Simulasi MPPT *Buck* Konverter Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno pada Sistem Panel Surya

Haydar Alwi Tri Widodo, Sofian Yahya, Budi Setiadi, Adnan Rafi Al Tahtawi
Program Studi Teknik Otomasi Industri, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559
Haydar.alwi.toi19@polban.ac.id

Abstrak

Tingkat intensitas atau iradiasi cahaya matahari terutama sinar ultraviolet (UV) dan suhu yang diterima panel surya berdampak pada daya lsitrik yang dihasilkan. Perubahan daya litrik pada panel surya bekerja berdasarkan perubahan arus. Titik daya maksimum keluaran panel surya diolah menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Penelitian ini menekankan metode MPPT yang dikombinasikan dengan logika *fuzzy sugeno*, dimana hasil yang didapatkan akan dibandingkan dengan metode konvensional yang sudah umum digunakan yaitu *Perturb And Observe* (P&O). Variabel masukan kendali *fuzzy* dan *P&O* diperoleh berdasar pengukuran arus serta tegangan dari panel surya yang kemudian diperbaharui menjadi nilai *error* (E) dan *delta error* (ΔE). Sedangkan Variabel keluaran kendali berupa nilai *Pulse Width Modulation* (PWM), dan untuk *fuzzy* nilai sebelumnya berupa *delta duty cycle* (Δd). Selanjutnya diumpankan ke komponen MOSFET melalui rangkaian *buck konverter*. Sistem ini dibangun menggunakan panel surya dengan kapasitas 120WP, rangkaian *asynchronous buck converter* dan sistem kendali logika *fuzzy sugeno*. Keseluruhan sistem disimulasikan menggunakan *Simulink* pada perangkat lunak MATLAB. Pengujian dilakukan dengan membuat tiga kombinasi terhadap perubahan nilai iradiasi dan suhu. Perbandingan hasil pengujian menggunakan metode logika *fuzzy sugeno* efisiensi yang didapat *22,62%* lebih baik dibanding kendali P&O. Akan tetapi, penggunaan metode P&O menghasilkan respon *time* lebih cepat dan sinyal keluaran yang stabil dengan *time settling* 0,01 detik.

Kata kunci: *Asynchronous Buck converter*, Logika *Fuzzy Sugeno*, MPPT, P&O, MATLAB

I. PENDAHULUAN

Proses perancangan sistem kendali untuk membantu sistem panel surya menghasilkan daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya atau *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik metode kendali seperti salah satunya yang umum dan banyak digunakan yaitu *Perturb And Observe* (P&O). Berbeda dengan metode kendali P&O yang merupakan sistem kendali klasik, metode kendali logika *fuzzy* merupakan sistem kendali berbasis *Artificial Intelligent (AI).* Metode kendali ini memiliki beberapa macam metode yang umum diterapkan pada sistem, yang bahkan setiap metode akan memiliki hasil yang berbeda. Tingkat keberhasilan penerapan sistem kendali dapat diketahui serta diukur dari tingkat akurasi serta efesiensi sistem.

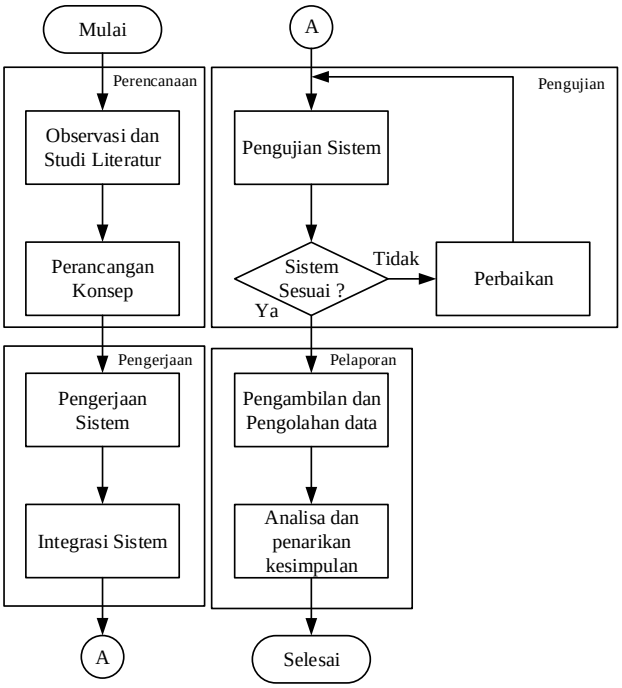
Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya nilai efisiensi dari metode P&O terkadang belum mencapai nilai titik daya yang sesuai dengan spesifikasi sistem, seperti penelitian yang dilakukan oleh I. B. Hermawan, dkk yang mendapatkan bahwa efisiensi metode kendali *fuzzy* lebih baik *5,61%* dibanding dengan P&O [1]. Berdasarkan penelitian serupa lainya yang telah dilakukan M. Effendy, dkk dengan mengimplementasikan metode kendali P&O dan kendali logika *fuzzy* mamdani pada konverter *buck*, didapat effisiensi MPPT dengan P&O sebesar *86%* dan dengan *fuzzy* sebesar *89%* [2].

Penelitian ini membuktikan perbandingan antara metode logika *fuzzy* terhadap P&O untuk mendapatkan target tingkat efesiensi diatas *90%* berdasarkan konfigurasi perancangan yang dibuat oleh penulis. Penelitian dilakukan dengan melakukan perancangan sistem panel surya dengan menerapkan sistem kendali logika *fuzzy sugeno* dan P&O pada sebuah rangkaian *asynchronous buck converter* yang dihubungkan dengan panel surya dengan kapasitas 120WP. Keseluruhan sistem akan

disimulasikan menggunakan *Simulink* pada perangkat lunak MATLAB. Adapun pengujian yang akan dilakukan terbagi menjadi tiga kondisi yaitu saat panel surya mendapat iradiasi serta suhu tetap, iradiasi berubah dengan suhu tetap dan iradiasi tetap dengan suhu berubah.

II. METODE PENELITIAN

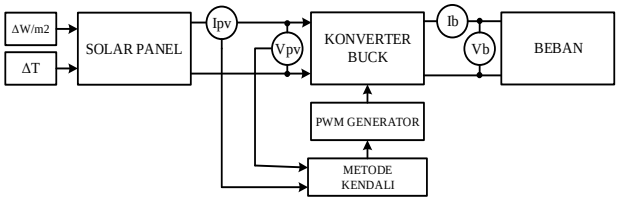
Dalam proses penelitian ini dibuat serangkaian tahapan sistematis untuk merancang dan melaksanakan penelitian dalam bentuk prosedur mengumpulkan, menganalisa & menginterpetasikan hasil penelitian. Serangkaian tahapan tersbut dibuat dalam bentuk diagram alir berikut ini,



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

1. Tahap Perencanaan terdiri dari observasi atau pengamatan secara langsung terhadap suatu persoalan dan perancangan atau penentuan seluruh aspek yang akan membangun sistem secara keseluruhan
2. Pengerjaan terdiri dari pembuatan dan pengintegrasian sistem, dimana indikator keberhasilannya yaitu setiap bagian sistem dapat diselesaikan dan terintegrasi menjadi sebuah sistem yang utuh.
3. Pengujian dilakukan dengan melakukan simulasi sistem dan melakukan perbaikan apabila sistem yang dibangun didapati kendala.
4. Pelaporan terdiri dari pengambilan sampel data dari tahap pengujian dan Analisa untuk kemudian didapatkan kesimpulan.

Berdasarkan uraian pengerjaan diatas, sistem yang dimaksud berupa penerapan kendali *fuzzy sugeno* dan P&O sebagai pembanding pada komponen MOSFET berdasarkan pengukuran masukan dalam rangkaian *asynchronous buck converter* yang dihubungkan dengan sebuah panel surya dengan kapasitas 120 WP yang diberi kondisi iradiasi dan suhu berubah-ubah. Berikut merupakan diagram blok sistem tersebut,



Gambar 2. Diagram blok sistem

Panel surya yang digunakan memiliki sepsifikasi sebagai berkut,

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya Saat Kondisi Standard

Spesifikasi	Sym.	Ket.
Maximum Power (Pmp)	Pvp	120 Watt
Maximum Power Voltage (Vmp)	Vpv	19,2 V
Maximum Power Current (Imp)	Ivp	6,25 A

Kebutuhan komponen rangkaian *asynchronous buck converter* dibangun berdasarkan spesifikasi, asumsi nilai dan persamaan rumus [3] berikut,

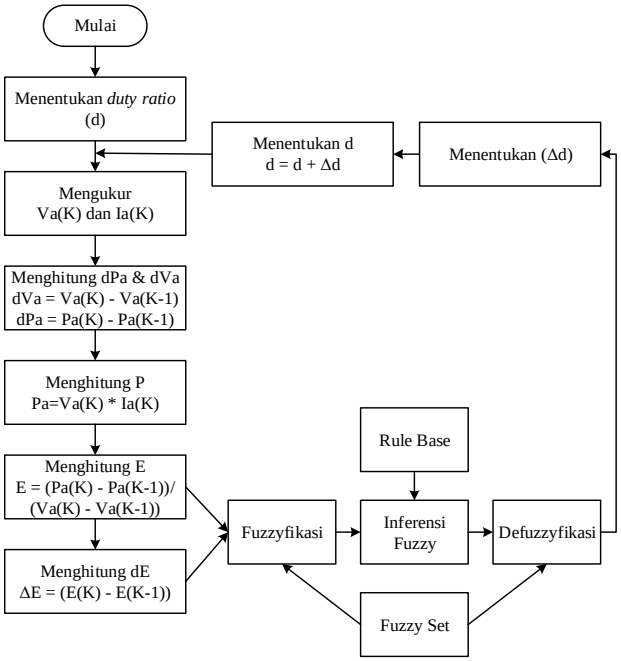
1. Arus keluaran (Io)
$$I_O = \frac{P_{MP}}{V_O} \quad (1)$$
2. Duty ratio (d)
$$d = \frac{V_O}{V_S} \quad (2)$$
3. Induktansi minimum (Lmin
$$L_{min} = \frac{D \times (V_S - V_O) \times R}{2 \times f \times V_O} \quad (3)$$
4. Kapasitor keluaran (C atau Co)
$$C = C_O = \frac{D \times (V_S - V_O)}{8 \times L \times \Delta V_0 \times f^2} \quad (4)$$
5. Kapasitor masukan (Ci)
$$C_i = \frac{(1-D) \times D \times I_O}{\Delta V_S \times f} \quad (5)$$
6. Beban (R)
$$R = \frac{V_O}{I_O} \quad (6)$$

Menggunakan persamaan diatas didapati kebutuhan komponen yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perancangan kebutuhan komponen rangkaian konverter *buck*

Parameter	Sym.	Ket.
Nilai keluaran Modul Panel Surya	Pmp	120 Watt
	Vs	19,2 V
Nilai yang diasumsikan	Vo	12 V
	f	25 KHz
Nilai hasil perhitungan	Io	10 A
	D	0,625
	Lmin	10 µH
	C atau Co	860 µF
	Ci	517 µF
	R	1,2 Ω

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada rangkaia diatas akan diterapkan sistem kendali *fuzzy sugeno*, berikut merupakan diagram alur kendali dan proses perancanganya.



Gambar 3. Grafik desain fuzzy untuk MPPT

Berdasar diagram alir kendali diatas diketahui variabel masukan sistem kendali yaitu E dan ΔE dan keluaranya berupa d atau *duty cycle*. Berikut merupakan formulasi masukan dan keluaran [3] dari *fuzzy*.

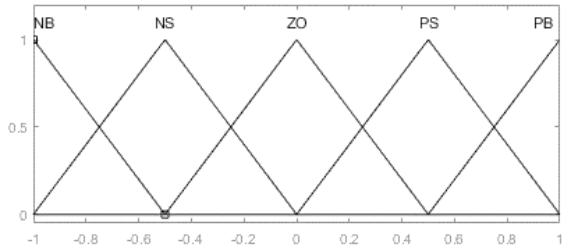
$$E = \left(\frac{P_{PV}(k) - P_{PV}(k-1)}{V_{PV}(k) - V_{PV}(k-1)}\right) \times K \quad (7)$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1) \quad (8)$$

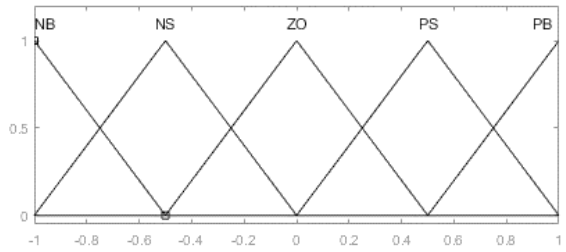
$$\Delta d = (d(k) - d(k-1)) \quad (9)$$

$$Duty\ Cycle = d + \Delta d \quad (10)$$

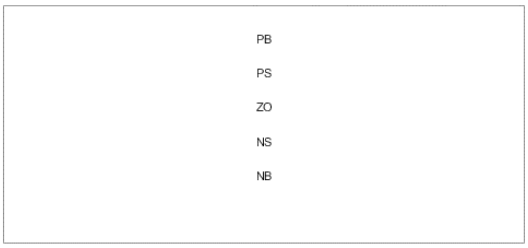
Proses fuzzyfikasi yaitu proses penentuan himpunan dari setiap fungsi keangotaan dari setiap variabel masukan dan keluaran. Fungsi keanggotaan masukan dan keluaran sendiri pada sistem ini terbagi menjadi lima buah *fuzzy set* yaitu NB *(Negative Big)*, NS *(Negative Small)*, ZO *(Zero)*, PS *(Positive Small)*, dan PB *(Positive Big)* dengan *range* antara -1 sampai 1. Proses ini dapat dilakukan secara manual atau dengan bantuan *software* seperti *Simulink* pada MATLAB.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan masukan E



Gambar 5. Fungsi keanggotaan masukan ΔE



Gambar 6. Fungsi keanggotaan keluaran d

Implementasi menggunakan *Simulink* pada MATLAB, fungsi keanggotaan keluaran atau d karena menggunakan metode sugeno maka tipe variabelnya berupa nilai langsung sehingga bentuk grafiknya seperti yang ditunjukan diatas. Untuk keperluan Analisa, variabel keluaran dengan semesta [-1,1] dibagi menjadi lima buah quadran *yaitu* (Q1=-0,6), (Q2=-0,2), (Q3=0,2), (Q4=0,6) dan (Q5=1) dari domain keluaran sehingga dapat ditentukan fungsi keanggotaan dari masing -masing variabel keluaran.

Inferensi *fuzzy* ditambahkan *rules* atau aturan *fuzzy* yang merupakan sebuah *base knowledge*. Dari setiap batas himpunan *fuzzy* pada setiap variabel

maka didapatkan jumlah 25 aturan *fuzzy* yang akan digunakan dalam sistem simulasi ini.

Tabel 3. Aturan masukan dan keluaran fuzzy

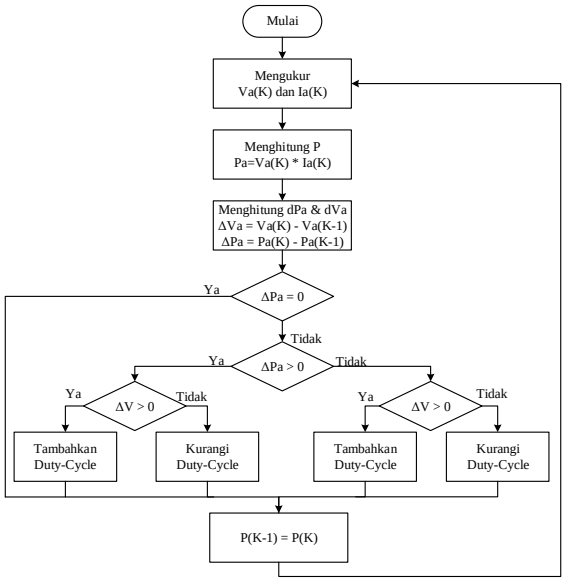
d		ΔE				
		NB	**NS**	**ZO**	**PS**	**PB**
E	**NB**	PS	PB	NB	NB	NS
	NS	PS	PS	NS	NS	NS
	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	PS	NS	NS	PS	PS	PS
	PB	NS	NB	PB	PB	PS

Defuzzyfikasi merupakan tahap menetukan bentuk keluaran pada skala keluaran yang telah ditentukan sebelumnya. Keluaran ini nantinya akan berbentuk *duty cycle* yang kemudian akan digunakan untuk membuka atau menutup *switching* MOSFET pada rangaian konverter *buck* Berikut merupakan kelompok keluaran dari proses *defuzzyfikasi*. Nilai *defuzzyfikasi* dapat dinyakatakan dalam persamaan [4] berikut:

$$WA = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 + \cdots + a_n z_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_n} \quad (10)$$

WA meruapakn nilai rata-rata, sedangkan a_n merupakan predikat aturan ke-n dan z_n adalah indeks nilai keluaran (konstanta) ke-n.

Untuk mengetahui keunggulan sistem kendali, diperlukan pembanding dimana pada penelitian ini hasil dibandingkan dengan sistem kendali lainya yang umum digunakan pada sistem panel surya yaitu P&O (*Perturb And Observe).* Berikut merupakan diagram alis kendali dari kendali P&O.

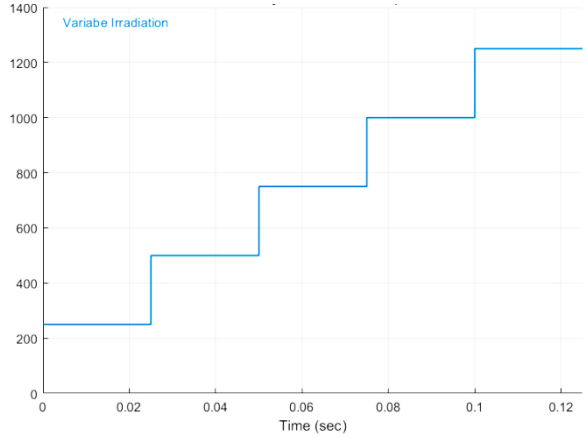


Gambar 7. Grafik desain P&O

Berdasar pada gambar diagram alur diatas, masukan kendali P&O didapat dari hasil pengukuran tegangan *(Vpv)* serta arus *(Vpv)* pada keluaran panel surya untuk kemudian dikalikan untuk mengetahui nilai daya *(Ppv)* dan selisih dari antara nilai daya saat ini dengan sebelumnya (ΔPpv). Selisih atau delta daya (ΔPpv) yang didapat kemudian akan dibandingkan apakah nilai sama dengan nol, jika iya maka *duty cycle* langsung di keluarkan dan apabila tidak akan dilakukan perbandingan kembali. Perbandingan selanjutya apakah nilai ΔPpv lebih dari nol atau tidak, jika iya maka apakah selisih tegangan antara saat ini dan sebelumnya atau delta tegangan (ΔVpv) lebih dari nol jika iya maka tambahkan nilai *duty cycle* dan jika tidak kurangi *duty cycle*. Begitu pada perbandingan sebelumnya jika nilai ΔPpv kurang dari nol, apakah nilai ΔVpv lebih dari nol jika iya maka berlaku aturan sebaliknya dari sebelumnya yaitu *duty cycle* akan dikurangi dan apabila tidak *duty cycle* akan ditambahkan. Proses ini berlangsung untuk sampai nilai daya sesuai dengan nilai daya sebelumnya yang artinya selisih sama dengan nol.

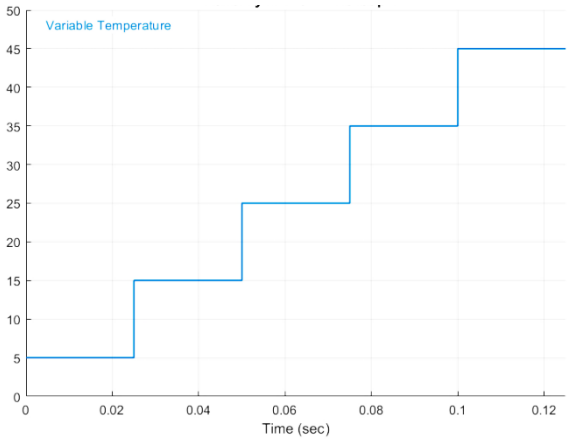
Pengujian kedua sistem kendali tersebut dilakukan pada tiga kondisi berdasarkan tingkat iradiasi dan temperature, adapun kondisi yang dimaksud ialah:

1. Iradiasi konstan (*1000 W/m*^{2}), dan suhu konstan (*25* ^oC), nilai iradiasi dan suhu yang diberikan tersebut merupakan kondisi *standard* panel surya kapasitas *120WP* untuk mendapatkan MPP. Pengujian dilakukan dengan mengambil pembacaan simulasi selama *0,03* detik.
2. Iradiasi berubah, dan suhu konstan (*25* ^oC), adapun berikut merupakan gambaran sinyal iradiasi yang diberikan pada simulasi selama *0,125* detik



Gambar 8. Grafik perubahan iradiasi pada blok *signal builder*

3. Iradiasi konstan (*1000 W/m*^{2}), dan temperatur berubah adapun berikut merupakan gambaran sinyal iradiasi yang diberikan pada simulasi selama *0,125* detik.



Gambar 9. Grafik perubahan temperatur pada blok *signal builder*

Hasil pengujian simulasi akan dipaparkan dalam bentuk grafik dan tabel, yang kemudian data tersebut diolah untuk mendapatkan rata-rata tingkat efisiensi dari setiap kendali dan kondisi pengujian, Adapun berikut merupakan beberapa persamaan [5] yang dibutuhkan,

$$Error = P_{mp} - P_{pv} \quad (11)$$

$$\%\ Error = \frac{Error}{Pmp} \times 100\% \quad (12)$$

$$\Sigma\ \%\ Error = \sum_{t=1}^{n} \%\ Error \quad (13)$$

$$MPE = \frac{Jumlah\ \%\ Error}{n} \quad (14)$$

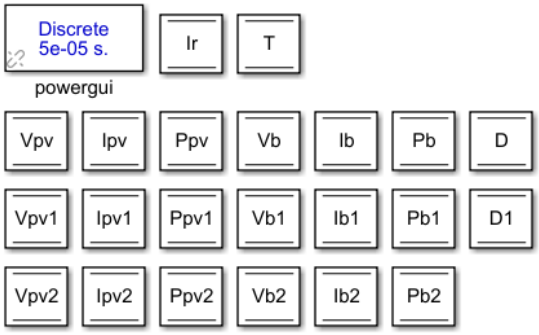
$$\%\ \eta\ = 100\% - MPE \quad (15)$$

Dimana Ppv adalah daya terukur dari panel surya dan Pmp merupakan daya MPP.

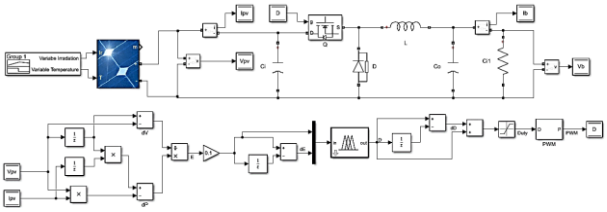
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Realisasi Perancangan pada Simulink*

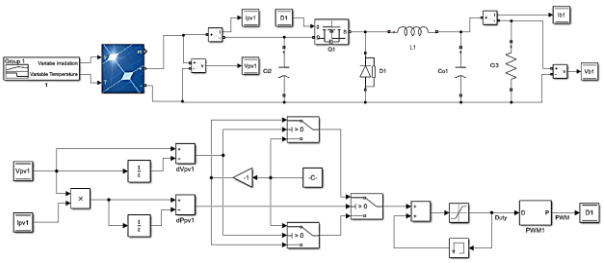
Berikut merupakan realisasi perancangan konveter *buck* dan metode kendali *fuzzy* yang telah dirancang sebelumnya.



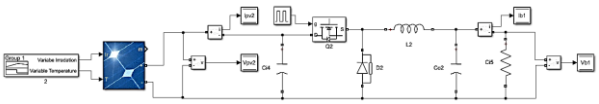
Gambar 10. *Power* GUI dan *data store memory* yang digunakan pada *Simulink*



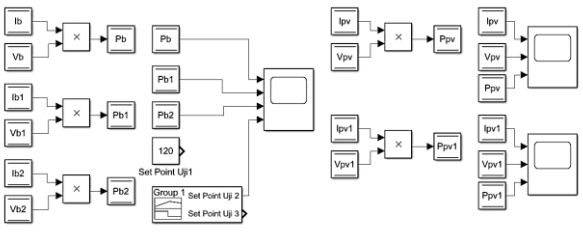
Gambar 11. Konfigurasi rangkaian sistem panel surya dan sistem kendali *fuzzy*



Gambar 12. Konfigurasi rangkaian sistem panel surya dan sistem kendali P&O



Gambar 13. Konfigurasi rangkaian sistem panel surya tanpa kendali

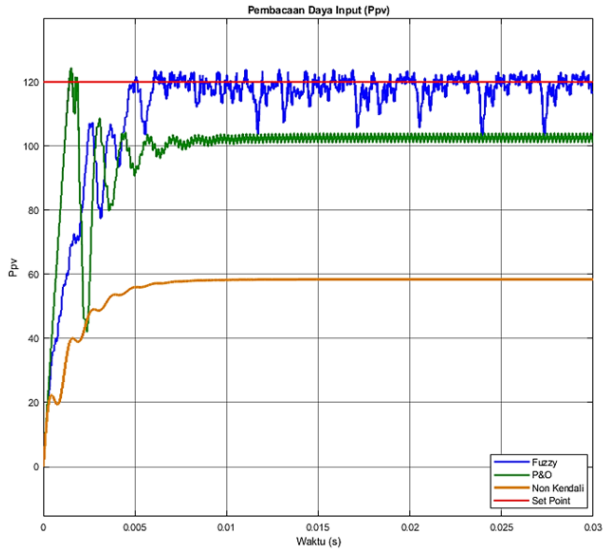


Gambar 14. *Scope* untuk anlisa pembacaan sistem

B. *Analisa Hasil Pengujian*

1. Kondisi iradiasi dan suhu konstan

Berikut merupakan grafik hasil perekaman sinyal pembacaan pada masukan sistem (keluaran panel surya),



Gambar 15. Pembacaan daya panel surya (Ppv) dengan iradiasi dan suhu konstan

Grafik hasil pengujian diatas pada pembacaan daya pada masukan didapati bentuk grafik yang menggunakan *fuzzy* tidak memiliki *overshoot* dan memiliki osilasi yang tidak begitu stabil jika dibandingkan dengan bentuk grafik yang dihasilkan P&O, namun didapati juga kendali P&O tidak dapat mencapai *setpoint* yang ditentukan yaitu MPP saat kondisi iradiasi 1000 W/m^2 dan suhu 25°C yaitu 120 Watt. Berikut merupakan tabel analisa penghitungan efesiensi berdasar grafik diatas menggunakan persamaan (11) s/d (15).

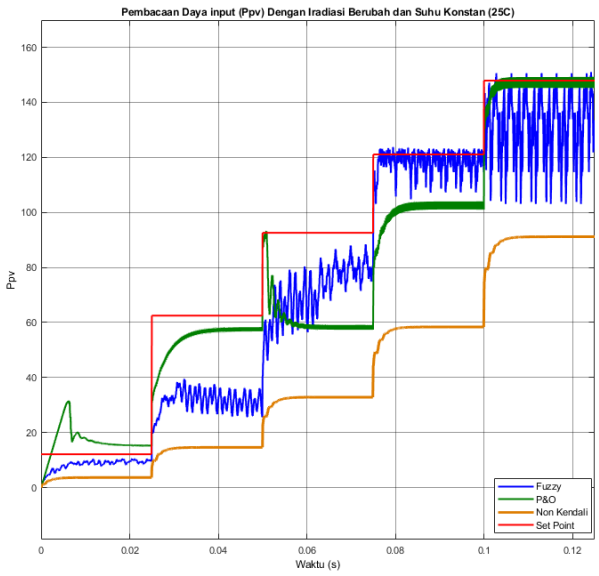
Tabel 4 Analisa efesiensi pengujian sistem dengan kondisi iradiasi dan suhu konstan

No	Waktu	Fuzzy		P&O		Non-Kendali	
	(s)	Pvp	% E	Pvp	% E	Pvp	% E
1	0,010	118,49	1,26%	101,50	15%	58,23	51%
2	0,011	119,43	0,48%	100,90	16%	58,30	51%
3	0,012	120,23	0,19%	100,90	16%	58,34	51%
4	0,013	114,97	4,19%	101,00	16%	58,36	51%
5	0,014	122,63	2,19%	101,00	16%	58,37	51%
6	0,015	115,29	3,92%	101,10	16%	58,37	51%
7	0,016	116,22	3,15%	101,10	16%	58,37	51%
8	0,017	120,41	0,34%	101,10	16%	58,38	51%
9	0,018	119,84	0,14%	101,10	16%	58,38	51%
10	0,019	118,18	1,52%	101,10	16%	58,38	51%
11	0,020	117,87	1,77%	101,10	16%	58,38	51%
12	0,021	121,17	0,98%	101,10	16%	58,38	51%
13	0,022	110,74	7,71%	101,10	16%	58,38	51%
14	0,023	122,23	1,86%	101,10	16%	58,38	51%
15	0,024	119,23	0,64%	101,10	16%	58,38	51%
16	0,025	121,61	1,34%	101,10	16%	58,38	51%
17	0,026	116,28	3,10%	101,10	16%	58,38	51%
18	0,027	117,97	1,69%	101,10	16%	58,38	51%
19	0,028	119,98	0,02%	101,10	16%	58,38	51%
20	0,029	119,66	0,28%	101,10	16%	58,38	51%
21	0,030	119,11	0,74%	101,10	16%	58,38	51%
		Σ%E	**37,52%**	**Σ%E**	**30,92%**	**Σ%E**	**1078,6%**
		x̄%E	**1,79%**	**x̄%E**	**15,76%**	**x̄%E**	**51,36%**
		%η	**98,21%**	**%η**	**84,24%**	**%η**	**48,64%**

Dari Tabel 4 dapat diketahui efisiensi pada pengujian pertama sistem yang menerapkan kendali fuzzy sebesar 98,21%, sedangkan untuk untuk kendali P&O sebesar 84,24%. Kedua kendali tersebut terbukti dapat membantu sistem meningkatkan efisiensi yang jika tidak mengguunakan kendali hanya sebesar 48,64% saja.

2. Kondisi iradiasi berubah dengan suhu konstan

Berikut merupakan grafik hasil perekaman sinyal pembacaan pada masukan sistem (keluaran panel surya) dari pengujian kedua.



Gambar 16. Pembacaan daya panel surya (Ppv) dengan iradiasi bervariasi dan suhu konstan

Grafik hasil pengujian pembacaan daya pada masukan didapati bentuk grafik seperti pada pengujian pertama, yaitu bentuk grafik yang menggunakan *fuzzy* tidak memiliki *overshoot* dan memiliki osilasi yang tidak begitu stabil serta baru

bisa mencapai kesesuaian dengan *setpoint* hanya pada saat kondisi *standard* panel surya saat *1000 W/m*^{2}. Jika dibandingkan dengan bentuk grafik yang dihasilkan P&O memiliki *overshoot* terutama saat terjadi perubahan iradiasi dan saat kondisi *steady state* grafik lebih stabil jika dibandingkan dengan kendali *fuzzy* meskipun tidak pada *setpoint* kecuali saat iradiasi melebih kondisi *standard* nya. Berikut merupakan tabel analisa penghitungan efesiensi berdasarkan persamaan (11) s/d (15) dengan perekaman grafik selama 0,125 detik dengan waktu setiap pengambilan data 0,005 detik yang dimulai dari 0,01 detik dari setiap terjadinya perubahan iradiasi.

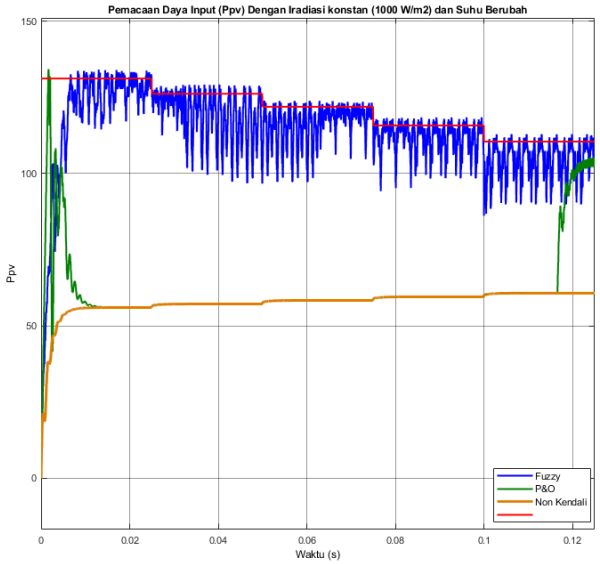
Tabel 5. Analisa efisiensi pengujian sistem dengan kondisi iradiasi bervariasi dan suhu konstan

No	Waktu	Irra	SP	Fuzzy		P&O		Non-Kendali	
	(s)	W/m^2	Pmpp	Pvp	% E	Pvp	% E	Pvp	% E
1	0,010	250	12,13	9,94	18,05	17,80	46,74	3,64	69,99
2	0,015	250	12,13	10,24	15,58	16,64	37,18	3,65	69,91
3	0,020	250	12,13	9,56	21,19	16,18	33,39	3,65	69,91
4	0,035	500	62,5	36,79	41,14	54,56	12,70	14,59	76,66
5	0,040	500	62,5	35,12	43,81	54,59	12,66	14,61	76,62
6	0,045	500	62,5	34,95	44,08	54,81	12,30	14,61	76,62
7	0,060	750	92,6	83,45	9,88	57,73	37,66	32,83	64,55
8	0,065	750	92,6	83,37	9,97	57,44	37,97	32,85	64,52
9	0,070	750	92,6	85,74	7,41	57,41	38,00	32,85	64,52
10	0,085	1000	120	119,40	0,50	100,90	15,92	58,38	51,35
11	0,090	1000	120	119,60	0,33	101,10	15,7	58,38	51,35
12	0,095	1000	120	121,10	0,92	101,10	15,75	58,38	51,35
13	0,110	1250	147,9	148,70	0,54	140,60	4,94	91,12	38,39
14	0,115	1250	147,9	142,80	3,45	140,60	4,94	91,17	38,36
15	0,120	1250	147,9	147,30	0,41	140,60	4,94	91,16	38,36
				Σ%E	**217,25**	**Σ%E**	**330,83**	**Σ%E**	**902,47**
				x̄%E	**14,48**	**x̄%E**	**22,06**	**x̄%E**	**60,16**
				%η	**85,52**	**%η**	**77,94**	**%η**	**39,84**

Dari Tabel 5 dapat diketahui efisiensi pada pengujian kedua dengan kondisi iradiasi bervariasi dan suhu konstan, didapatkan bahwa sistem yang menerapkan kendali *fuzzy* efisiensi sebesar 85,52%, sedangkan untuk untuk kendali P&O sebesar 77,94%. Kedua pengujian tersebut dapat terbukti memperbaiki sistem yang hanya memiliki efisiensi sebesar 39,84% jika tidak menggunakan sistem kendali. Pengujian ini juga membuktikan iradiasi memiliki pengaruh yang besar terhadap perubahan daya dan dari bentuk grafik yang didapatkan diketahui jika perubahan iradiasi semakin besar maka akan besar juga daya yang dihasilkan.

3. Kondisi iradiasi konstan dengan suhu berubah

Berikut merupakan grafik hasil perekaman sinyal pembacaan pada masukan sistem (keluaran panel surya) dari pengujian ketiga.



Gambar 17. Pembacaan daya panel surya (Ppv) dengan iradiasi konstan dan suhu bervariasi

Grafik hasil pengujain diatas pada pembacaan daya pada masukan didapati bentuk grafik memiliki kearakteristik seperti pada pengujian pertama, yaitu bentuk grafik yang menggunakan *fuzzy* tidak memiliki *overshoot* dan memiliki osilasi yang tidak begitu stabil, namun berhasil mencapai kesesuaian dengan *setpoint* dari semua kondisi perubahan suhu yang digunakan.. Jika dibandingkan dengan bentuk grafik yang dihasilkan P&O memiliki *overshoot* diawal dan kemudian turun sampai sama seperti grafik dengan yang tidak menggunakan kendali, dan diakhir pengujian saat terjadi penurunan yang dilanjutkan kenaikan grafik mendekati *setpoint* pengujian. Berikut merupakan tabel analisa penghitungan efesiensi berdasarkan persamaan (11) s/d (15) dengan perekaman grafik selama 0,125 detik dengan waktu setiap pengambilan data 0,005 detik yang dimulai dari 0,01 detik dari setiap terjadinya perubahan suhu.

Tabel 6. Analisa efisiensi pengujian sistem dengan kondisi iradiasi konstan dan suhu bervariasi

No	Waktu	Temp	SP	Fuzzy		P&O		Non-Kendali	
	(s)	°C	Pmpp	Pvp	% E	Pvp	% E	Pvp	% E
1	0,010	5	131,2	127,90	2,52	58,30	55,56	55,90	57,39
2	0,015	5	131,2	129,00	1,68	56,10	57,24	56,03	57,29
3	0,020	5	131,2	128,80	1,83	56,00	57,32	56,04	57,29
4	0,035	15	126,2	123,10	2,46	57,20	54,68	57,20	54,68
5	0,040	15	126,2	122,20	3,17	57,20	54,68	57,20	54,68
6	0,045	15	126,2	124,50	1,35	57,20	54,68	57,20	54,68
7	0,060	25	120	118,10	1,58	58,38	51,35	58,38	51,35
8	0,065	25	120	119,70	0,25	58,38	51,35	58,38	51,35
9	0,070	25	120	117,50	2,08	58,38	51,35	58,38	51,35
10	0,085	35	115,8	112,90	2,50	59,56	48,57	59,56	48,57
11	0,090	35	115,8	111,50	3,71	59,56	48,57	59,56	48,57
12	0,095	35	115,8	112,60	2,76	59,56	48,57	59,56	48,57
13	0,110	45	110,5	104,30	5,61	60,76	45,01	60,76	45,01
14	0,115	45	110,5	106,40	3,71	60,76	45,01	60,76	45,01
15	0,120	45	110,5	105,20	4,80	98,51	10,85	60,76	45,01
				Σ % E	**40,01**	Σ % E	**734,7**	55,90	**770,79**
				x̄ % E	**2,67**	x̄ % E	**48,98**	x̄ % E	**51,39**
				% η	**97,33**	% η	**51,02**	% η	**48,61**

Tabel 6 dapat diketahui efisiensi pada pengujian ketiga dengan kondisi iradiasi konstan dan suhu bervariasi, didapatkan bahwa sistem yang menerapkan kendali *fuzzy* efisiensi sebesar 97,33%, sedangkan untuk untuk kendali P&O sebesar 51,02%. Data pengujian tersebut dapat membuktikan sistem dengan kendali *fuzzy* dapat memperbaiki respon dibanding dengan kendali P&O yang hanya memiliki efisiensi hampir serupa jika tidak menggunakan kendali yaitu sebesar 48,61%. Pengujian ini juga membuktikan suhu memiliki pengaruh terhadap perubahan daya dan dari bentuk grafik yang didapatkan diketahui jika perubahan suhu semakin besar maka daya akan semakin kecil atau berbanding terbalik.

C. Analisa Perbandingan Efisiensi MPPT

Berdasar ketiga kondisi pengujian berdasarkan iradiasi dan suhu didapati efisiensi MPPT antara sistem yang menggunakan kendali logika *fuzzy*, P&O dan sistem tanpa kendali yang didapat sebagai berikut,

Tabel 7. Hasil perbandingan efisiensi pembacaan daya dari ketiga pengujian

No	Kondisi	Fuzzy	P&O	Non-Kendali
		% η	% η	% η
1	Irradiasi & Suhu Konstan	98,21%	84,24%	48,64%
2	Iradiasi Berubah & Suhu Konstan	85,52%	77,94%	39,84%
3	Iradiasi Konstan & Suhu Berubah	97,33%	51,02%	48,61%
x̄ (Rata-rata)		**93,69%**	**71,07%**	**45,70%**

Efisiensi rata rata pembacaan daya maksimum untuk MPPT dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* sebesar 93,69%, dan lebih baik dibandingkan dengan kendali P&O yaitu 71,07%. Namun pada dasarnya kedua kendali tersebut telah berhasil memperbaiki tingkat efisiensi pada sistem yang jika tanpa menggunakan kendali hanya sebesar 45,70%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian simulasi pada Simulink yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut,

1. Perancangan simulasi kendali MPPT pada *buck* konverter menggunakan logika *fuzzy* sugeno dan P&O sebagai pembanding dalam sistem panel surya telah berhasil dibuat dan dijalankan menggunakan *Simulink* pada perangkat lunak MATLAB. Adapun spesifikasi sistem yaittu menggunakan panel surya tunggal dengan kapasitas 120 WP, rangkaian *buck* konverter serta kendali logika *fuzzy* metode sugeno dan P&O sebagai pembanding.
2. Pengujian berdasar beberapa kondisi tertentu telah dilakukan dengan hasil berupa bentuk grafik serta analisa pembacaan daya dalam mencapai MPPT. Berdasrkan hasil analisa beberapa penggujian diatas dapat diketahui efisiensi rata rata pembacaan daya maksimum untuk MPPT dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* sebesar *93,69%*, dan lebih baik dibandingkan dengan kendali P&O yaitu *71,07%*. Namun pada dasarnya kedua kendali tersebut telah berhasil memperbaiki tingkat efisiensi pada sistem yang jika tanpa menggunakan kendali hanya sebesar *45,70%.*:

REFERENSI

[1] I. B. Hermawan dan A. Harumwidiah, "Perbandingan Daya Listrik Panel Surya Menggunakan MPPT P&O terhadap MPPT Logika Fuzzy," *Journal Of Electrical Engineering And Technology*, vol. 2, no. 1, hlm. 15–23, 2021, doi: https://doi.org/10.48056/jeetech.v2i1.148.

[2] M. Effendy, "IMPLEMENTASI TEKNOLOGI MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA SOLAR SEL BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER," *SENTRA (Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa)*, vol. VI, hlm. 121–130, 2016.

[3] A. M. Eltamaly dan A. Y. Abdelaziz, Ed., *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*. dalam Green Energy and Technology. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-05578-3.

[4] Ismail H. Altaş, *Fuzzy Logic Control in Energy Systems with Design Applications in MatLabSimulink*. London, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, 2017.

[5] D. L. Rahakbauw, "PENERAPAN LOGIKA FUZZY METODE SUGENO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI ROTI BERDASARKAN DATA PERSEDIAAN DAN JUMLAH PERMINTAAN (STUDI KASUS: PABRIK ROTI SARINDA AMBON)".