

PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT SOLAR TRACKER DUAL AXIS BERBASIS MIKROKONTROLER

¹⁾ Brilliyon Hadid Setiawan Putra, ²⁾ Dzulkiflih

Mahasiswa Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: brilliyan.17030224028@mhs.unesa.ac.id

Dosen Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Email: dzulkiflih@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia termasuk negara yang terletak di garis khatulistiwa dan beriklim tropis, sehingga berpotensi mempunyai sumber energi terbarukan yang melimpah, terutama energi surya. Pemanfaatan energi surya diantaranya dilakukan dengan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan bantuan *solar cell* (Panel Surya). Pemasangan energi surya yang sering dijumpai banyak bersifat statis, akibatnya penyerapan sinar matahari kurang optimal. Perlu adanya pengoptimalan sistem kerja panel surya dengan sifat dinamis. Penelitian ini dirancang panel surya dengan empat sensor LDR pada empat sisi dan dua motor servo yang dipasang secara horizontal dan vertikal. Sensor LDR berfungsi untuk mendeteksi sinar matahari kemudian meneruskan ke mikrokontroler. Mikrokontroler memberikan perintah ke motor servo agar dapat menempatkan pada posisi sudut azimuth dan elevasi tertentu. Proses pengambilan data dilaksanakan pada jam 9 pagi hingga jam 3 sore waktu Indonesia bagian barat setiap 1 jam sekali pada tanggal 22 s/d 24 Maret 2021. Pembahasan ini mengenai *Solar tracker* kronologis dan *solar cell* pasif. Kedua panel surya menunjukkan hasil bahwa panel surya dengan sistem *solar tracker* kronologis lebih efisien dibandingkan jika hanya menggunakan panel surya dengan sistem *solar cell* pasif. Hal ini dibuktikan dengan data hasil pengujian alat *solar tracker* kronologis dan *solar cell* pasif terlihat bahwa perbedaan daya terbesar terjadi pada interval waktu 12.00-13.00 WIB yang dihasilkan tanggal 22 s/d 24 Maret 2021. Sedangkan rata-rata nilai daya dari *solar tracker* kronologis sebesar 0,44 Watt, dan rata-rata nilai daya dari *solar cell* pasif sebesar 0,34 Watt pada posisi sudut azimuth terbaik antara 88 derajat hingga 104 derajat. Hasil pengamatan juga didapatkan persentase nilai kenaikan daya panel surya dengan sistem *solar tracker* kronologis 97% sedangkan *solar cell* pasif 95%.

Kata Kunci: Panel surya, *Solar tracker* kronologis, sensor INA219

Abstract

Indonesia is a country that is located on the equator and has a tropical climate, so it has the potential to have abundant renewable energy sources, especially solar energy. The utilization of solar energy is carried out by converting sunlight into electrical energy with the help of solar cells. The installation of solar energy which is often encountered is static, as a result, the absorption of sunlight is less than optimal. It was necessary to optimize the solar panel work system with dynamic properties. This research designed a solar panel with four LDR sensors on four sides and two servo motors mounted horizontally and vertically. The LDR sensor functions to detect sunlight and then forward it to the microcontroller. The microcontroller gives commands to the servo motor so that it can place a certain azimuth and elevation angle. The data collection process was carried out from 9 am to 3 pm western Indonesian time every 1 hour from 22 to 24 March 2021. This discussion is about chronological solar trackers and passive solar cells. The two solar panels show the results that solar panels with a chronological solar tracker system are more efficient than using only solar panels with a passive solar cell system. This is evidenced by the data from the results of the chronological solar tracker is 0,44 W, and the average power value of the passive solar cell is 0,34 Watt at the best azimuth angle position between 88 degrees to 104 degrees. The observations also showed that the percentage value of the increase in solar panel power with a chronological solar tracker system was 97%, while the passive solar cell was 95%.

Keywords: Solar panel, Chronological solar tracker, INA219 Sensor

PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi dan pertumbuhan penduduk di negara-negara industri menyebabkan konsumsi energi meningkat pesat dalam beberapa tahun, Menurut *Energy Information Administration* (EIA) sumber energi tidak terbarukan masih mendominasi pada pemakaian energi hingga tahun 2025. Regulasi semakin banyak bermunculan baik tingkat nasional maupun internasional berusaha untuk mengurangi konsumsi energi yang berlebihan dalam penggunaan bahan bakar fosil dan pemanfaatan pemanasan

global. Salah satu yang paling berpengaruh terhadap dampak permasalahan ini yaitu bidang industri dalam menggunakan produksi pemanas dan listrik. Energi surya merupakan bentuk energi tak terbarukan, energi yang paling umum digunakan saat ini karena kelimpahan sumber energinya (Fauzi, Arfianto, and Taryana 2018)

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, sehingga berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif yakni energi surya. Indonesia merupakan negara kepulauan namun pasokan energi listrik masih belum tersalurkan secara merata. Berdasarkan data dari kementerian

ESDM mengatakan sejumlah 12.669 desa di negara ini belum memperoleh akses listrik, bahkan 2.519 diantaranya masih dalam kondisi gelap sekali. Pesatnya perkembangan teknologi dan informasi memunculkan berbagai macam inovasi. Inovasi teknologi dibuat supaya mempermudah segala aktivitas dalam kehidupan sehari-hari, maka konsumsi energi juga lebih banyak untuk memenuhi kebutuhan. Sumber energi alternatif sangat dibutuhkan untuk menggantikan sumber energi berbahan bakar fosil sebagai sumber kebutuhan listrik, diantaranya adalah energi surya yang dimanfaatkan sebagai sistem pembangkit listrik tenaga surya (Dikti, K, 2017)

Secara Geografis Indonesia merupakan negara yang melimpah akan kebutuhan energi surya karena berada di jalur khatulistiwa. Maka peluang energi surya yang didapatkan cukup meyakinkan. Besarnya energi yang diterima dalam rentang energi 4,8 – 6,0 kWh/m² (Septiadi et al. 2009). Kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik semakin melunjak seiring berkembangnya zaman, ini dikarenakan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta kepadatan jumlah penduduk sangat signifikan (Asri & Serwin, 2019).

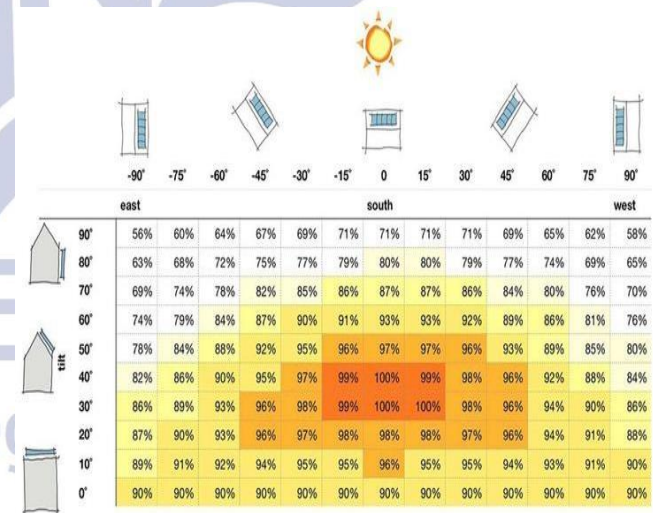
Kementrian ESDM berusaha mengejar target Energi terbarukan (EBT) tahun 2025 sebesar 25%. Salah satu caranya dengan mendorong pelaku industry menggunakan panel surya. EBT dalam bauran energi pada tahun lalu hanya mencapai 8%-9%. Berdasarkan capaian tersebut, kapasitas pembangkit listrik tenaga surya terpasang hingga 2019 hanya sebesar 4, 929 kilowatt-peak (kWp) dari target 6,600 Megawatt (MW) di tahun 2025 (Andy Surya Prayogi, 2018)

Sinar Matahari dapat diubah menjadi sumber energi listrik dengan bantuan panel surya. Selama proses konversi energi, panel surya tidak memiliki polusi udara sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu alat yang cukup menjanjikan di masa depan. Menurut (Adi, Y.N 2016) selama setahun, bumi berpotensi menghasilkan pasokan energi surya yang meyakinkan. *Internasional Energy Agency* IEA (2014) memperkirakan 16% sumber energi listrik di dunia berasal dari energi surya pada tahun 2045. (“Residential Energy System Solution,” n.d.)

Persoalan yang dihadapi oleh warga dunia yaitu pemasangan panel surya dengan kondisi diam dan bersifat manual dalam pemantauannya sehingga penyerapan energi matahari tidak dapat berfungsi secara maksimal, karena matahari memiliki sifat gerak semu harian (bergerak dari arah timur ke barat) serta gerak semu tahunan (bergerak dari utara ke selatan) (Myori, Mukhaiyar, and Fitri 2019). Penyerapan radiasi matahari dapat berfungsi secara maksimal jika sudut elevasi yang digunakan mengikuti arah pergerakan matahari atau posisi panel surya tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Karenanya, untuk mendapatkan sudut elevasi yang selalu tegak lurus terhadap radiasi matahari diperlukan rancangan secara otomatis agar panel surya dapat tegak lurus terhadap radiasi matahari. (Asrori and Yudianto, 2019)

Cara mengubah tenaga surya menjadi sumber energi listrik dengan perantara panel surya memiliki beberapa keuntungan yaitu sumber energi tak terbatas didapatkan secara bebas dan ekonomis. Selain itu *solar* panel juga dapat mengubah secara langsung radiasi matahari menjadi sumber listrik yang diaplikasikan secara *on grid* atau *off grid*. Namun pemanfaatan alternatif energi tenaga surya juga memiliki kelemahan yakni keterbatasan waktu dalam penyerapan cahaya matahari saat terbit dan terbenam serta tidak menentukannya intensitas cahaya ataupun radiasi matahari. Oleh karenanya, solusi keterbatasan tersebut diperlukan inovasi untuk dapat melacak sistem penjejak arah pergerakan cahaya matahari (*Solar Tracker*). (Khotama, Santoso, and Stefanie 2020)

Berbagai macam artikel membicarakan masalah metode dalam merancang sistem *solar tracker*, diantaranya adalah menggunakan sensor *photodiode* sebagai penjejak cahaya matahari sehingga solar panel dapat bergerak mengikuti cahaya arah datangnya cahaya matahari. Menurut (Barsoum, 2011) terdapat tiga metode untuk mengetahui efisiensi daya yakni metode aktif, pasif, dan kronologis. Metode aktif yaitu dengan mengikuti arah pergerakan matahari yang memanfaatkan sensor *photodiode* sebagai pendeteksi cahaya. Metode pasif memanfaatkan penyerapan energi oleh panel surya. Kemudian, metode kronologis yaitu memanfaatkan 2 dimensi sudut yakni sudut azimuth dan sudut elevasi



Gambar 1. Persentase sudut azimuth dan elevasi panel surya (sumber: <https://www.firstinarchitecture.co.uk>)

Berdasarkan gambar di atas memberikan informasi bahwa penentuan posisi sudut azimuth dan elevasi dari suatu lokasi menjadi salah satu faktor penting dalam proses sistem tracking *solar cell* dari arah timur ke barat. Diketahui bahwa pada posisi 30 derajat dan 40 derajat ketika posisi matahari berada tepat di atas objek maka persentase penyerapan energi matahari menjadi sangat efisien dan optimal. hal ini dikarenakan posisi sudut azimuth dan elevasi dari *solar* panel tepat terhadap sinar matahari yang datang sehingga radiasi

yang dipancarkan oleh matahari dapat diserap dengan optimal. (Singh et al. 2016)

Bhote, V, Singh, J., (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan sensor photodiode berhasil mendapatkan nilai efisiensi sistem yang praktis dengan memanfaatkan tenaga surya yang diserap oleh *solar cell*. Penelitian lain juga dilakukan oleh Noer Soedjarwanto, dkk (2017) berhasil melaksanakan pengujian panel surya dengan metode aktif dan metode pasif. Penelitiannya menghasilkan presentase maksimal tenaga aktif sebesar 9% dan presentase tegangan pasif sebesar 7,88%. Pengembangan solar tracking juga dilakukan oleh Prastica (2016) dengan menambahkan *reflector* dan pengontrolan sudut, hasil penelitiannya menunjukkan mendapatkan sudut paling efisien dalam penyerapan radiasi matahari yang datang. Selanjutnya Putri, P.W (2018) melakukan Analisa kinerja solar tracker berbasis Arduino Uno. Hasilnya daya yang diperoleh *solar cell* dinamis lebih besar dibandingkan dengan *solar cell* statis. Keempat penelitian di atas menunjukkan hasil yang relevan baik untuk dikembangkan sehingga penyerapan energi surya menjadi semakin efisien serta daya yang di hasilkan menjadi optimal.

Berdasarkan beberapa penelitian dan penguraian persoalan di atas, Artikel ini mempunyai maksud untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan dari tenaga surya. Sistem ini menggunakan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mendeteksi cahaya matahari, serta motor servo sebagai penggerak solar panel. Sensor LDR dan motor servo dipilih dalam penelitian ini karena sifat dari sensor LDR yang peka terhadap cahaya menjadi indikator penentu gerakannya servo agar bisa mengarahkan panel ke posisi arah datangnya cahaya matahari. Servo dipilih karena Tidak beresonansi saat dioperasikan serta akurasi putaran dapat diganti sesuai dengan encoder yang dipakai.

METODE

Rencana penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimental. Uji eksperimental tersebut terbagi menjadi dua tahapan. Pengujian sistem dan kerja sistem *solar tracker* bertujuan mengetahui nilai efisiensi *maximum power point solar tracker dual axis* antara *solar tracker* kronologis dan *solar cell* statis.

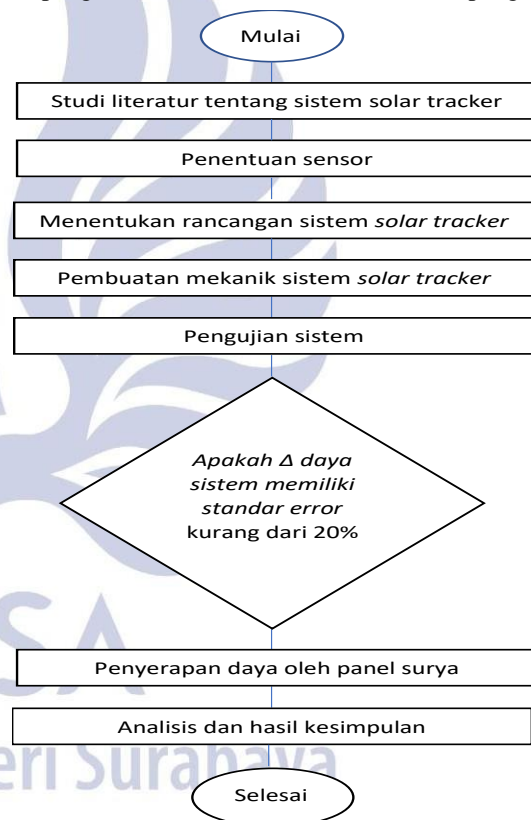
Serangkaian kerja uji sistem ini secara menyeluruh meliputi pengujian panel surya *monocrystalline* (dimensi 11x8,5 cm, tegangan 6 volt, dan arus 160 mA) yang berfungsi sebagai penyerap energi radiasi matahari, mikrokontroler Arduino Uno 328p sebagai pemegang kendali pemberi perintah kerja, dan cara pengambilan data secara *real time*.

Dilakukan uji coba sensor LDR secara terbatas menggunakan lampu sebagai sumber cahaya untuk mengetahui respon LDR yang terpasang pada sumbu vertikal dan sumbu horizontal. Hal ini perlu dilakukan sebagai penentuan nilai maksimum dari nilai intensitas cahaya sensor LDR dalam satuan lux meter. Selanjutnya dilakukan

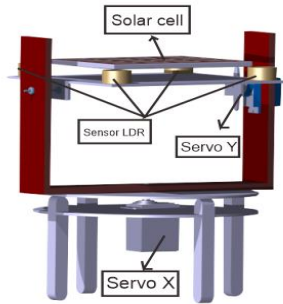
pengujian tahap kedua, yaitu pengujian secara langsung dilapangan dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber cahaya pada alat *solar tracker* secara kronologis dan *solar cell* pasif. Jika pengujian sistem mendapatkan hasil selisih daya yang memiliki standart error kurang dari 20% maka dibandingkan dengan teori yang ada untuk mendapatkan data yang akurat. Adapun tahapan rancangan penelitian secara keseluruhan terlihat pada gambar 2.

Gambar 2 Diagram alir rancangan penelitian ini

Diagram di atas menjelaskan bahwa Penelitian perancangan *maximum power point solar tracker dual axis* berbasis mikrokontroler ini terbagi menjadi enam tahap. Enam tahap tersebut adalah Studi literatur tentang *solar tracker dual axis*, tahap penentuan sensor, tahap perancangan perangkat lunak dan desain mekanik *solar tracker*, pengujian sistem, pengambilan data dan analisis. Proses pengambilan



data akan dilakukan pengujian ulang jika hasil yang didapatkan tidak sesuai perintah kerja sampai alat *solar tracker* dapat berfungsi secara maksimal sesuai perintah kerja.



Gambar 3 Rancangan alat *solar tracker* (Dok. Pribadi)

Komponen yang telah dilabeli masing-masing memiliki fungsi tertentu. Gambar di atas terdiri dari *solar cell* untuk menyerap energi yang dipancarkan oleh sinar matahari kemudian diubah menjadi energi listrik. Sensor LDR berjumlah empat yang terletak di pojok kiri kanan sebagai pendeteksi cahaya matahari. Kemudian, servo Y (Vertikal) dan Servo X (Horizontal) sebagai penggerak mekanik agar posisi panel senantiasa tepat menghadap arah datangnya sinar matahari. desain mekanik alat *solar tracker* telah dirancang sedemikian rupa supaya bisa menyerap cahaya matahari dengan optimal posisi panel surya dapat tegak lurus terhadap arah cahaya matahari.

Pada prinsip kerjanya, *solar cell* pasif dipasang dalam kondisi tetap sebagai pembanding dari *solar tracker* kronologis. Sedangkan *solar tracker* kronologis dikontrol penuh melalui sistem mikrokontroler yang di *setting* untuk memposisikan agar *solar tracker* selalu menghadap arah datangnya sinar matahari. Karena pembagian waktu di bumi berdasarkan pada garis bujur dan saat berotasi bumi menempuh sudut 360 derajat untuk sekali putarannya. Maka besarnya periode bumi adalah 24 jam. Oleh karena itu, per 60 menit besarnya putaran yang dapat di tempuh bumi adalah 15 derajat. Teori ini yang dipakai acuan untuk menentukan sudut dari alat *solar tracker* kronologis. Sudut yang ditempuh dalam pengukuran langsung dibandingkan dengan teori. Oleh karena itu, gerak motor servo akan di *input* pada mikrokontroler berdasarkan suatu lokasinya. Pergerakan motor servo akan menentukan posisi elevasi dan azimuth sehingga energi yang diterima atau dipancarkan bisa maksimal. Hasil proyeksi bidang vertikal dengan arah utara dikenal dengan sudut elevasi. sudut ini dirumuskan seperti pada persamaan 1.

$$\text{Sudut Elevation} = \sin^{-1}[(\sin\delta \sin\phi) + (\cos\delta \cos\theta)] \quad (1)$$

Dimana δ adalah sudut deklinasi, θ adalah sudut jam, dan ϕ adalah garis lintang suatu lokasi.

Sudut azimuth merupakan sumbu putar yang diproyeksikan terhadap arah horizontal dengan menjadikan arah utara sebagai titik awal nol sumbu putar (0). Hal ini dirumuskan seperti pada persamaan 2.

$$\text{Sudut Azimuth} = \tan^{-1} \left[\frac{\sin\theta}{(\cos\theta \sin\phi) - (\tan\delta \cos\theta)} \right] \quad (2)$$

Tahap selanjutnya, sensor INA membaca nilai keluaran dari panel surya berupa arus dan tegangan. Nilai ini akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah agar mendapatkan nilai daya. Nilai daya yang dihasilkan dari panel yang bersifat kronologis dan statis ini akan dibandingkan dengan rumus selisih daya (ΔP) seperti pada persamaan 3.

$$\Delta P = P \text{ Panel Surya Kronologis} - P \text{ Panel Surya Pasif} \quad (3)$$

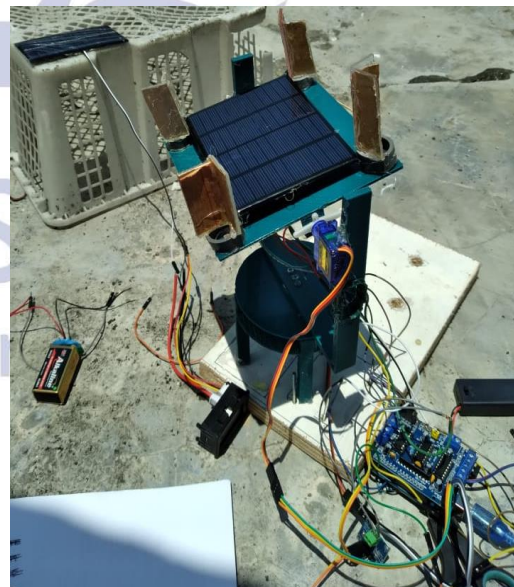
Berdasarkan selisih daya di atas, selanjutnya data yang dihasilkan dari selisih nilai daya dari solar cell dibandingkan selama tiga hari berturut-turut sehingga mendapatkan persentase nilai daya dari *solar tracker* kronologis yang lebih efisien daripada *solar cell* pasif serta mengetahui sudut terbaik dalam proses penyerapan energi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil penelitian dikelompokkan menjadi dua, yaitu Hasil Rancangan alat *Solar Tracker* dan hasil tracking secara langsung selama tiga hari berturut-turut.

Hasil Rancangan Alat Solar Tracker

Hasil akhir rancangan ini berupa alat yang siap digunakan sebagaimana tujuan penelitian ini untuk mengkaji perancangan *maximum power point solar tracker dual axis* berbasis mikrokontroler.



Gambar 4 Hasil rancangan mekanik solar tracker (Dok. Pribadi).

Rancangan mekanik gambar 4 saat proses pengambilan data *solar tracker* kronologis dan *solar tracker* pasif dengan mikrokontroler sebagai pengendali. Mikrokontroler arduino Uno mendapatkan *Supply* baterai 6 Volt dan *drivershield* sebagai komponen pendukung dari motor servo yang memiliki tegangan kerja 6 Volt. Keempat

sensor LDR berfungsi sebagai sistem penjejak intensitas cahaya matahari. Servo sebagai penggerak dari *sun tracker* yang mendapat nilai keluaran dari LDR. Sensor arus yang digunakan yakni Sensor INA219 yang memiliki tingkat presisi lebih akurat untuk membaca nilai keluaran arus dan tegangan.

Solar tracker kronologis bergantung pada sensitifitas LDR dan *solar tracker* pasif bergantung pada intensitas cahaya matahari untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal. Mekanisme yang digunakan untuk mengidentifikasi jalur matahari menggunakan *algoritma* yang diinput pada mikrokontroler, kemudian menggerakkan motor servo untuk mengarahkan panel surya ke arah matahari pada rentang interval waktu tertentu dengan menggunakan sudut azimuth dan sudut elevasi.

B. Hasil Pengujian Solar Tracker Kronologis dan Solar Cell Pasif

Hasil Pembacaan sistem *solar tracker* yaitu nilai keluaran data arus dan tegangan. Data yang dihasilkan dari pengujian panel surya kemudian diolah agar diketahui nilai daya tersebut yaitu sistem kronologis dan sistem pasif. Daya dituliskan dengan menggunakan persamaan berikut:

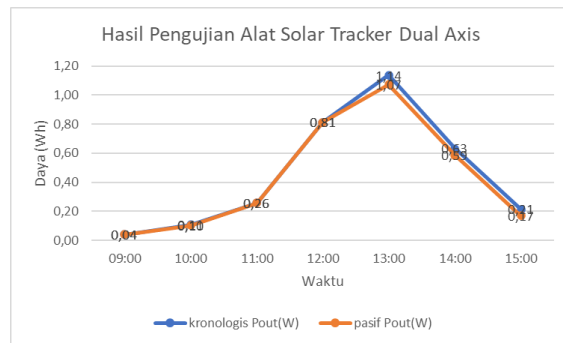
$$P = I_{mp} \times V_{mp}$$

Pengujian sistem *solar tracker* dilakukan selama 3 hari berturut-turut, hal ini ditujukan untuk mendapat nilai perbandingan yang seimbang. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 22 sampai 24 Maret 2021 dengan durasi 6 jam setiap harinya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dihasilkan data seperti pada tabel berikut:

Tabel 1 hasil pengujian tanggal 22 Maret 2021

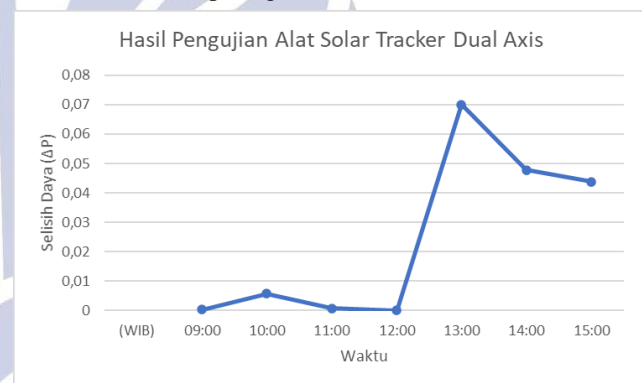
Pukul	Kronologis			Pasif			ΔP_{out} (W)
	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (Wh)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (Wh)	
09:00	2,01	0,02	0,04	2,00	0,02	0,04	0,00
10:00	2,70	0,04	0,11	2,56	0,04	0,10	0,01
11:00	3,69	0,07	0,26	3,68	0,07	0,26	0,00
12:00	5,08	0,16	0,81	5,08	0,16	0,81	0,00
13:00	5,41	0,21	1,14	5,37	0,20	1,07	0,07
14:00	4,52	0,14	0,63	4,50	0,13	0,59	0,05
15:00	3,58	0,06	0,21	3,42	0,05	0,17	0,04

diketahui bahwa daya maksimal dan selisih daya maksimal yang dihasilkan oleh *solar cell* kronologis dan *solar cell* pasif terjadi pada pukul 13:00 WIB. Daya yang dihasilkan dari *solar cell* kronologis sebesar 1,14 Wh dan *solar cell* pasif sebesar 1,07 Wh. Kemudian selisih daya keluaran dari *solar cell* kronologis dan *solar cell pasif* sebesar 0,07 W. berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui dua grafik. Pertama, grafik hubungan antara waktu dengan daya keluaran dari *solar cell* kronologis dan *solar cell* pasif. Grafik kedua adalah selisih daya keluaran dari *solar cell* kronologis dan *solar cell* pasif.



Gambar 5. Grafik hubungan antara Waktu dengan Daya keluaran *solar cell* kronologis dan *solar cell* pasif.

Berdasarkan gambar 5 diketahui bahwa pada pukul 09:00-12:00 WIB kedua *solar cell* mengalami kenaikan daya yang sama signifikan dan pada pukul 13:00 WIB penyerapan energi matahari terjadi perbedaan yang menunjukkan bahwa daya keluaran *solar cell* kronologis lebih besar daripada *solar cell* pasif. Sedangkan pada saat pukul 14:00-15:00 WIB hasil daya keluaran dari kedua *solar cell* mulai menurun dan dominan lebih besar pada *solar cell* kronologis. Oleh karena itu, selisih daya dari kedua *solar cell* seperti gambar berikut:



Gambar 6. Hubungan antara waktu terhadap selisih daya dari *solar cell* kronologis dan *solar cell* pasif.

Gambar 6 di atas menginformasikan bahwa nilai rata-rata dari selisih daya keluaran hasil pengujian alat *solar tracker* memiliki nilai $\pm 0,02W$ dengan rentang waktu 6 jam disebabkan faktor cuaca yang cerah pada waktu tertentu dan faktor $\cos \theta$. $\cos \theta$ adalah proyeksi bidang horizontal terhadap sinar matahari yang diukur dari arah utara dengan dua sudut yakni sudut deklinasi dan jam matahari yang menspesifikan letak daerah tertentu pada garis lintangnya pada bumi. Namun, selisih daya tertinggi terlihat saat jam 1 siang yakni sebesar 0,07 Watt.

Tabel 2. Hasil pengujian derajat pergerakan solar tracker

Pukul (WIB)	Posisi Panel		Error (%)	Waktu (s)
	Teori	Pengukuran langsung		
09:00	45°	43°	4	29
10:00	60°	58°	1,6	33
11:00	75°	74°	1,3	46

12:00	90°	88°	1,2	53
13:00	105°	104°	1,7	49
14:00	120°	119°	1,4	34
15:00	135°	133°	1,3	46

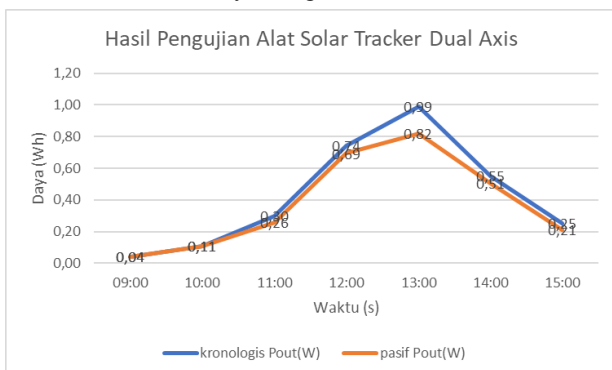
Pada tabel 2 menjelaskan bahwa pergerakan posisi panel dengan kesalahan terbesar terjadi pada sudut 45°, yaitu sebesar 4% dan kesalahan terkecil terjadi pada sudut 90° sebesar 1,2%. Selisih derajat dari teori dengan pengukuran langsung dengan solar tracker terhadap sinar matahari yang arahnya mengenal panel surya paling besar sebesar 2° dan paling kecil sebesar 1°. Sedangkan waktu yang dibutuhkan agar posisi panel sesuai dengan yang diinginkan, paling lama adalah 53 detik pada pukul 12:00 WIB dan paling cepat 29 detik. Dengan demikian tabel 2 menunjukkan bahwa sistem kerja solar tracker dual axis telah memenuhi keinginan, yaitu mampu memposisikan panel surya untuk menjejak sinar matahari.

Selanjutnya, dilakukan penelitian solar tracker dual axis hari kedua yang menghasilkan data seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian tanggal 23 Maret 2021

Pukul	Kronologis			Pasif			ΔP_{out} (W)
	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (Wh)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (Wh)	
09:00	1,98	0,02	0,04	1,98	0,02	0,04	0,00
10:00	2,73	0,04	0,11	2,70	0,04	0,11	0,00
11:00	3,71	0,08	0,30	3,65	0,07	0,26	0,04
12:00	4,96	0,15	0,74	4,98	0,14	0,69	0,05
13:00	5,21	0,19	0,99	5,13	0,16	0,82	0,17
14:00	4,23	0,13	0,55	4,22	0,12	0,51	0,04
15:00	3,62	0,07	0,25	3,50	0,06	0,21	0,04

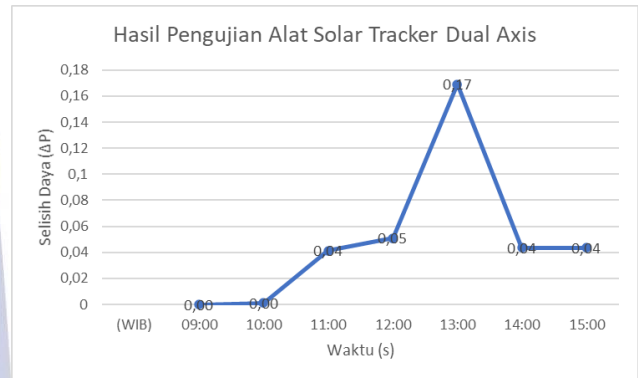
Pada tabel 3 menjelaskan bahwa nilai daya maksimal dari kedua panel surya dan selisih daya terbesar dihasilkan pada pukul 13:00 WIB yaitu sebesar 0,90 Wh untuk solar tracker kronologis dan 0,82 Wh untuk solar tracker pasif. Sedangkan selisih dayanya sebesar 0,17 W. Data pada tabel 3 dapat dijadikan grafik hubungan antara daya solar tracker kronologis dan solar cell pasif dengan waktu serta selisih daya dengan waktu.



Gambar 7. Hubungan antara Waktu dengan Daya keluaran

solar cell kronologis dan solar cell pasif.

Berdasarkan gambar 7 diketahui bahwa kenaikan daya keluaran hasil tracking secara signifikan mulai terjadi saat jam 11 sampai jam 1 siang dan menurun saat matahari mendekati senja yaitu pada jam 2 siang sampai jam 3 sore. Nilai daya keluaran sistem kronologis dominan lebih unggul jika dibandingkan dengan solar cell pasif sehingga dari data ini dapat diketahui nilai selisih daya dari hasil pengujian solar tracker kronologis dengan solar cell pasif seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik antara waktu dengan selisih daya dari solar cell kronologis dan solar cell pasif.

Gambar 8 di atas menjelaskan bahwa nilai rata-rata dari selisih daya keluaran hasil pengujian alat solar tracker memiliki nilai ±0,04W dengan rentang waktu yang sama dengan pengambilan data hari pertama dan kondisi cuaca hampir sama juga serta faktor $\cos \theta$ yang menentukan posisi panel agar panel tegak lurus terhadap arah datangnya matahari. Perbedaan daya terbesar diketahui saat jam menunjukkan pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 0,17 Watt.

Tabel 4. Hasil pengujian derajat pergerakan solar tracker

Pukul (WIB)	Posisi Panel		Error (%)	Waktu (s)
	Teori	Pengukuran langsung		
09:00	45°	44°	2	33
10:00	60°	59°	1,1	36
11:00	75°	73°	1,3	48
12:00	90°	88°	1,5	58
13:00	105°	104°	1,7	47
14:00	120°	119°	1,3	39
15:00	135°	134°	1,2	36

Berdasarkan tabel 4 diketahui bahwa pergerakan posisi panel dengan kesalahan terbesar terjadi pada sudut 45°, yaitu sebesar 2% dan kesalahan terkecil terjadi pada sudut 60° sebesar 1,1%. Selisih derajat dari teori dengan pengukuran langsung dengan solar tracker terhadap sinar matahari yang arahnya mengenal panel surya paling besar sebesar 2° dan paling kecil sebesar 1,1°. Sedangkan waktu yang dibutuhkan agar posisi panel sesuai dengan yang

diinginkan, paling lama adalah 58 detik pada pukul 12:00 WIB dan paling cepat 33 detik pada pukul 09:00 WIB. Dengan demikian tabel 4 menunjukkan bahwa sistem kerja *solar tracker dual axis* juga telah memenuhi keinginan.

Berdasarkan penjelasan data tabel dan gambar diketahui bahwa nilai daya optimum akan diperoleh jika posisi panel memenuhi keadaan yang bisa menjadikan penyerapan maksimal yaitu tepat menghadap sinar matahari. faktor lain yang menjadi optimalnya sistem kerja *solar tracker dual axis* ini adalah Intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya. Ini sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya output daya yang dihasilkan dari hasil *tracking* dengan metode *kronologis* dan metode pasif. Rata-rata kenaikan output daya keluaran mulai mengalami kenaikan saat siang hari antara jam 11 sampai jam 1 siang dikarenakan saat proses pengambilan data cuaca dalam kondisi cerah, sehingga output daya yang dihasilkan dari *solar tracker* kronologis lebih besar daripada *solar cell* pasif. Disisi lain, di negara Indonesia beriklim tropis dan dilewati oleh garis khatulistiwa, sehingga potensi energi matahari dapat dimaksimalkan dengan baik dengan panel surya yang dirancang *dual axis* sebagai sistem penjejak matahari.

Selanjutnya, untuk mengetahui kerja *solar tracker dual axis* sesuai dengan pergerakan matahari, maka dilakukan pengujian derajat pergerakan *solar tracker*. Pengujian kerja *solar tracker* ini mengambil acuan sudut 15° dikarenakan sudut ini merupakan proyeksi dari gerak semu harian matahari setiap jamnya. Hasil pengujian derajat pergerakan *solar tracker* menunjukkan bahwa posisi modul dapat bergerak sesuai dengan keinginan dengan nilai *error* paling besar 4% pada pengambilan data hari pertama dan nilai *error paling kecil* 1,1% pada pengambilan data hari kedua. Jika diteruskan maka posisi dari panel akan kembali ke posisi awal pada pukul 17.00 WIB.

Penelitian ini bertujuan mengetahui perbedaan nilai efektifitas penyerapan energi matahari dengan menggunakan sistem *solar tracker* kronologis dan *solar cell* pasif. Maka, Tabel 5 menjelaskan bahwa kesesuaian hasil dan Analisa terhadap teori, kemudian dibandingkan dengan perbandingan hasil penelitian yang relevan. Sehingga diketahui nilai daya panel surya *kronologis* efektif dari daya *solar cell* pasif. Hal ini disebabkan kondisi cuaca selama 3 hari berturut-turut dalam kondisi cerah yang dominan.

Tabel 5. Persentase kenaikan daya sistem *solar tracker* kronologis dan *solar cell* pasif.

Hari Pelacakan	% Kenaikan daya panel surya setiap harinya	
	Kronologis	Pasif
Hari ke-1	98%	97%
Hari ke-2	97%	94%
Hari ke-3	96%	95%

PENUTUP

Simpulan

Penelitian perancangan *maximum power point solar tracker dual axis* berbasis mikrokontroler ini dapat disimpulkan bahwa panel surya dengan sistem kronologis lebih efisien dibandingkan panel dengan sistem pasif. Keefisienan ini dinilai efektif dan solutif karena nilai keluaran daya *solar tracker* sistem kronologis lebih besar daripada menggunakan panel surya dengan sistem pasif. Hal ini dikarenakan prinsip dari metode *solar tracker* kronologis menggunakan pelacakan pergerakan sinar matahari dengan bantuan sensor LDR. Sebaliknya metode *solar cell* pasif bergantung pada radiasi foton matahari yang diterima oleh panel surya. Terbukti dari data hasil pengujian alat *solar tracker dual axis* selama tiga hari berturut-turut dengan kondisi cuaca yang cerah, bahwa daya yang dihasilkan dari sistem kronologis lebih besar daripada hanya menggunakan sistem pasif.

Pada rentang waktu jam 12 hingga jam 1 siang terjadi selisih daya terbesar yang dihasilkan tanggal 22-24 Maret 2021. Hasil penelitian menunjukkan perolehan rata-rata dari panel dengan sistem kronologis yaitu 0,44 Watt, dan rata-rata nilai daya dari *solar cell* dengan sistem pasif yaitu 0,34 Watt pada posisi sudut azimuth terbaik antara 88 derajat hingga 104 derajat. Sedangkan, persentase nilai rata-rata daya optimal yang dihasilkan dari *solar tracker* kronologis 97% dan panel surya pasif 95%.

Saran

Pengembangan lanjutan dari penelitian ini masih diperlukan untuk mengetahui efektivitas kinerja panel surya dan meningkatkan *output* daya. Pengujian alat ini masih dalam sensitivitas yang relevan, namun akan lebih baik jika ditambahkan dengan sensor kompas dan sensor gyroscope agar pergerakan matahari dapat lacak secara akurat dan posisi panel selalu tegak lurus terhadap arah datangnya radiasi matahari dan intensitas harian radiasi matahari diterima yang sampai di permukaan bumi diterima secara optimal oleh panel surya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada pihak yang telah membantu terselesainya penelitian ini juga kepada segenap jajaran civitas akademika unesa yang turut memberikan support dan keluarga yang menjadi penguat hingga akhir. Tim penulis juga menyampaikan terimakasih kepada Reviewer karena mau menerima artikel ini untuk terbit pada jurnalnya.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, Y.N, Halaman. 2016. "Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Pt Pertamina (Persero) Unit."

- Andy Surya Prayogi, Istiyo Winarno. 2018. "Maximum Power Point Tracker (Mppt) Untuk Pengoptimalan Daya Pada Panel Surya Statis Menggunakan Metode Perturb and Observe," 1–10.
- Anonim. 2015. Light Emitting Diodes Circuit Working Principle and Application. (Online), (<http://elprocus.com>), diakses tanggal 20 Januari 2021).
- Asrori, Asrori, and Eko Yudiyanto. 2019. "Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel Terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono Dan Polikristal." *FLYWHEEL : Jurnal Teknik Mesin Untirta* 1 (1): 68. <https://doi.org/10.36055/fwl.v1i1.7134>.
- Barsoum, Nader. 2011. "Fabrication of Dual-Axis Solar Tracking Controller Project." *Intelligent Control and Automation* 02 (02): 57–68. <https://doi.org/10.4236/ica.2011.22007>.
- Bhote, V., Singh, J., 2014. Implementation of dual axis solar tracker model by using microcontroller. *Journal of Engineering Research and General Science*, Vol.2, No.4.
- Dikti, Kemenristek. 2017. "Ministry Of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia 2017 HANDBOOK OF ENERGY & ECONOMIC STATISTICS OF INDONESIA." *Handbook Of Energy and Economic Statistics Of Indonesia*, 1–72.
- Fauzi, Kodrat Wirawan, Teguh Arfianto, and Nandang Taryana. 2018. "Perancangan Dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno." *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi Dan Kontrol* 4 (1): 63–74. <https://doi.org/10.15575/telka.v4n1.63-74>.
- Hamanda, L., Suchayo, I. 2017. Pengoptimalan Penyerapan Energi Matahari dengan Sistem Penjejak Matahari Dua Derajat Kebebasan. Program Studi Fisika. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya. Vol.6, No.3, pp:46-52.
- Hasan, I., Dzulkifli. 2019. Desain Sistem Solar Tracker Dua Derajat Kebebasan Berbasis Mikrokontroler. Program Studi Fisika. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya. Vol. 8, No. 3, pp:19-23
- International Energy Agency, 2013. *South Asia Energy Outlook. World Energy Outlook*. 131. <https://doi.org/10.1787/weo-2014-en>.
- Khotama, Rean, Dian Budhi Santoso, and Arnisa Stefanie. 2020. "Perancangan Sistem Optimasi Smart Solar Electrical Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Metode Tracking Dual Axis Technology." *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)* 7 (2): 78–84. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v7i2.1887>.
- Myori, Dwiprima Elvanny, Riki Mukhaiyar, and Erna Fitri. 2019. "Sistem Tracking Cahaya Matahari Pada Photovoltaic." *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi* 19 (1): 9–16. <https://doi.org/10.24036/invotek.v19i1.548>.
- Prastica, R, HA., Asy'ari, H. (2016) Analisis Pengaruh Penambahan Reflector Terhadap Tegangan Keluaran Modul Solar Cell. Skripsi Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Putri, P., W. (2018). Analisa Kinerja Solar Tracker dengan Menggunakan Solar Cell Berbasis Arduino Uno. *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*. Vol.2, No.2.
- "Residential Energy System Solution." n.d.
- Septiadi, Deni, Pieldrie Nanlohy, M. Souissa, and Francis Y. Rumlawang. 2009. "Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya)." *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 10 (1): 22–28. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.30>.
- Singh, Purnima, Roop Pahuja, Meghavi Karwasra, Sunita Beniwal, Meenakshi Bansal, and Anamika Dadhich. 2016. "Dual Axis Solar Tracking System for Solar Panel." *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 5 (4): 403–11. <https://doi.org/10.11591/eei.v5i4.565>.
- Soejarwanto, Noer, Zebua, Osea. 2017. Sistem Pelacak Energi Surya Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535. *Jurnal Eltek*. Vol.13, No.1, pp:11-20