

Perancangan dan Simulasi *Maximum Power Point Tracking* Pada Generator Sinkron Magnet Permanen Dengan Metode Logika Fuzzy

Ikhlas Diko¹, Sofian Yahya², Adnan Rafi Al Tahtawi³

^{1,3}Program Studi Teknik Otomasi Industri, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga 40012, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga 40012, Indonesia

Ikhlasdiko0@gmail.com

Abstrak

Energi adalah salah satu kebutuhan manusia dalam melangsungkan hidup. Pada era sekarang banyak perkembangan teknologi dalam bidang energi baru dan terbarukan dengan tujuan untuk mendapatkan energi dalam jumlah besar dan biaya sekecil-kecilnya. Berbagai cara dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut salah satunya adalah metode *Maximum Power Point Tracking* atau MPPT. MPPT menjejak (*Tracking*) titik kerja keluaran dari penyearah agar didapatkan daya yang maksimum. MPPT bisa dilakukan dengan berbagai macam metode untuk mendapatkan daya keluaran maksimum. Pada penelitian ini MPPT digunakan pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). PMSG biasanya digunakan untuk membangkitkan listrik pada daya rendah, sehingga penggunaan PMSG sesuai untuk pembangkitan listrik tenaga angin untuk skala kecil. Generator magnet permanen yang digunakan mengeluarkan tegangan AC 3 fasa sehingga diperlukan penyearah 3 fasa tak terkendali gelombang penuh untuk mengubah tegangan menjadi DC. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan penyearah tiga fasa tak terkendali 20 A dan membandingkan MPPT dengan logika fuzzy dan logika *perturb & observe*. MPPT ini bertujuan untuk melacak daya maksimum dari generator sinkron magnet permanen dengan mengatur duty cycle pada buck boost converter. Penelitian ini menghasilkan bahwa MPPT dengan logika fuzzy lebih baik dibandingkan dengan MPPT *perturb & observe* dalam hal kestabilan daya keluaran dan besarnya daya yang dihasilkan.

Kata kunci: PMSG, Logika Fuzzy, MPPT, P&O

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi baru dan terbarukan menjadi persoalan yang mendunia saat ini. Berbagai cara seperti kecerdasan buatan, algoritma peramalan dan optimasi kontrol dilakukan untuk mendapatkan hasil yang stabil dan dapat diaplikasikan pada masa yang akan datang. Untuk mengoptimalkan energy tersebut terdapat berbagai macam cara yaitu salah satunya adalah *Maximum Power Point Tracking* atau yang sering disebut dengan MPPT. MPPT bisa dilakukan dengan berbagai macam metode untuk mendapatkan daya keluaran maksimum.

Banyak penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan daya keluaran yang maksimal. M. Otong dan R.M. Bajuri[1] pada

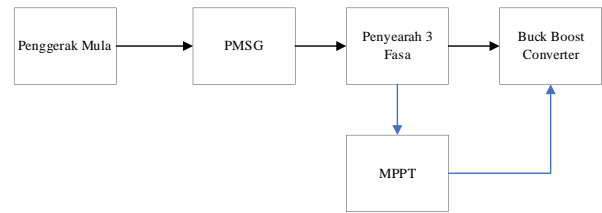
penelitiannya mendapatkan hasil yaitu perbandingan daya keluaran dari DC-DC converter antara sistem dengan menggunakan MPPT P&O lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT atau secara konvensional. V. Jaya [2] juga menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai PWM yang diberikan pada buck boost converter maka semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan. R. Tiwari [3] menyimpulkan bahwa metode modified P&O dapat mengatasi masalah turunnya nilai daya keluaran pada metode P&O. metode ini juga memiliki kemampuan fast tracking daya maksimum dan mengurangi osilasi pada daya keluaran. D. A. Ernadi [4] menyimpulkan bahwa metode modified P&O dapat mengatasi

masalah turunnya nilai daya keluaran pada metode P&O. metode ini juga memiliki kemampuan fast tracking daya maksimum dan mengurangi osilasi pada daya keluaran. A. A. Salem [5] mendapatkan bahwa hasil yang didapat berdasarkan penelitian tersebut yaitu, perbandingan efisiensi sistem menggunakan meningkat sebesar 92% dan TSR sebesar 85.44% sedangkan PSF sebesar 87.12%. H. Suryoatmojo [6] menyatakan bahwa MPPT dengan control logika fuzzy memiliki efisiensi yang lebih tinggi baik dalam iradiansi yang berubah maupun arus beban yang berubah. M. Y. T. Irsan [7] menyimpulkan bahwa fuzzy Logic digunakan dalam menentukan pembelian, penjualan dan persediaan. Fuzzy logic ini menggunakan metode Mamdani. A. Atmam [8] mendapatkan hasil bahwa penggunaan filter kapasitif pada penyearah dapat menstabilkan tegangan keluaran dari penyearah sehingga *ripple* tegangan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sebelum memakai penyearah. S. M. Hidayat [9] menjelaskan bagaimana merancang buck boost converter mulai dari perhitungan sampai dengan memilih komponen yang akan digunakan pada rangkaian. H. Q. Minh dkk [10] menjelaskan bahwa penggunaan fuzzy logic *controller* dalam MPPT dapat menghasilkan hasil yang maksimal. Pengendalian tegangan ke beban juga dapat berhasil ketika daya turbin dan beban dirubah.

Penelitian ini dilakukan dengan spesifikasi generator yaitu 300 Watt, 24 Volt AC 3 fasa. Penelitian ini juga bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan penyearah 3 fasa tak terkendali gelombang penuh dan sistem dengan MPPT metode P&O dan MPPT metode logika fuzzy lalu membandingkan mana metode yang menghasilkan daya yang lebih maksimal dan respon yang baik.

II. METODE PENELITIAN

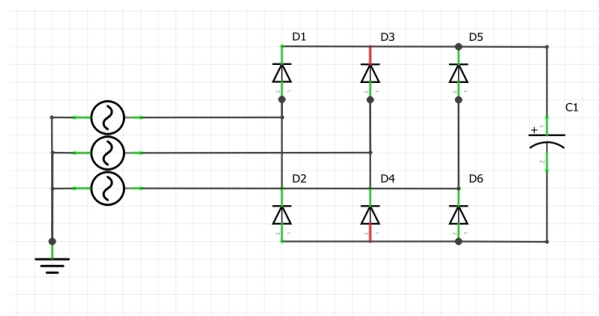
A. Sistem Keseluruhan



Gambar II. 1 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

Sistem ini dimulai dengan motor sebagai penggerak mula yang akan memberikan energi gerak/putar kepada generator sinkron magnet permanen tiga fasa. PMSG tiga fasa akan mengubah energi gerak/putar menjadi energi listrik AC tiga fasa. Kemudian penyearah 3 fasa tak terkendali gelombang penuh akan mengubah listrik AC tiga fasa menjadi listrik DC. Keluaran listrik DC akan menjadi masukan bagi buck boost converter. Tegangan dan arus dari penyearah akan dideteksi dan menjadi masukan awal bagi MPPT.

B. Perancangan Penyearah 3 fasa Tak Terkendali Gelombang Penuh



Gambar II. 2 Rangkaian Penyearah 3 Fasa Tak Terkendali Gelombang Penuh

Penyearah 3 fasa tak terkendali merupakan rangkaian yang mengkonversi listrik AC (bolak balik) tiga fasa menjadi listrik DC (searah) tak terkendali. Jadi dapat dikatakan bahwa penyearah tiga fasa tak terkendali merupakan rangkaian yang kita gunakan untuk mendapatkan listrik arus (searah). Dalam proses penyearah terdapat nilai perbandingan antara tegangan DC dan tegangan AC yang terbawa serta terhadap nilai tegangan keluarannya, hal itu dinamakan dengan faktor ripple (riak). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfigurasi secara forward bias dan juga kapasitor sebagai filter untuk ripple tegangan yang lebih kecil.

$$V_{dc} = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{3}V_m \sin wt = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m$$

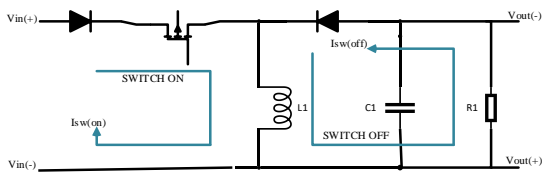
$$V_{rms} = \sqrt{\int_{\pi/3}^{2\pi/3} (V_m \sin wt)^2 dwt} = V_m \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}$$

$$Ripple\ factor = \frac{V_{ac}}{V_{dc}}$$

$$VR = \frac{I_b}{2fC}$$

Rumus rumus diatas merupakan rumus yan digunakan untuk menentukan tegangan keluaran penyearah dan nilai besarnya kapasitor yang digunakan.

C. Perancangan Buck Boost Converter



Gambar II. 3 Rangkaian Buck Boost Converter

Parameter perhitungan komponen buck-boost converter ini digunakan untuk pengujian buck-boost converter dengan daya 300 Watt baik dengan loop terbuka, loop tertutup maupun ketika digunakan ketika dengan MPPT logika fuzzy dan MPPT logika P&O.

Tabel II. 1 Spesifikasi Awal Buck Boost Converter

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan (Vin)	Vin(min) = 4 V Vin(max) = 40 V
Tegangan Keluaran (Vout)	Vout = 14 V
Duty Cycle	Dmin = 0.26 Dmax = 0.778
Resistansi Beban (RL)	RL(max) = 100 ohm
Iout(max)	25 A (yang diinginkan)
Frekuensi Switching (Fs)	25KHz
Ripple Tegangan	<1%

- Menentukan Arus Output (Iout) dan RL(min)

$$I_{out}(min) = \frac{V_{out}}{RL(max)}$$

$$RL(min) = \frac{V_{out}}{I_{out}(max)}$$

- Menentukan daya output (Pout)
 $P_{out}(min) = V_{out} \times I_{out}(min)$
 $P_{out}(max) = V_{out} \times I_{out}(max)$
- Menentukan induktansi minimum (Lmin)
 $L_{min} = \frac{RL(max) \times (1 - D)^2}{2Fs}$
- Menentukan arus peak to peak pada induktor ($\Delta iL(min)$)

$$\Delta iL(min) = \frac{V_{out} \times (1 - D)}{Fs \times L}$$

- Menentukan fungsi transfer tegangan (Mvdc)
 $M_{vdc} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
- Menentukan arus dc input maksimum dengan Vin 12 V (Iimax)

$$I_{imax} = M_{vdc} \times I_{out}(max)$$

- Menentukan current stresses pada komponen semikonduktor (Ism(max))

$$I_{sm}(max) = I_{dm}(max) = I_{imax} + I_{out}(max) + \frac{\Delta iL(min)}{2}$$

- Menentukan voltage stresses pada komponen semikonduktor (Vsm(max))

$$V_{sm}(max) = V_{out} + V_{in}$$

- Menentukan nilai kapasitor output (Cout)

- Ripple voltage = $V_r = \frac{1}{100} \times V_{out}$

- Equivalent Series Resistance (ESR)

$$r_{cmax} = \frac{V_{rcpp}}{I_{dc}(max)} = ESR$$

Dimana, Vrcpp adalah tegangan ripple peak to peak dan $I_{dc}(max) = I_{sm}(max)$

- Ripple Voltage pada kapasitor filter (Vcpp)

$$V_{cpp} = V_r - V_{ecpp}$$

- Nilai kapasitor minimum (Cmin)

$$C_{min} = \frac{D}{Fs \times RLmin} \times \frac{V_{out}}{V_{cpp}}$$

Sehingga nilai komponen yang didapat berdasarkan rumus rumus diatas adalah.

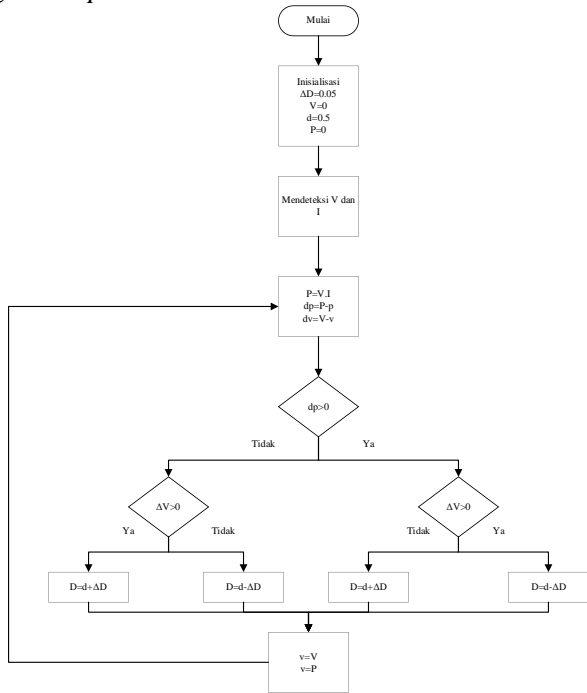
Tabel II. 2 Spesifikasi Nilai Komponen

Resistor (R)	2.9 ohm
Induktor (L)	10 mH
Kapasitor (C)	1000 uF

D. Perancangan MPPT Algoritma P&O

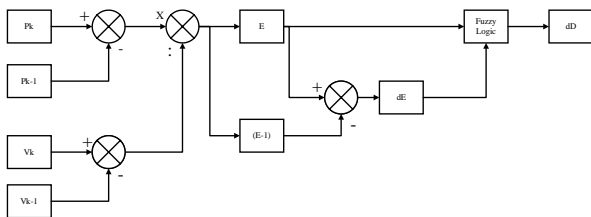
Algoritma Perturb and Observe (P&O) bekerja dengan cara perturbing (menaikkan atau menurunkan) duty cycle. Setiap kali perubahan duty

cycle akan dilihat perubahan dayanya. Bila daya sekarang lebih besar dibandingkan daya sebelumnya, maka duty cycle akan dinaikkan lagi. Bila daya yang sekarang lebih kecil dibandingkan daya yang sebelumnya, maka duty cycle akan dikurangi. Karena itu, metode ini memerlukan input nilai daya *output* untuk mengetahui daya pada beban. Berikut ini adalah diagram alir dari algoritma *perturb & observe*.



Gambar II. 4 Flowchart MPPT dengan Metode P&O

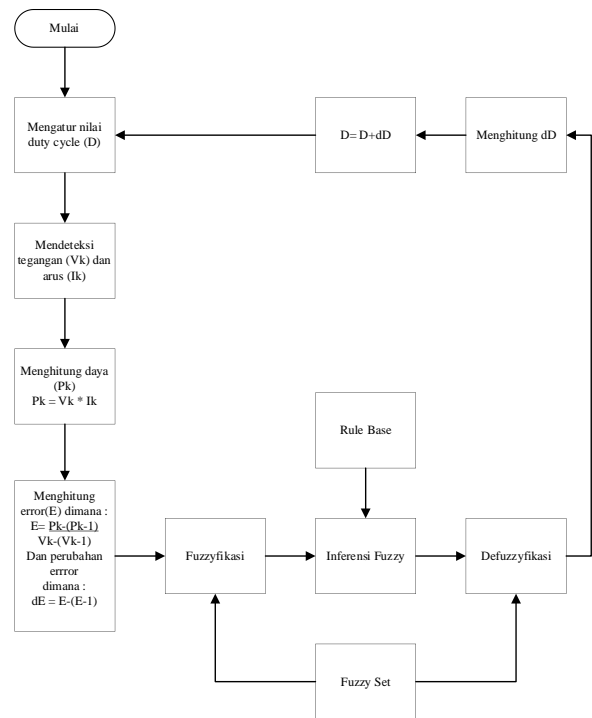
E. Perancangan MPPT Metode Logika Fuzzy



Gambar II. 5 Diagram Blok MPPT dengan Metode Logika Fuzzy

MPPT dimulai ketika sistem mendeteksi daya masukan saat ini (P_k) dan tegangan masukan saat ini (V_k). Daya saat ini (P_k) akan dibandingkan dengan daya masukan sebelumnya (P_{k-1}). Berdasarkan perbandingan tersebut akan diperoleh perubahan daya. Setelah itu tegangan masukan saat ini (V_k) akan dibandingkan dengan tegangan

masukan sebelumnya (V_{k-1}). Berdasarkan perbandingan tersebut akan diperoleh perubahan tegangan. Lalu hasil perubahan daya akan dibandingkan dengan perubahan tegangan. Hasil perbandingan tersebut adalah error yang terjadi pada saat ini (E). Lalu error saat ini akan dibandingkan dengan error sebelumnya (dE). Nilai error saat ini (E) dan error sebelumnya (dE) yang akan menjadi masukan kedalam logika fuzzy. Keluaran dari logika fuzzy berupa perubahan duty cycle (dD) yang akan menambah atau mengurangi duty cycle yang diberikan ke buck boost converter.

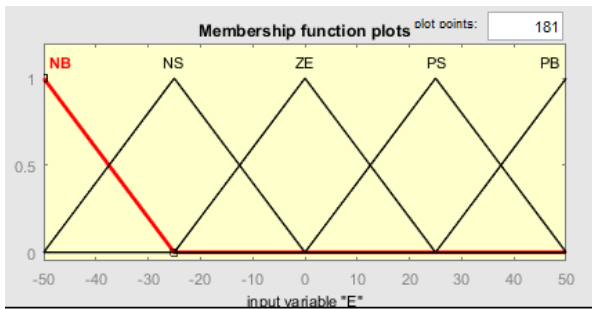


Gambar II. 6 Flowchart MPPT dengan Metode Logika Fuzzy

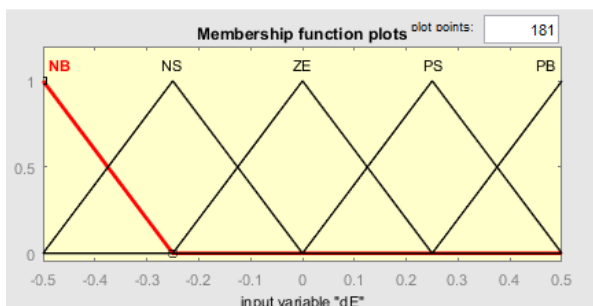
Berikut ini adalah tampilan simulasi MPPT dengan metode logika fuzzy pada MATLAB. Sistem ini dimulai dengan mengatur nilai duty cycle awal sistem (D). Kemudian tegangan masukan saat ini (V_k) dan arus masukan saat ini (I_k) akan dideteksi oleh sistem. Lalu tegangan masukan saat ini dan arus masukan saat ini akan dikalikan sehingga akan dihasilkan nilai daya masukan saat ini (P_k). Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung nilai error dengan nilai daya saat ini (P_k) dikurangi daya masukan sebelumnya (P_{k-1}) lalu dibagi dengan tegangan masukan saat ini (V_k) dikurangi tegangan masukan sebelumnya (V_{k-1}). Maka, hasil operasi diatas akan dihasilkan nilai error saat ini (E). Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai perubahan error (dE) dengan membagi nilai error saat ini (E) dengan nilai error sebelumnya ($E-1$).

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)}$$

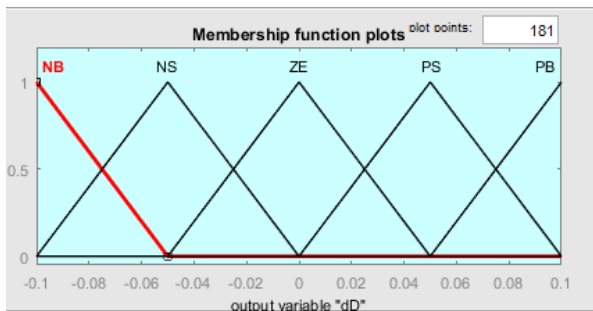
$$DE = E(k) - E(k-1)$$



Gambar II. 7 Membership Function Masukan Error (E)



Gambar II. 8 Membership Function Masukan DError (dE)



Gambar II. 9 Membership Function Keluara dDuty Cycle (dD)

Tabel II. 3 Keterangan Membership Function

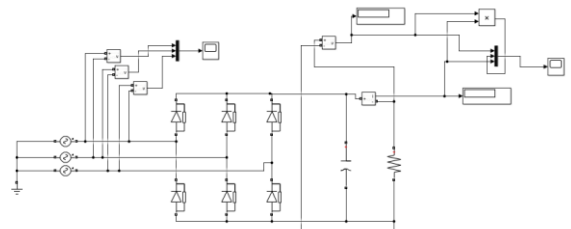
Nama Membership	Singkatan
Negative Big	NB
Negative Small	NS
Zero	ZE
Positive Small	PS
Positive Big	PB

Tabel II. 4 Rule Base

		Fuzzy Rule				
		dV				
dP		NB	NS	ZE	PS	PB
	NB	PS	PB	NB	NB	NS
	NS	PS	PS	NS	NS	NS
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	NS	NS	PS	PS	PS
PB	NS	NB	PB	PB	PS	

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penyearah 3 Fasa Tak Terkendali Gelombang Penuh



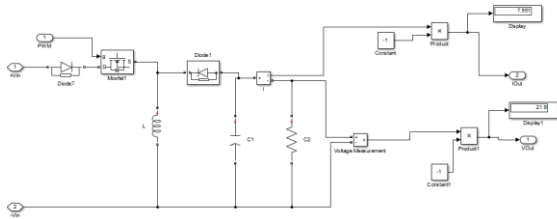
Gambar III. 1 Rangkaian Penyearah 3 Fasa Tak Terkendali Gelombang Penuh pada MATLAB

Tabel III. 1 Hasil Simulasi Penyearah

No	Tegangan Output		Arus Output Penyearah (A)	Daya Output Penyearah (W)
	PMS G AC (Volt)	Penyearah DC (Volt)		
1	2	1.86	0.18	0.34
2	4	5.32	0.53	2.83
3	6	8.79	0.87	7.72
4	8	12.25	1.22	15.00
5	10	15.72	1.57	24.71
6	12	19.18	1.91	36.78
7	14	22.64	2.26	51.25
8	16	26.11	2.61	68.17
9	18	29.57	2.59	76.79
10	20	33.04	3.30	109.16
11	22	36.5	3.65	133.22
12	24	39.96	3.99	159.68

Berdasarkan hasil simulasi dan Tabel III. 1, keluaran dari penyearah 3 fasa tak terkendali sudah berhasil dengan baik dan benar. Hasil tegangan dan arus keluaran simulasi sudah sama dengan perhitungan tegangan dan arus keluaran.

B. Buck Boost Converter Loop Terbuka

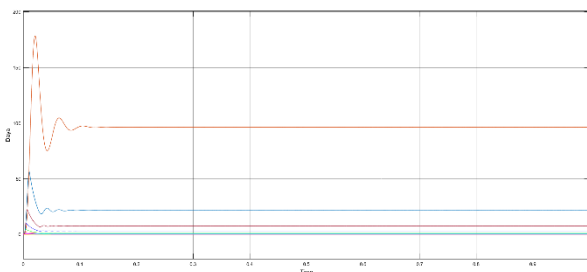


Gambar III. 2 Rangkaian Buck Boost Converter pada MATLAB

Tabel III. 2 Hasil Simulasi Buck Boost Converter Loop Terbuka

No	D	Vin	Vout	Vout (perhitungan)	Mode
1	0.1	12	1.114	1.333	Buck
2	0.2	12	2.596	3.000	Buck
3	0.3	12	4.348	5.143	Buck
4	0.4	12	7.191	8.000	Buck
5	0.5	12	11.18	12.000	Buck
6	0.6	12	17.13	18.000	Boost
7	0.7	12	26.99	28.000	Boost
8	0.8	12	46.26	48.000	Boost
9	0.9	12	98.23	108.000	Boost

Berdasarkan Tabel III. 2, terdapat perbedaan antara hasil keluaran simulasi dan hasil perhitungan. Semakin besar duty cycle dan tegangan masuk maka semakin besar perbedaan antara hasil simulasi dan hasil perhitungan.



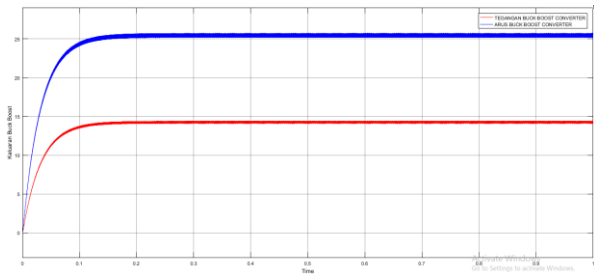
Gambar III. 3 Grafik Keluaran Tegangan Buck Boost Converter Loop Terbuka

C. Buck Boost Converter Loop Tertutup

Tabel III. 3 Hasil Simulasi Buck Boost Converter Loop Tertutup

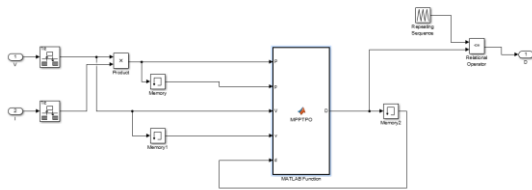
No	Buck Boost Converter			E
	Duty Cycle	I	P	
1	0.93	0.96	1.71	93%
2	0.75	4.53	8.1	68%
3	0.66	7.11	12.7	49%
4	0.61	8.64	15.42	38%
5	0.65	13.72	24.5	2%
6	0.54	14.09	25.15	-1%
7	0.46	13.84	24.71	1%
8	0.41	13.92	24.86	1%
9	0.38	13.95	24.91	0%
10	0.35	14.02	25.04	0%
11	0.32	13.82	24.67	1%
12	0.3	13.96	24.96	0%

Berdasarkan Tabel III. 3, buck boost converter disimulasikan dengan loop tertutup. Buck boost converter diatur dengan tegangan keluaran 14 V dan arus keluaran 25 A. pengaturan masukan buck boost converter sama dengan pengujian buck boost converter loop terbuka dengan perubahan tegangan generator dimulai dari 2 V sampai dengan 24 V. Hasil simulasi mendapatkan bahwa buck boost converter berhasil mensimulasikan secara loop tertutup mulai dari tegangan generator 10 V. Hal ini membuktikan bahwa buck boost converter bisa melakukan loop tertutup ketika tegangan minimal generator 10 V. Error dapat dihitung dengan membandingkan tegangan perhitungan buck boost converter yaitu 14 V dengan tegangan keluaran simulasi buck boost converter loop tertutup.

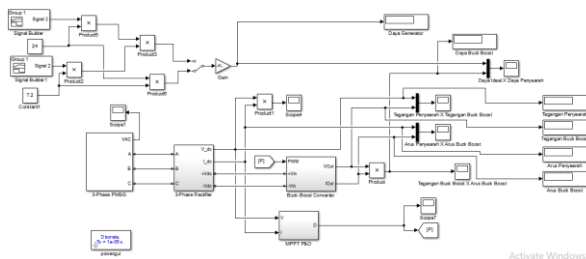


Gambar III. 4 Grafik Tegangan dan Arus Keluaran Buck Boost Converter Loop Tertutup

D. Sistem dengan MPPT Metode P&O



Gambar III. 5 Rangkaian MPPT Metode P&O pada MATLAB



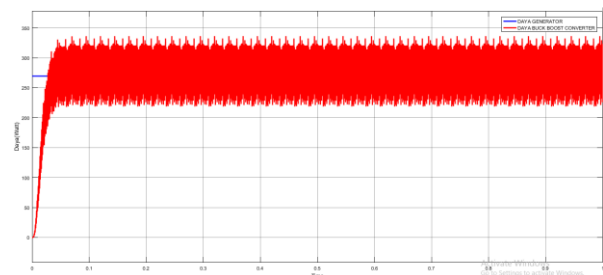
Gambar III. 6 Rangkaian Sistem Keseluruhan dengan MPPT Metode P&O

Tabel III. 4 Hasil Keluaran Sistem dengan MPPT Metode P&O

No	PMSG			Buck Boost Converter (MPPT P&O)			E
	V	I	P	V	I	P	
1	24.0	7.2	269.3	28.1	9.6	272.1	-1%
	0	0	6	0	9	5	
2	21.6	6.4	218.1	25.0	8.3	209.0	4%
	0	8	8	0	6	0	
3	19.2	5.7	172.3	21.8	7.5	165.2	4%
	0	6	9	9	5	7	
4	16.8	5.0	131.9	18.8	6.4	122.1	7%
	0	4	9	2	9	2	
5	14.4	4.3	96.97	15.7	5.4	85.05	12%
	0	2		1	1		
6	12.0	3.6	67.34	12.6	4.3	54.91	18%
	0	0		2	5		
7	9.60	2.8	43.09	9.52	3.2	31.24	27%

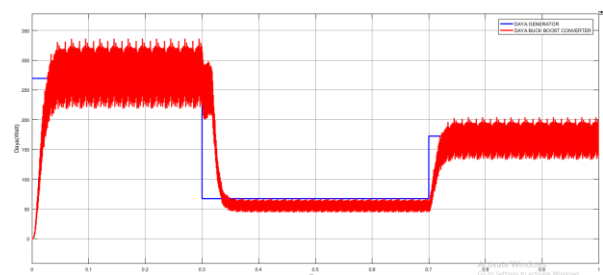
		8			8		%
8	7.20	2.1	24.24	6.40	2.2	14.10	42%
		6			0		%
9	4.80	1.4	10.77	3.28	1.1	3.71	66%
		4			3		%
10	2.40	0.7	2.69	2.06	0.0	0.14	95%
		2			7		%

Berdasarkan data pada Tabel III. 4 tabel, dilakukan simulasi dengan masukan tetap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa error yang didapat ketika menggunakan MPPT logika fuzzy semakin besar jika tegangan generator semakin mengecil.



Gambar III. 7 Grafik Daya Keluaran Sistem dengan MPPT Metode P&O dan Daya Generator

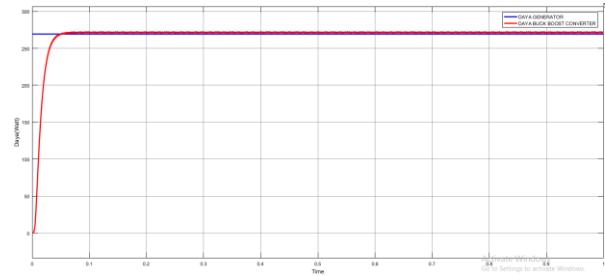
Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar III. 7, daya buck boost converter memiliki ripple sangat besar. Pada saat sistem dimulai, daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.08 s sampai dengan daya buck boost rata-rata ± 270 Watt.



Gambar III. 8 Grafik Daya Keluaran Sistem dengan MPPT Metode P&O dan Daya Generator dengan Masukan Berubah

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar III. 8, pada saat sistem dimulai, daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.08 s sampai dengan daya buck boost rata-rata 270 Watt dan memiliki ripple yang sangat besar dengan error sebesar 2 Watt. Lalu pada saat $T=0.3$ s mengalami perubahan input, akibatnya daya buck boost converter menjadi turun. Daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.09 s sampai dengan daya

buck boost rata-rata 55 Watt dan ripple daya buck boost mengecil dengan error sebesar 12.34 Watt. Lalu pada saat $T=0.7$ s mengalami perubahan input, akibatnya daya buck boost converter menjadi naik. daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.09 s sampai dengan daya buck boost rata-rata 165 Watt dan ripple daya buck boost kembali membesar dengan error sebesar 7.39 Watt.



Gambar III. 9 Grafik Daya Keluaran Sistem dengan MPPT Metode Logika Fuzzy dan Daya Generator

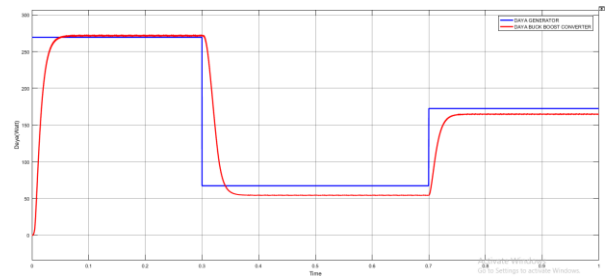
E. Sistem dengan MPPT Metode Logika Fuzzy

Tabel III. 5 Hasil Keluaran Sistem dengan MPPT Metode Logika Fuzzy

No	PMSG			Buck Boost Converter (MPPT Fuzzy)			E
	V	I	P	V	I	P	
1	24.00	7.20	269.36	28.11	9.69	272.47	-1%
2	21.60	6.48	218.18	25.00	8.62	215.50	1%
3	19.20	5.76	172.39	21.90	7.55	165.37	4%
4	16.80	5.04	131.99	18.79	6.48	121.78	8%
5	14.40	4.32	96.97	15.69	5.41	84.88	12%
6	12.00	3.60	67.34	12.58	4.34	54.58	19%
7	9.60	2.88	43.09	9.48	3.27	30.97	28%
8	7.20	2.16	24.24	6.37	2.20	14.01	42%
9	4.80	1.44	10.77	3.27	1.13	3.69	66%
10	2.40	0.72	2.69	0.18	0.06	0.01	100%

Berdasarkan Tabel III. 5 dilakukan simulasi dengan masukan tetap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa error yang didapat ketika menggunakan MPPT logika fuzzy semakin besar jika tegangan generator semakin mengecil.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar III. 9, daya buck boost converter memiliki ripple yang sangat rendah. Pada saat sistem dimulai, daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.08 s sampai dengan steady state 272 Watt dan memiliki error sebesar 2 Watt.



Gambar III. 10 Grafik Daya Keluaran Sistem dengan MPPT Metode Logika Fuzzy dan Daya Generator dengan Masukan Berubah

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar III. 10, daya buck boost converter memiliki ripple yang sangat rendah. Pada saat sistem dimulai, daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.08 s sampai dengan steady state 272 Watt dan memiliki error sebesar 2 Watt. Lalu pada saat $T=0.3$ s mengalami perubahan input, akibatnya daya buck boost converter menjadi turun. Daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.09 s sampai dengan steady state 54.5 Watt dan memiliki error sebesar 12.84 Watt. Lalu pada saat $T=0.7$ s mengalami perubahan input, akibatnya daya buck boost converter menjadi naik. Daya buck boost converter membutuhkan waktu 0.09 s sampai dengan steady state 165.3 Watt dan memiliki error 7.09 Watt.

F. Perbandingan Efisiensi dan Error MPPT Metode P&O dan MPPT Metode Logika Fuzzy

Tabel III. 6 Hasil Simulasi Sistem dengan MPPT Metode P&O dan Metode Logika Fuzzy

No	Daya (Watt)			Efisiensi		Error	
	G	MP PT Fu zzy	MP PT P& O	MP PT Fuz zy	MP PT P& O	MP PT Fuz zy	MP PT P& O
1	269 .36	272 .47	272. 15	101 %	101 %	3%	3%
2	218 .18	215 .5	209	99%	96%	-3%	-9%
3	172 .39	165 .37	165. 27	96%	96%	-7%	-7%
4	131 .99	121 .78	122. 12	92%	93%	- 10%	- 10%
5	96. 97	84. 88	85.0 5	88%	88%	- 12%	- 12%
6	67. 34	54. 58	54.9 1	81%	82%	- 13%	- 12%
7	43. 09	30. 97	31.2 4	72%	72%	- 12%	- 12%
8	24. 24	14. 01	14.1	58%	58%	- 10%	- 10%
9	10. 77	3.6 9	3.71	34%	34%	-7%	-7%
10	2.6 9	0.0 1	0.14	0%	5%	-3%	-3%
Error rata-rata						-7%	-8%

Berdasarkan data Tabel III. 6, dapat dilihat perbandingan daya maksimal dari MPPT terhadap daya generator. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi dari MPPT fuzzy logic dan MPPT P&O hampir sama. Hal ini dikarenakan data daya MPPT P&O yang diambil adalah nilai rata-rata daya keluaran MPPT P&O. Sedangkan pada data MPPT fuzzy logic tidak diambil nilai rata-rata karena sudah steady state. Semakin kecil daya generator maka semakin kecil pula efisiensi dari MPPT baik dari metode fuzzy logic maupun dari metode P&O. Pada nilai error, semakin besar daya generator maka semakin kecil pula nilai error yang dihasilkan dengan MPPT metode fuzzy logic maupun metode P&O.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, daya keluaran PMSG Ketika telah disearahkan menjadi turun menjadi 160 Watt. Pada sistem dengan menggunakan MPPT metode P&O memiliki ripple yang cukup besar. Semakin besar daya keluaran buck boost converter maka semakin besar ripple yang terjadi. Selain itu, semakin besar daya keluaran buck boost converter maka semakin kecil error antara daya keluaran buck boost converter dan

daya generator. Pada sistem dengan MPPT metode logika fuzzy memiliki ripple yang sangat kecil. Semakin besar daya keluaran maka semakin kecil pula error antara daya keluaran generator. Maka dapat disimpulkan bahwa sistem dengan MPPT metode logika fuzzy lebih baik dibandingkan dengan sistem dengan MPPT metode P&O. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah implementasi langsung ke *hardware* dan juga dilakukan monitoring tegangan, arus dan daya secara *Internet of Things*.

REFERENSI

- [1] M. Otong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," vol. 5, p. 8, 2016.
- [2] V. Jaya, "PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA TURBIN ANGIN PMSG KAPASITAS 300 WATT DENGAN ALGORITMA FUZZY," p. 7.
- [3] R. Tiwari and N. R. Babu, "Fuzzy Logic Based MPPT for Permanent Magnet Synchronous Generator in wind Energy Conversion System," *IFAC-Pap.*, vol. 49, no. 1, pp. 462–467, 2016, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.03.097.
- [4] D. A. Ernadi and M. Pujiantara, "Desain Maximum Power Point Tracking Untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B265–B271, Sep. 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16170.
- [5] A. A. Salem, N. A. N. Aldin, A. M. Azmy, and W. S. E. Abdellatif, "A Fuzzy Logic-Based MPPT Technique for PMSG Wind Generation System," p. 10, 2019.
- [6] H. Suryoatmojo and R. Mardiyanto, "Desain Dan Implementasi MPPT Dengan Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya," p. 91, 2017.
- [7] M. Y. T. Irsan, M. I. Kasau, and I. P. Simbolon, "Penggunaan Fuzzy Logic & Metode Mamdani untuk Menghitung Pembelian, Penjualan dan Persediaan," *JAAF J. Appl. Account. Finance*, vol. 3, no. 1, p. 37, May 2019, doi: 10.33021/jaaf.v3i1.677.

- [8] A. Atmam, "PENGUNAAN FILTER KAPASITIF PADA RECTIFIER SATU PHASA DAN TIGA PHASA MENGGUNAKAN POWER SIMULATOR (PSIM)," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 18–26, Jan. 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i1.1667.
- [9] S. M. Hidayat, "RANCANG BANGUN BUCK BOOST KONVERTER," p. 81, 2010.
- [10] H. Q. Minh, N. Frederic, E. Najib, and H. Abdelaziz, "Control of permanent magnet synchronous generator wind turbine for stand-alone system using fuzzy logic," presented at the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, France, 2011. doi: 10.2991/eusflat.2011.98.