pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v22i1.xxxxx

PERBANDINGAN EFISIENSI DAYA PADA *SOLAR CHARGE CONTROLLER* MENGGUNAKAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) DENGAN METODE ALGORITMA ADAPTIVE NEURO-FUZZY INTERENCE SYSTEM (ANFIS) DAN INCREMENTAL CONDUCTANCE BERBASIS IOT

Hafizh Prasetio Utomo[1)], Arkhan Subari[2)]
1)Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
[*)]E-mail : *hafizhprasetioutomo@students.undip.ac.id*

ABSTRACT

Solar panels are a type of renewable energy technology that can convert energy from sunlight into electrical energy. Solar panels consist of an array of solar cells arranged in such a way as to effectively absorb sunlight. Solar panels provide a readily available and free source of renewable energy; however, their efficiency remains relatively low. MPPT (Maximum Power Point Tracking) solar charge controllers are designed to maximize the power output from solar panels and regulate battery conditions to prevent overcharging. This study aims to compare the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) method and the Incremental Control method using a boost converter to achieve maximum output in terms of voltage, current, and power using an MPPT module. Simulations were conducted using both sunlight and artificial light. Additionally, this MPPT system is integrated with IoT control using an ESP32 microcontroller for remote control.

Keywords: *Solar Panel, MPPT, ANFIS, Incremental Control, ESP 32, IoT*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi surya sebagai energi terbarukan sudah semakin banyak digunakan, energi surya menghasilkan energi ramah lingkungan dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Daya listrik yang dihasilkan panel surya bergantung pada besarnya intensitas cahaya matahari dan suhu kerja panel surya. Pada PLTS terdapat modul fotovoltaik sebagai perangkat utama untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Salah satu kendala utama pada PLTS yaitu efisiensi konversi modul fotovoltaik yang masih cukup rendah sehingga dibutuhkan *Solar Charger Controller* dengan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), diharapkan daya output modul fotovoltaik dapat mengisi baterai secara maksimal.

Untuk saat ini sistem panel surya dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpan energi cadangan yang diisi saat intesitas matahari tinggi dan digunakan untuk menyuplai beban saat malam hari, untuk itu dibutuhkan sebuah sistem kontrol pengisian baterai yang dikombinasikan dengan MPPT agar daya yang dihasilkan panel surya secara maksimal dapat digunakan untuk mengisi baterai. Konverter DC-DC digunakan untuk menghubungkan modul fotovoltaik dengan beban. MPPT akan melakukan variasi duty cycle pada konverter DC-DC agar modul fotovltaik bekerja pada kondisi MPP sedemikian rupa sehingga daya optimum dapat dihantarkan menuju beban. Ada dua macam jenis metode MPPT secara umum, yaitu MPPT konvensional dan MPPT soft-computing. Metode MPPT konvensional adalah metode MPPT yang memiliki perhitungan yang sangat sederhana dan tanpa suatu pemodelan terlebih dahulu. Beberapa contoh metode konvesional adalah Peturbation and Observation (P&O), Incremental Conductance. MPPT tersebut bekerja berdasarkan perubahan nilai tegangan, arus, serta daya yang dihasilkan dan perubahannya tergantung dari masing-masing sifat algoritma. Ketiga metode MPPT tersebut tidak memiliki pemodelan untuk proses komputasinya sehingga masih dikategorikan dalam metode MPPT konvensional.

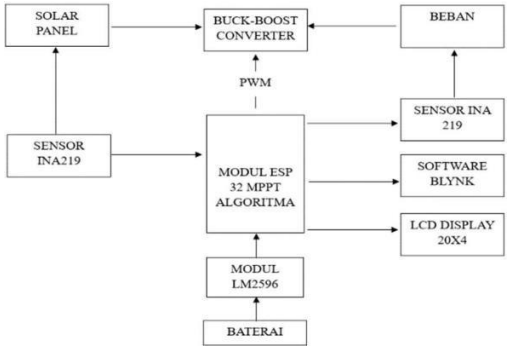
Metode MPPT soft-computing merupakan metode MPPT yang memiliki komputasi berdasarkan pemodelan. Beberapa contohnya adalah algoritma Firefly, Grey Wolf Optimization, Fuzzy Logic, Algoritma Genetika, dan Artificial Neural Network (ANN). Firefly, dan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan tiga metode soft- computing yang pemodelan matematika berdasarkan kebiasaan dari perilaku makhluk hidup. Sehingga bentuk

pemodelannya lebih rumit dan respon awal yang dihasilkan juga nilainya berubah secara cepat dan bisa signifikan [13]. kecerdasan buatan hybrid dengan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) dan metode konvesional yaitu Incremental Conduct. Penelitian ini dibuat untuk membuktikan algoritma mana yang lebih baik untuk optimalisasi daya.

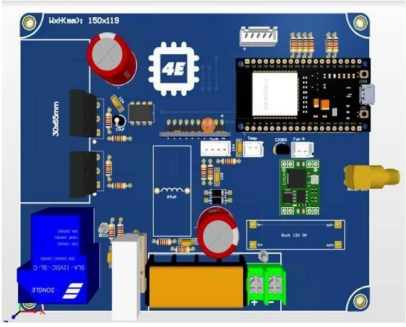
METODE PENELITIAN

Perencanaan Hardware

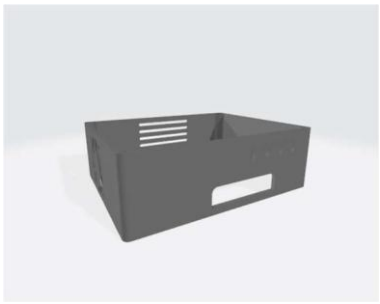
Pada Penelitian kali ini data yang ingin didapatkan dan sesuai dengan tujuan MODUL dapat dilihat blok diagram pada gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Desain Alat Secara Keseluruhan Tampak Dalam (b) Desain Prototype Box Luar

Flowchart Alat

Diagram Alir dari Tugas Akhir yang berjudul "Perbandingan Efisiensi Daya Pada *Solar Charge Controller* Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Dengan Metode Algoritma *Adaptive Neuro-Fuzzy Interence* System (ANFIS) dan *Incremental Conductance* Berbasis IOT" dapat dilihat pada Gambar 3.

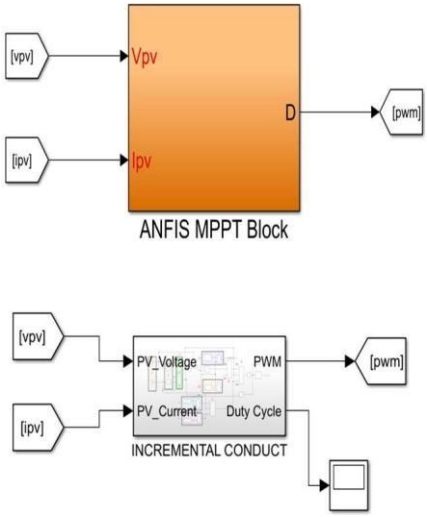


Gambar 3. Flowchart Alat

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) adalah teknologi yang digunakan dalam sistem tenaga fotovoltaik (surya), khususnya pada panel surya dan pengontrol muatan surya. Tujuan utama MPPT adalah memaksimalkan efisiensi panel surya dengan terus menyesuaikan tegangan dan arus pengoperasian untuk memastikan panel selalu beroperasi pada titik daya maksimum (MPP). Efisiensi panel surya merujuk pada kemampuan panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

Panel surya memiliki hubungan kompleks antara tegangan dan arus, dan keluarannya bervariasi seiring perubahan kondisi lingkungan, seperti intensitas dan suhu sinar matahari. MPP adalah titik di mana panel surya menghasilkan daya paling besar. Untuk mengekstrak energi maksimum dari panel surya, pengontrol MPPT secara konstan memonitor keluaran panel dan menyesuaikan tegangan dan arus untuk mempertahankannya pada MPP.

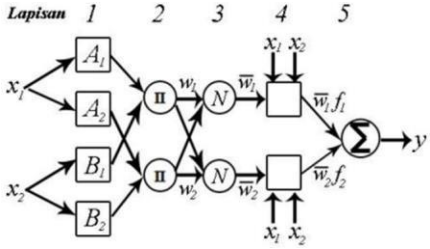


Gambar 4. (a) MPPT ANFIS (b) MPPT Incremental Conduct

Pengontrol MPPT menggunakan berbagai algoritma dan elektronik untuk melakukan fungsi pelacakan ini. Dengan mengoperasikan panel surya pada MPP-nya, teknologi MPPT dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi energi keseluruhan sistem tenaga surya, sehingga menghasilkan lebih banyak produksi listrik dan, pada gilirannya, menghasilkan energi yang lebih tinggi dari panel surya yang sama.

***Adaptive Neuro-Fuzzy Interfance System* (ANFIS)**

ANFIS merupakan penggabungan mekanisme Fuzzy Inference System (FIS) dan Neutral Netrwork yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf tiruan [6] sistem ini menggunakan interfensi jaringan saraf MLP 5 lapis untuk menyempurnakan aturan fuzzy Takagi-sugeno. Algoritma yang ANFIS menggunakan metode optimasi hybrid. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi(Kusumadewi, dkk, 2006: 42)[7]

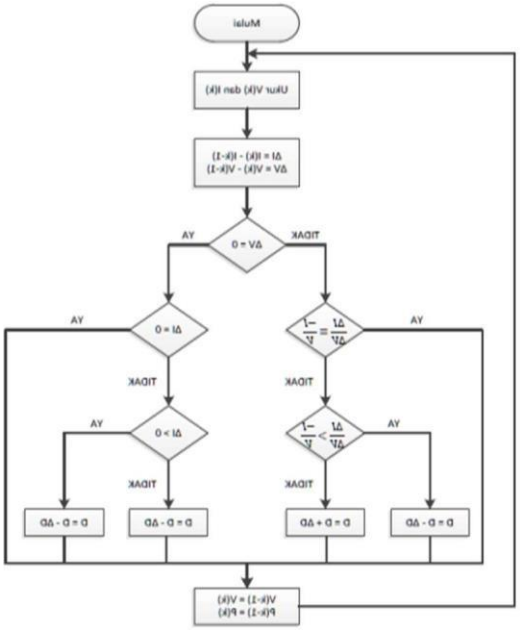


Gambar 5. Struktur Jaringan ANFIS

Incremental Conductance

Algoritma konduktansi tambahan adalah salah satu metode pelacakan MPP. Algoritma ini menggunakan pengukuran inkremental terhadap perubahan konduktansi pada generator, baik termoelektrik maupun sel surya. Dengan membandingkan pengukuran inkremental, dapat diketahui bahwa perubahan tegangan dan arus daya disebabkan oleh perubahan temperatur pada generator termoelektrik. Konduktansi tambahan didefinisikan sebagai (dItg/dVtg). Dengan diperolehnya nilai konduktansi riil modul termoelektrik maka dapat diketahui letak titik operasi MPP (titik maksimum).

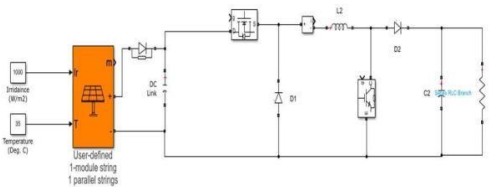
Cara kerja Metode *Incremental Conductance* (InCo) adalah dengan mengukur tegangan dan arus dari panel surya untuk *input* ke *Buck-Boost Converter*. Selanjutnya algoritma mentracking apakah ada perubahan nilai tegangan saat ini dengan tegangan sebelunya ΔV, dan perubahan arus ΔI. Selanjutnya algoritma akan memeriksa perubahan tegangan ΔV = 0 seperti persamaan 2.17. Jika benar, algoritma akan memeriksa ΔI=0. Untuk perubahan tegangan jika ΔVtidak sama dengan 0, algoritma dilakukan pengecekan. apakah kurva ΔI/ΔV =- I/V jika benar *duty cycle*, jika tidak maka dilakukan pengecekan ΔI/ΔV >- I/V jika iya, maka *duty cycle* perlu ditingkatkan dengan menaikan tegangan, jika tidak maka *duty cycle* perlu diturunkan dengan menurunkan tegangan. Tahap terakhir dari metode *Incremental Conductance* yaitu proses memperbaharui nilai tegangan dan arus. Setelah proses update nilai data tegangan dan arus maka tahap selanjutnya yaitu proses kembali pada pembacaan data sensor tegangan dan arus.



Gambar 6. Algoritma *Incremental Conductance*

Buck-Boost Converter

Pada penelitian ini digunakan DC-DC Converter dengan jenis Buck-Boost Converter yang mempunyai prinsip kerja menaikan dan menurukan tegangan, Buck Boost Converter memiliki 5 komponen utama yaitu: mosfet, dioda, inductor, kapasitor dan resistor. Mosfet digunakan sebagai kontrol Switching PWM dengan perbandingan waktu saat switch on duty cyle. Besar *output* ditentukan oleh besar kecil keluaran *duty cycle* pwm berdasarkan switching MOSFET. Ketika *duty cycle* lebih besar dari 50 %, Maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan lebih besar dari nilai tegangan masukan. Sedangkan *duty cycle* kurang dari 50 % tegangan keluaran yang dihasilkan akan lebih kecil dari tegangan masukan.



Gambar 7. Rangkaian *Buck-Boost Converter*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses pembuatan alat, baik perangkat keras maupun perangkat lunak telah selesai dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran dan pengujian. Pengukuran dan pengujian alat bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dalam perangkat telah bekerja sesuai dengan tujuan utama pembuatannya, yaitu untuk membuktikan efisiensi daya yang dihasilkan oleh *algoritma Incremental Conductance* dan ANFIS pada sistem *Maximum Power Point Tracking* yang dilengkapi dengan monitoring berbasis IOT.

Simulasi MPPT berbasis ANFIS dan Incremental Conductance

Simulasi MPPT Anfis dan Incremental Conduct dilakukan untuk mengehatui kerja dari kontroler yang dirancang dalam melakukan penjejakan MPP pada kondisi klimatik. Pada simulasi ini Iradiasi panel surya dan suhu panel di variasikan untuk menunjukan perbedaan daya yang dihasilkan dari masing masing kontrol. Tabel 31 menunjukan variasi suhu dan iradiasi saat dilakukan simulasi.

Tabel 1. Simulasi MPPT berbasis ANFIS dan Incremental Conductance

Iradiasi	Suhu	Ppv(Watt)			Daya Baterai		Efisiensi (%)	
		Pmax	ANFIS	*Incremental Conduct*	ANFIS	*Incremental Conduct*	ANFIS	*Incremental Conduct*
102	30	18,2	3,57	4.56	1,39	2,53	38,93	55,48
221	31	21,8	9,72	10.2	8,32	6,59	85,55	64,60
319	32	22,5	14,42	14.92	12,13	12,15	84,11	96,90
592	33	29,6	28,25	28.2	27,13	25,04	96,54	94,50
612	33	30,6	29,1	29.2	27,6	26,87	94,48	92,02
729	34	36,4	34,8	34.9	33,37	33,52	95,89	96,05
831	34	41,5	39,9	40.0	38,01	37,02	95,26	92,55
849	35	42,4	40,6	40.7	38,14	39,68	93,94	97,49
912	35	45,6	43,81	43.94	42,77	41,72	97,62	94,94
962	35	48,1	46,7	46.4	45,08	44,04	96,53	94,91
981	35	49,05	47,2	47.3	45,36	45,26	96,10	95,68
1000	35	50	48,1	48.29	45,12	43,35	93,80	89,77
			RATA-RATA				89,0625	88,74083

Titik daya maksimal (Pmax) adalah daya maksimal yang mampu dihasilkan panel surya yang besarnya tergantung pada kondisi iradiasi dan suhu. Nilai acuan penentuan besar Pmax menyesuaikan datasheet panel surya 50 WP spesifikasi yang digunakan yaitu pada iradiasi 1000 W/m2 dan suhu 25 ^{o}C panel surya ini mampu menghasilkan daya maksimal 50 Watt. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung effisiensi:

$$Pmax = \frac{Iradiasi}{1000}\ x\ 50\ Watt$$

$$Efisiensi\ (\eta) = \frac{Poutput}{Pinput}\ x\ 100\%$$

Setelah dilakukan simulasi menggunakan aplikasi matlab didapatkan MPPT menggunakan algoritma ANFIS memiliki effisiensi rata-rata 89,06 % sedangkan algoritma Incremental Conductance memiliki effisiensi 88,74. Bisa disimpulkan bahwa algoritma ANFIS memiliki effisiensi yang lebih tinggi dibandingan algoritma Incremental Condcut.

Pengujian MPPT Menggunakan Reflektor Cahaya Lampu

Tabel 2. Pengujian MPPTANFIS Menggunakan Reflektor Cahaya Lampu

Kondisi	Tegangan	Arus	Pinput	Tegangan	Arus	Poutput	Effisiensi
1.	12,97	0,58	7,53	6,04	0,48	2,77	36,78
2.	7,54	0,68	5,12	5,72	0,46	2,63	51,3
3.	12,83	0,26	3,33	6,04	0,5	2,52	75,6
			Rata- Rata (%)				54,56



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Pengujian ANFIS (a) Kondisi 1,(b) Kondisi 2, (c) Kondisi 3

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya yang di peroleh panel surya dengan mengunakan lampu Led dengan menggunakan solar power meter. maka dapat dihitung efisiensi panel surya menggunakan algoritma ANFIS dan penyinaran yang di peroleh oleh lampu Led dengan rata rata efisiensi 54,56 %. Untuk output dari ANFIS dikatakan lebih stabil dengan rata rata daya keluaran output 2,3 Watt.

Tabel 3. Pengujian MPPT INC Menggunakan Reflektor Cahaya Lampu

Kondisi	Tegangan	Arus	Pinput	Tegangan	Arus	Poutput	Effisiensi
1	10,62	0,645	6,85	4,66	0,423	2,22	32,4
2	13,36	0,59	7,17	5,16	0,49	2,47	34,4
3	12,89	0,132	1,63	3,46	0,35	1,35	82,82
				Rata- Rata (%)			49,87



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Pengujian INC (a)Kondisi 1,(b) Kondisi 2, (c) Kondisi 3

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya yang di peroleh panel surya dengan mengunakan lampu Led dengan menggunakan solar power meter. maka dapat dihitung efisiensi panel surya menggunakan algoritma ANFIS dan penyinaran yang di peroleh oleh lampu Led dengan rata rata efisiensi 49,87 %. Walaupun algoritma Incremental Conduct dapat menghasilkan efisiensi yang besar namun untuk output dari Incremental Conducnt dikatakan lebih fluktuatif dibandingkan dengan ANFIS sehingga rata rata eifisiensinya lebih kecil.

Berdasarkan hasil analisis diatas menunjukan bahwa MPPT menggunakan algoritma ANFIS dengan penampahan reflektor lampu sebagai sumber cahaya dapat meningkatan nilai efisiensi pada panel surya sebesar 54.56%. Sedangkan MPPT menggunakan algoritma Incremental Conductance memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan ANFIS yaitu sebesar 49.87 %.

Pengujian MPPT Charging Kontrol Menggunakan ANFIS dan Incremental Conductance Sumber Cahaya Matahari

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya yang dihasilkan oleh sistem MPPT ANFIS dan *Incremental Conductance* untuk pengisian daya battery.

Tabel 4. Pengujian MPPT Charging Kontrol Menggunakan Incremental Conductance

INCREMENTAL CONDUCTANCE							
NO	JAM	PANEL SURYA			BATERAI		
		Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	08.00	0,27	16,42	4,43	0,21	11,48	2,50
2	08.30	0,78	16,01	12,48	0,67	11,51	7,71
3	09.00	0,96	17,03	16,34	0,98	11,45	11,22
4	09.15	0,82	17,15	14,06	1,19	11,48	13,66
5	09.30	0,97	17,20	16,68	1,31	11,49	15,05
6	09.45	1,11	17,29	19,19	1,61	11,54	18,57
7	10.00	1,25	17,36	21,7	1,81	11,52	20,85
8	10.15	1,38	17,37	23,97	2,01	11,49	22,98
9	11.30	2,52	17,44	43,94	3,63	11,55	41,84
10	11.45	2,66	17,36	46,17	3,82	11,53	44,04
11	12.00	2,60	17,34	45,08	3,72	11,51	42,81
12	12.15	2,68	17,64	47,27	3,89	11,55	44,92
13	12.30	2,59	17,28	44,75	3,48	11,52	40,08
14	12.45	2,40	17,31	41,54	3,25	11,49	36,19
15	13.00	2,31	17,30	39,96	3,14	11,59	35,21
16	13.30	2,18	17,36	37,84	2,85	11,31	32,23
17	14.00	2,09	17,35	36,26	2,52	11,49	28,95
18	14.15	2,23	17,21	38,37	2,22	11,45	25,4
19	14.30	1,95	16,25	31,68	2,15	11,41	24,53
20	14.45	1,82	16,19	29,46	1,97	11.46	22,57
21	15.00	1,31	16,14	21,14	1,72	11,50	19,78
22	15.15	1,06	16,09	17,05	1,55	11,44	17,73
23	15.30	0,93	15,64	14,54	1,43	11,45	16,37
24	16.00	0,71	15,90	11,28	0,84	11,43	9,60
Rata-Rata				**28,15**			**25,82**

Tabel 5. Pengujian MPPT Charging Kontrol Menggunakan ANFIS

ANFIS							
NO	JAM	PANEL SURYA			BATERAI		
		Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
1	08.00	0,35	17,53	6,13	0,18	11,45	1,92
2	08.30	0,48	17,28	8,29	0,57	11,45	6,52
3	09.00	0,53	17,28	9,15	0,68	11,47	7,79
4	09.15	0,64	17.46	11,17	0,84	11,49	9,65
5	09.30	1,01	17,41	17,58	1,34	11,59	15,53
6	09.45	1,12	17,15	19,20	1,51	11,31	17,07
7	10.00	1.21	17,20	20,81	1,57	11,49	18,03
8	10.15	1,10	17,29	19,02	1,60	11,45	18,32
9	11.30	1,73	17,36	30,18	2,35	11,41	26,81
10	11.45	2,65	17,42	46,16	3,75	11.46	42,97
11	12.00	2,71	17.55	47,56	3,93	11,50	45,74
12	12.15	2,51	17,31	43,44	3,49	11,44	39,92
13	12.30	2,45	17,41	42,65	3,41	11,59	39,52
14	12.45	2,54	17,37	44,11	3,65	11,54	42,121
15	13.00	2,41	17,44	42,03	3,39	11,48	38,91
16	13.30	2,21	17,36	38,36	2,94	11,49	33,78
17	14.00	1,81	17,34	31,38	2,26	11,54	26,05
18	14.15	2.25	17,64	39,69	3,01	11,52	34,67
19	14.30	2,01	17,62	35,41	2,68	11,49	30,79
20	14.45	1,87	17,43	32,59	2,61	11,55	30,14
21	15.00	1,42	17,31	24,58	2,05	11,53	23,63
22	15.15	1,24	17,42	21,60	1,51	11,51	17,38
23	15.30	0,78	17,41	13,57	1,39	11,55	16,05
24	16.00	0,53	17,31	9,17	0,79	11,52	9,10
Rata-Rata				**28,24**			**24,94**

Perbandingan Efisiensi Daya Output ANFIS dan Incremental Conductance

Dalam pengujian sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *Solar Charge Controller* (SCC) yang menjadi perangkat utama adalah DC-DC *Buck- Boost Converter* untuk menyesuaikan pada tegangan berapa panel surya akan mendapatkan nilai daya maksimum dengan merubah-ubah nilai *duty cycle* pada mikrokontroler Arduino. Setiap perangkat dan komponen elektronika tentunya memiliki nilai rugi- rugi daya sehingga daya yang dihasilkan panel surya tidak dapat dihantarkan seluruhnya, nilai ini dinyatakan sebagai efisiensi Buck Converter untuk menghantarkan daya dari panel surya menuju baterai. Nilai efisiensi DC-DC Buck Converter yang didapatkan pada saat pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Efisiensi Daya Output ANFIS dan Incremental Conduct

Percobaan ke	*Incremental Conductance*			ANFIS		
	Daya Panel Surya (Watt)	Daya Baterai (Watt)	Efisiensi (%)	Daya Panel Surya (Watt)	Daya Baterai (Watt)	Efisiensi (%)
1.	47,27	44,92	95,02	47,56	45,74	96,17

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dari solar panel. Untuk penelitian ini cukup sulit dilakukan membuat kedua algoritma mendapatkan perubahan iradians pada waktu yang sama sehingga perbandingan energi dilakukan terhadap daya maksimal yang bisa dicapai. Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi DC-DC *Buck-Boost Converter* yang didapatkan setiap hari berbeda-beda, efisiensi dari algoritma *Incremental Conduct* didapatkan sebesar 95,02 % dan efisiensi dari algoritma ANFIS didapatkan setelah melakukan pengujian sebesar 96,17 %. *Incremental Conductance* method memiliki kelebihan, dalam hal kecepataan untuk mencapai MPP, dan juga dapat menyesuaikan perubahan lingkungan, tetapi memiliki implementasi yang lebih komplek. Metode ANFIS adalah metode AI yang memiliki akurasi yang paling baik untuk mencapai MPP dan respon yang cepat terhadap fluktuasi daya tapi kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang MPPT berbasis ANFIS dam *Incremental Conductance* pada sistem Panel Surya dengan *input* berupa Arus dan Tegangan panel surya dengan *output* berupa *duty cycle* yang akan mengontrol nilai PWM dari ESP32.
2. Setelah dilakukan simulasi menggunakan aplikasi Matlab didapatkan MPPT menggunakan algoritma ANFIS memiliki effisiensi rata-rata 89,06 % sedangkan algoritma *Incremental Conductance* memiliki effisiensi 88,74. Bisa disimpulkan bahwa algoritma ANFIS memiliki effisiensi yang lebih tinggi dibandingan algoritma *Incremental Conductance*
3. Bahwa MPPT menggunakan algoritma ANFIS dengan penampahan reflektor lampu sebagai sumber cahaya dapat meningkatan nilai efisiensi pada panel surya sebesar 54.56%. Sedangkan MPPT menggunakan algoritma Incremental Conductance memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan ANFIS yaitu sebesar 49.87 %
4. Bahwa *Maximum Power Point Tracking* dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Interence System* (ANFIS) menggunakan cahaya matahari mampu menghasilkan Efisiensi daya yang lebih besar dari pada Algoritma *Incremental Conductance* (INC) sebesar 1,15 % dengan nilai daya maximum keluaran baterai *Incremental Conductance* 44,92 Watt dan rata-rata nilai daya baterai keluaran ANFIS 45,74 Watt.
5. Pengaruh perubahan lingkungan seperti intensitas matahari dan suhu dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya. Metode *Incremental Conductance* memiliki kelebihan, dalam hal kecepataan untuk mencapai MPP, dan juga dapat menyesuaikan perubahan

lingkungan, sedangkan metode ANFIS memiliki akurasi yang paling baik untuk mencapai MPP dan respon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bagian ini menyatakan ucapan terima kasih kepada pihak yang berperan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian, misalnya laboratorium tempat penelitian. Peran donor atau yang mendukung penelitian disebutkan perannya secara ringkas. Dosen yang menjadi penulis tidak perlu

dicantumkan di sini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nugraha Aditya, 2017 *IMPLEMENTATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) TECHNIQUE ON SOLAR TRACKING SYSTEM BASED ON ADAPTIVE NEURO- FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS), Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November.
2. *Tanjung, W.., 2020, Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Incremental Conductance (Inco) Pada PLTS Menggunakan Buck – Boost Dc – Dc Converter", Sumatra Utara: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.*
3. "*Zero-Drift,Bi-Directional CURRENT/POWER MONITOR with I2C™ Interface data sheet," Texas Instruments*
4. Muhammad Ihsan Fadriantam, "Analisis Perbandingan Kinerja *Algoritme Perturb And Observe (P&O)* Dan *Incremental Conductance* (IC) Pada Sistem Kendali Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
5. K. suwito, suhanto, "Sistem Baterai Charging pada *Solar Energy System* dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara," J. Teknol. Penerbangan, vol. 1, p. 1, 2017
6. Muhammad, Amar dkk. 2012. Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis Kontrol *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
7. Santoso, Yanu Arif., Setiawan, Dedy Kurnia., & Kaloko, Bambang Sri. (2015). Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328 Dengan Sumber Stand-Alone PV System. Jurusan Arus Elektro Indonesia, Universitas Jember.
8. Espressif, ESP 32 Tecnical Reference Manual, Shanghai: Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd., 2023
9. Murdianto., F., Panangsang, O., & Priyadi, A. (2015). Modelling and Simulation of MPPT- Bidirectional Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) in Distributed Energy Generation System. 2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA) (pp. 207 - 212). Surabaya: IEEE.
10. Hutauruk, Yohannes, (2019) "Rancang Bangun Sistem Kendali Pintu Garasi Menggunakan Android Berbasis Arduino Uno", Medan: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan
11. ESP32: Internal Details and Pinout : 11 Steps - Instructables https://www.instructables.com/ESP32-Internal-Details-and-Pinout/ (accsessde Sep. 30, 2023)
12. IRF3710 MOSFET Datasheet, Pinout, Features & Applications The Engineering projectshttps://www.theengineeringprojects.com/ 2021/02/irf3710-mosfet-datasheet-pinout- features-applications.html (accsessde Sep. 30, 2023)
13. Habibi, Nizar Muhammad. (2016) "Maximum Power Point Tracking Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network Berbasis Arus Hubung Singkat Panel Surya", Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
14. Ardi, Aji. "BASIC SWITCHING (MOSFET DAN IGBT)" Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
15. Suhono. 2009. Inventarisasi Permasalahan pada Instalasi Solar Home System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.
16. Abdulkadir. M, Samosir. A. S, Yatim.A.H.M dan Yusuf.S.T. 2013. A New Approach of Modelling, Simulation of MPPT for Photvoltaic System in Simulink Model. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol 8. No 7. pp 484-494
17. Samosir A.S. 2015. Modeling and Evaluation of Solar Photovoltaic Emulator Based on Simulink Model. ARPN Journal of Engineering and Aplied Sciences Vol 10, No 22. pp 10288-10295.
18. Sahu.T.P, Dixkit.T.V, K.Ramesh. 2014. Simulation and Analysis of Pertube and Observe MPPT Algorithm for PV Array Using CUK Converter. Research India Publication.. Vol 4, No 2. pp 213-224.
19. Hardiana, Tiara.(2018). "PERANCANGAN KONTROL CHARGING BATTERY MENGGUNAKAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA PV BERBASIS SOLAR TRACKER

SATU POROS", Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.

20. Kolsi, S., Samet, H., & Amar, M. Ben. (2014). Design Analysis of DC-DC Converters Connected to a Photovoltaic Generator and Controlled by MPPT for Optimal Energy Transfer throughout a Clear Day. Journal of Power and Energy Engineering, 2(1), 27–34.
21. Putro, B. I. (2014). Racang Bangun DC-DC Buck Boost Converter Berbasis Arduino Pada Mini Plant Solar Tracking System. D3 Metrologi dan Instrumentasi. Surabaya: Institut Tekonlogi Sepuluh Nopember.