunjukkan efisiensi MPPT dengan FPO 99.74%, lebih andal jika dibandingkan PO dengan efisiensi 97.66%. Sementara waktu respon yang dibutuhkan PO adalah 156ms dan FPO membutuhkan 14ms.</p>
<p>MPPT pada <i>Flyback converter</i>[12]</p>	<p>Pengujian dilakukan dengan penggunaan kontroler P&O dan FL. Di mana menghasilkan <i>duty cycle</i> 0.378 dengan P&O dan 0.385 dengan FL. Waktu respon yang dibutuhkan P&O selama 0.3s saat FL membutuhkan 0.1s.</p>
<p>Peningkatan kualitas daya PLTMH dengan penggunaan ELC-VSI</p>	<p><i>Fuzzy-PI controller</i> mampu mempertahankan tegangan stabil di 218 V dengan sedikit gangguan hingga jatuh ke 217 V pada detik ke 35.7 s. Sementara tegangan</p>
Metode	Hasil Pengujian
<p>yang dikendalikan oleh <i>Fuzzy-PI Controller</i>[13]</p>	<p>yang dihasilkan oleh <i>PI controller</i> mengalami <i>overshoot</i> dengan osilasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan <i>Fuzzy-PI</i></p>
<p>MPSO-MPPT pada <i>microgrid</i> DC berbasis PV pada kondisi <i>Partial Shading</i>[14]</p>	<p>Pada kondisi iradiasi seragam $1000\text{W}/\text{m}^2$, kedua metode memiliki akurasi yang hampir sama, 99.99% dari P&O dan 99.95% dari MPSO. Namun, pada kondisi <i>partial shading 1st pattern</i> MPSO mencapai akurasi 99.11% dengan <i>Poutput</i> 217.29 W, sementara P&O hanya mencapai 57.95% dengan <i>Poutput</i> 127.05 W. Lalu pada <i>2nd pattern</i>, MPSO mencapai akurasi 98.74% dengan daya keluaran 152.94 W, di saat P&O hanya mencapai 71.87% dan daya 111.33 W. Meskipun waktu konvergensi yang dibutuhkan MPSO 0.1s yang lebih lama jika dibandingkan dengan P&O yang hanya membutuhkan 0.006s.</p>

Berdasarkan pada **Tabel 2.1** di atas, setiap metode memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Beberapa metode yang baik dalam ketahanan seperti metode *Incremental Conductance* (INC) dan *Perturbation and Observation* (P&O) memiliki kelemahan saat waktu penjajakan serta sinyal *output* yang berosilasi. Metode *fuzzy logic* salah satu metode yang mampu menghasilkan kualitas yang lebih baik.

2.1.1 Metode *Incremental Conductance* (INC)

Metode ini bekerja berdasarkan gradien kurva $P - V$ atau kurva $P - I$ karakteristik sel surya untuk mencari daya maksimum PV panel. Karakteristik kurva $P - V$ pada PV *cell* berupa fungsi daya terhadap tegangan yang gradiennya bernilai nol ketika mencapai titik maksimum. *Flowchart* algoritma *Inc* dijabarkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 *Flowchart* Algoritma INC

Perubahan V_{ref} yang diberikan pada metode ini bernilai tetap untuk setiap iterasinya. Besar perubahan V_{ref} dipertimbangkan dari waktu penjajakan hingga

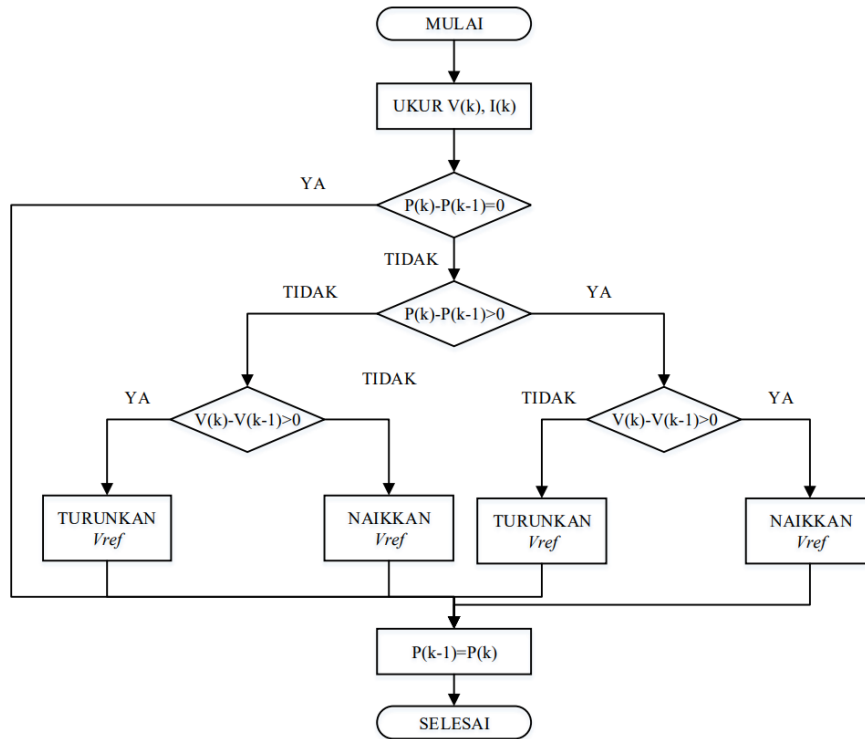
nilai dan besaran osilasi yang maksimum. Kedua kriteria ini berhubungan terbalik. Oleh karena itu, kompensasi harus diberikan untuk setiap parameter yang memerlukan perbaikan.

Perubahan yang lebih besar pada V_{ref} akan mengurangi waktu penjajakan, tetapi akan lebih sulit untuk mencapai tegangan maksimum. Ini menciptakan osilasi di sekitar titik maksimum. Modifikasi pada algoritma INC yang dikembangkan, dilakukan dengan membuat berbagai perubahan yang pada V_{ref} .

2.1.2 Metode *Perturbation and Observation* (P&O)

Metode *Perturbation and Observation* terdiri dari dua tahap yaitu *perturb* dan *observe*. Fungsi dari *perturb* adalah mengubah V_{ref} sementara *observe* menghitung perubahan daya akibat *perturb* sebelumnya. Jika perubahan daya bernilai positif maka *perturb* selanjutnya tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya bernilai negatif maka arah *perturb* berlawanan dengan arah sebelumnya. *Perturb and Observe* juga dikenal dengan *hill climbing method* yang merujuk karakteristik $V - P$ dari PV cell.

Berdasarkan **Gambar 2.1**, Persamaan 2.2 berada di sebelah kiri dari titik MPP sedangkan Persamaan 2.3 berada di sebelah kanan. Apabila tegangan sel surya diganggu (*perturbed*) dan berada pada posisi sebelah kiri, *perturbation* dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya maju ke arah titik MPP. Apabila perubahan titik kerja berada di sebelah kanan, algoritma P&O membalik arah *perturbation* sehingga titik kerja berada pada titik MPP.



Gambar 2.6 Flowchart P&O

Berdasarkan **Gambar 2.6** di atas, perubahan nilai *perturb* yang diberikan bernilai tetap. Permasalahan waktu penjajakan dan osilasi pada titik MPP diluruskan oleh variasi perubahan nilai *perturbation*.

2.1.3 Metode Fuzzy Logic

Fuzzy Logic digunakan untuk memecahkan masalah pemetaan *non-linier* yang melibatkan variabel kata yang mendekati intuisi manusia. Kamus *Oxford* mengartikan *Fuzzy* sebagai *blurred* (samar), *indistinct* (tidak jelas), *confuse* (membingungkan) dan *imprecisely definition* (ambigu). Meskipun istilahnya tidak jelas, metode ini memiliki definisi cara kerja serta deskripsi yang jelas. Sistem *fuzzy* didasarkan pada teori *fuzzy logic*. Ia memodelkan fenomena yang berperilaku ambigu dan memberikan definisi serta penafsiran yang jelas.

Kontrol *fuzzy* merupakan metode kontrol baru yang berdasarkan pada teori himpunan *fuzzy*. Algoritma ini sangat cocok untuk pemodelan matematika dari sistem *non-linier* yang kompleks dan tidak diketahui. *Fuzzy Logic Controller* telah diaplikasikan sebagai kontroler pada sistem MPPT dapat memberi respons cepat walaupun terjadi perubahan pada faktor eksternal, hasil penelitian terdahulu juga terbukti mampu meredam osilasi daya di dekat MPP.

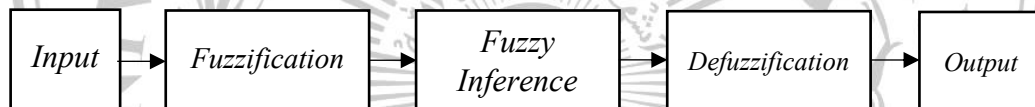
Untuk menerapkan kontrol MPPT, hubungan posisi antara titik operasi dan MPP akan ditentukan dari sampel data yang diambil. Kemudian, nilai tegangan titik operasi akan dikoreksi secara otomatis untuk mendapatkan MPP. Untuk mengoreksi tegangan titik operasi dV , kontroler *fuzzy* akan menentukan variabel keluaran. Variabel masukan berupa nilai *slope* dari sampel e dan perubahan *slope* satuan waktu Δe pada kurva $P - V$ sel PV.

$$e(k) = \frac{dP(k)}{dV(k)} = \frac{P(k)-P(k-1)}{V(k)-V(k-1)} \quad (2.5)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (2.6)$$

Di mana $P(k)$ dan $I(k)$ berturut-turut nilai keluaran daya dan arus PV *cell* dari nilai sampling sebanyak k kali. Ketika $e(k) = 0$ artinya sel PV berhasil bekerja dengan nilai keluaran daya pada kondisi maksimum seperti pada Persamaan 2.3.

Fuzzy logic memiliki beberapa tahapan operasional yang meliputi proses *fuzzification*, *fuzzy inference* dan *defuzzification*. Penjelasan mengenai tahapan operasional *fuzzy logic* dijelaskan oleh diagram blok pada **Gambar 2.7**



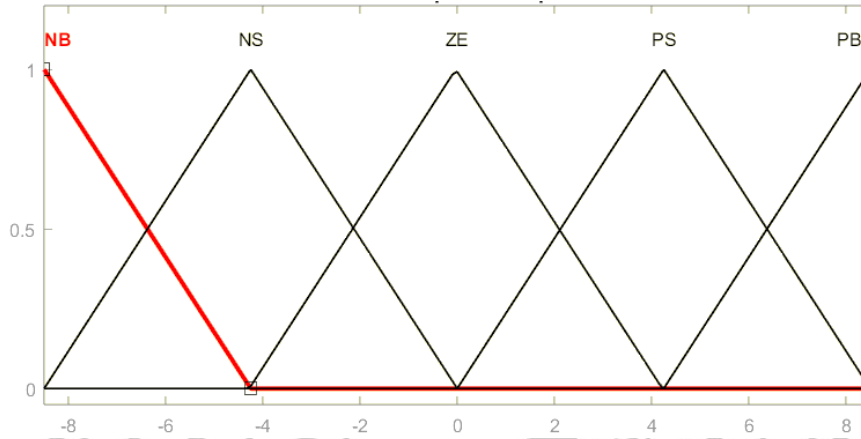
Gambar 2.7 Diagram Blok Kendali Logika Fuzzy

a. Fuzzifikasi

Merupakan proses konversi nilai digital pada *sampling* menjadi nilai *fuzzy* agar dapat teridentifikasi dan diproses kontroler. Variabel masukan dalam fuzzy disebut sebagai Bahasa, istilah linguistik dalam mencitrakan karakteristik variable biasanya dengan positif besar (PB), positif kecil (PS), nol (ZE), negatif kecil (NS), negatif besar (NB).

Pada **Gambar 2.8**, digunakan distribusi fungsi keanggotaan segitiga untuk menentukan variable masukan e dan Δe dan keluaran (dV) antara nilai-nilai yang berbeda dengan variable linguistik yang sesuai keanggotaan (v). Setiap variabel linguistik berada pada *range* nilai tertentu. Contohnya, saat e bernilai 6, hubungan keanggotaan dengan PB adalah 1, dimana e sepenuhnya berada dalam himpunan dari PB. e bernilai 6 pada PB lebih baik dari nilai e 4,5. Fungsi keanggotaan memposisikan variabel input dari skala

kontinu ke satu atau lebih dalam satuan *fuzzy*. Seperti pada **Gambar 2.8**, e , Δe , dV setiap variabel merupakan fungsi keanggotaan yang sama. Selain itu, untuk penyederhanaan e , Δe , dV diberi label pada sumbu horizontal.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

b. *Fuzzy Inference*

Setelah menentukan kuantitas *fuzzy*, langkah berikutnya menentukan *operational rule* (aturan operasional) berdasarkan aturan *expert knowledge* (pengetahuan ahli). Dari uraian di atas, dapat diambil kesimpulan jika proses keluaran kendali *fuzzy* merupakan proses dari algoritma penalaran *fuzzy*, di mana keluarannya tetap berbentuk besaran *fuzzy*. Menurut analisis, perubahan dV harus membuat titik operasi mendekat ke arah MPP agar mengikuti MPP dan mendapat perubahan yang sesuai dalam mengatasi perubahan pada nilai *ouput voltage*.

c. *Defuzzification*

Defuzzifikasi merujuk pada variabel *fuzzy* dari variabel linguistik kembali ke nilai numerik yang tepat, yang dihitung sesuai dengan keluaran dari keanggotaan *subset fuzzy* dalam menetapkan nilai variabel keluaran[15]. Di antara banyaknya metode mengenai fuzzifikasi, metode *maximum membership degree* (derajat keanggotaan maksimum) dan metode luas *center of gravity* (pusat gravitasi) adalah metode yang paling sering digunakan. Berikut adalah rumus perhitungan luas pusat gravitasi metode[16] :

$$dV = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(v_i).v_i}{\sum_{i=1}^n \mu(v_i)} \quad (2.7)$$

dimana dV merupakan nilai koreksi *output voltage* sebagai pengontrol logika *fuzzy*.

2.2 Flyback Converter

Flyback Converter merupakan salah satu metode dari AC-DC dan DC-DC konverter dimana tegangan DC akan diubah ke tegangan DC lainnya dengan nilai tegangan yang berbeda. Metode ini menyimpan energi saat arus mengalir melalui rangkaian dan energi dilepaskan saat tidak ada daya. Menggunakan induktor yang saling tergabung dan bertindak sebagai konverter *switching* terisolasi untuk transformator tegangan. Dapat mengontrol dan mengatur tegangan *output* dengan tegangan *input*.

Flyback Converter berupa konverter arus searah dengan mode pensaklaran untuk memastikan *input* dan *output* terisolasi. Ketika MOSFET pada kondisi aktif, tegangan dari sumber daya akan mengalir melalui induktansi magnetik trafo (L_m), menyebabkan arus induktansi magnetik (i_{Lm}) naik secara linier, sementara dioda di *output* akan menjadi *reverse bias*, kapasitor memasok tegangan beban [17]. Ketika MOSFET pada kondisi tidak aktif, energi yang disimpan pada induktansi magnetik akan mengalir melalui trafo dan dioda pada *ouput* yang bersifat *forward bias* memungkinkan kapasitor untuk mengambil energi yang tersimpan pada sisi *input*, yaitu energi yang tersimpan *flies back* (baca : terbang kembali ke kapasitor dan beban), sehingga arus dapat mengalir ke beban [3][18]. Dari cara kerja inilah dinamakan sebagai *Flyback Converter*.

Dalam proses ini, induktor dikonversi menjadi transformator, memungkinkan kenaikan tegangan yang bermanfaat karena adanya tambahan isolasi. Keuntungan utama dari konverter ini yaitu struktur yang lebih sederhana, isolasi, dan strategi kontrol yang lebih sederhana karena keunggulan di atas. Keuntungan lainnya bisa menghasilkan banyak *output* dari satu suplai [19]. Efisiensi tinggi dan isolasi listrik juga menjadi fitur yang penting dalam penggunaan metode tersebut. Dalam industri 4.0 saat ini, metode ini masih relevan dikarenakan fleksibilitasnya dalam berbagai aplikator, termasuk catu daya, komunikasi, dan elektronik konsumen. Tidak hanya berfungsi untuk mengubah

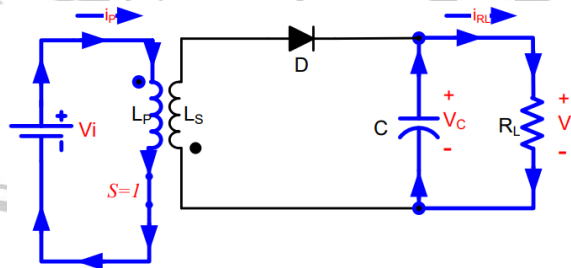
tegangan, tetapi juga untuk menstabilkan tegangan dan lebih efisien ke berbagai perangkat. Stabilitas ini penting supaya tegangan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan.

Flyback converter digunakan pada penelitian ini karena kemampuannya yang dapat meningkatkan nilai *output voltage* dengan mengatur nilai *duty cycle*. Seperti pada **Gambar 2.9**, sirkuit jaringannya yang menggunakan transformator juga meminimalisir kerugian akibat lonjakan atau gangguan beban. Tujuan penggunaan *flyback converter* terletak pada peningkatan efisiensi energi, keandalan sistem daya, dan fleksibilitas dalam pengaturan sistem secara otomatis, sehingga memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi konverter daya yang ramah lingkungan dan efisien[17].

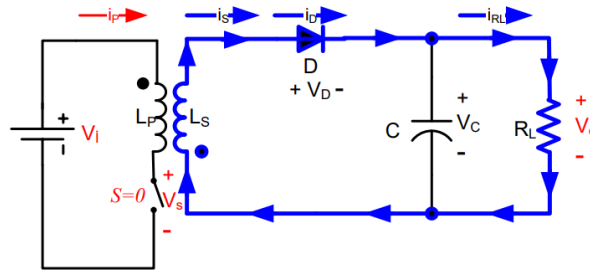
Gambar 2.9 menunjukkan arus dari energi tersimpan di dalam kapasitor C menuju beban. Dikarenakan adanya tegangan konstan di L_P , arus primer akan meningkat secara linier. Ketika sakelar S dimatikan atau dalam keadaan terbuka, energi yang tersimpan di *air gap* dan inti magnetik akan ditransmisikan ke beban melalui kumparan L_S seperti pada gambar 2.10. Adanya tegangan konstan di terminal L_S , arus akan berkurang secara linier. Energi yang tersimpan dalam *air gap* ditunjukkan pada **persamaan 2.8** [20].

$$E = \frac{L_P I_P^2}{2} \quad (2.8)$$

$$V_O = V_{IN} \left(\frac{D}{1-D} \right) \times \frac{N_S}{N_P} \quad (2.9)$$



Gambar 2.9 Keadaan *Flyback Converter* Saat Keadaan Saklar Tertutup[20]



Gambar 2.10 Keadaan *Flyback Converter* Saat Keadaan Saklar Terbuka[20]

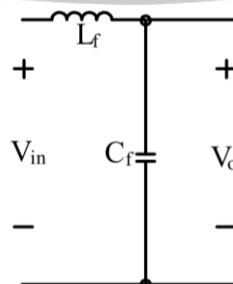
Berikut adalah persamaan arus magnetik saat saklar tertutup dan saklar terbuka [4]:

$$\Delta i_{Limclosed} = \frac{V_S DT}{L_m} \quad (2.10)$$

$$\Delta i_{Limopen} = \frac{-V_o(1-D)T}{L_m} \times \frac{N_S}{N_P} \quad (2.11)$$

2.3 LC Filter

Filter LC tersusun atas induktor (L) dan kapasitor (C) yang terhubung paralel, yang sangat penting bagi konverter DC/DC untuk menghaluskan riak arus dan tegangan [21]. Penggunaan *input filter* seperti filter LC terbilang penting, tidak terkecuali, menghindari kesalahan pengoperasian algoritma MPPT dan PV panel, serta agar tidak mengurangi usia pakai PV panel. **Gambar 2.11** menyajikan diagram sirkuit dari LC Filter. Kapasitor yang dihubungkan secara paralel mampu menurunkan riak tegangan, namun mengakibatkan peningkatan pada arus dioda. Arus ini berpotensi rusaknya dioda dan selanjutnya akan menimbulkan permasalahan *overheat* lalu menurunnya efisiensi dari arus dan tegangan *output*. Filter LC lebih baik dan efisien dalam membatasi arus dioda dan menghilangkan beberapa faktor *ripple*. Kapasitor yang terhubung paralel akan menstabilkan tegangan dan induktor menghaluskan arus, sehingga dapat menjadi kombinasi yang baik untuk rangkaian filter yang sederhana.



Gambar 2.11 Diagram Sirkuit LC Filter[5]

Dalam mendesain filter pasif LC, diawali dengan menentukan besaran kapasitor sesuai kebutuhan faktor daya dan induktor filter. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam merancang *passive LC Filter* adalah sebagai berikut [22][23][24]:

a. Menghitung nilai kapasitor (C)

- Tentukan daya reaktif kapasitor Q_C :

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad (2.12)$$

$$Q_C = P(\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2) \quad (2.13)$$

$$Q_C = P[\tan(\cos^{-1}pf_1) - \tan(\cos^{-1}pf_2)] \quad (2.14)$$

Di mana :

Q_C adalah daya reaktif kapasitor (VAR)

P adalah daya real yang dikirim oleh sistem dan diserap oleh beban

Q_1 adalah daya reaktif beban

S_1 adalah daya semu beban

Q_2 adalah daya reaktif sistem dengan sistem dengan kapasitor yang terhubung

S_2 adalah daya semu sistem dengan kapasitor yang terhubung

pf_1 adalah faktor daya awal, $pf_1 = \cos\Phi_1 = P/S_1$

pf_2 adalah faktor daya yang ditingkatkan, $pf_2 = \cos\Phi_2 = P/S_2$

- Tentukan reaktansi kapasitor (X_C) :

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C} \quad (2.15)$$

X_C adalah reaktansi kapasitif (Ω)

V adalah tegangan RMS (volt)

Q_C adalah daya reaktif kapasitor (MVA_r)

- Tentukan kapasitas dari kapasitor (C) :

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_C} \quad (2.16)$$

C adalah kapasitansi kapasitor (Farad)

f_0 adalah frekuensi fundamental (Hz)

b. Menghitung nilai induktor (L)

- Tentukan nilai impedansi Z induktor :

$$Z = \frac{V_S}{I} \quad (2.17)$$

- Tentukan reaktansi induktif dari induktor :

$$X_L = \frac{X_C}{h_n^2} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 didapatkan dari :

$$h_n = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (2.19)$$

- Tentukan reaktansi karakteristik dari filter pada *orde tuning* :

$$X_n = h_n X_L \quad (2.20)$$

$$X_n = \sqrt{X_L X_C} \quad (2.21)$$

$$X_n = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.22)$$

- Tentukan tahanan (R) dari induktor :

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (2.23)$$

- Tentukan induktansi dari induktor :

$$L = \sqrt{\frac{Z^2 + R^2}{2\pi f_0}} \quad (2.24)$$

Dari **gambar 2.11** dapat dicari impedansi rangkaian dengan persamaan :

$$\text{Dimana :} \quad Z = \frac{1}{\frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}} \quad (2.25)$$

Z adalah impedansi

V_S adalah daya sumber (V)

I adalah arus sumber (A)

X_L adalah reaktansi karakteristik induktif

h_n untuk menunjukkan harmoni ke-n

X_n untuk menunjukkan reaktansi karakteristik filter

R adalah tahanan dari induktor

L adalah induktansi dari induktor