

Kontrol Himpunan Panel Surya dengan Penyesuaian Diri Otomatis Menggunakan Aktuator dengan Dua Derajat Kebebasan

Trulien Jeremia Elmer Hulu, Astria Nur Irfansyah, Muhammad Attamimi
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: irfansyah@ee.its.ac.id

Abstrak—Untuk mendapatkan energi listrik dari sinar matahari, kita menggunakan panel surya sebagai alat untuk mengubah energi dari sinar matahari menjadi arus listrik yang dapat mencatu alat-alat elektronika yang kita gunakan sehari-hari. Agar kita dapat membuat suatu sistem yang efisien, kita dapat menggunakan berbagai metode untuk dapat meningkatkan energi yang dapat diserap oleh seluruh sistem. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah menggunakan pelacak arah sinar matahari agar sistem dapat mengarahkan panel surya ke arah sinar matahari supaya panel surya dapat terus terpapar dalam kurun waktu yang lebih lama. Ada beberapa metode umum untuk melacak sinar matahari, dua diantaranya adalah dengan mengalkulasikan arah matahari berdasarkan posisi geografis dan waktu setempat dan melacak sinar matahari berdasarkan arah pancaran sinar matahari. Untuk menggerakkan sinar matahari sendiri, kita memerlukan aktuator. Tergantung sistemnya, jumlah aktuator yang digunakan akan menentukan energi yang dikeluarkan oleh sistem yang juga menentukan seberapa efisien kinerja dari sistem tersebut. Asumsi awal yang kita bisa dapat adalah semakin banyak aktuator yang digunakan maka semakin banyak energi yang dikeluarkan. Akan tetapi, penelitian ini akan menunjukkan bahwa asumsi tersebut hanya berlaku dalam situasi dimana beban kerja dari keseluruhan sistem memang dapat ditanggung oleh jumlah aktuator yang sedikit, bukan dalam keadaan dimana beban kerja dari aktuator ditumpangkan pada satu atau dua aktuator dalam sistem. Faktor ini lebih dipengaruhi oleh rancangan alat dan jenis aktuator yang digunakan ketimbang jumlah aktuator itu sendiri.

Kata Kunci—Energi, Pelacak, Surya.

I. PENDAHULUAN

MATAHARI merupakan sumber energi yang bersih tersedia untuk waktu yang panjang, dan terbaharukan. Oleh karena itu, sumber ini menjadi salah satu dari sumber energi alam yang sistemnya sedang dikembangkan untuk menjadi alternatif pembangkit tenaga listrik mengurangi penggunaan batu bara dan minyak. Untuk mengambil energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari, kita menggunakan serangkaian panel surya yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi ini kemudian dapat diakumulasi untuk memberi tenaga ke alat-alat elektronik hingga ke perumahan sekitar.

Seperti yang kita ketahui, matahari terbit dari timur ke barat. Apabila kita hanya memampangkan panel surya ke satu arah saja, energi yang diserap oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya tidak akan maksimal. Salah satu metode untuk mencegah hal ini terjadi adalah dengan menggunakan serangkaian aktuator seperti motor servo untuk mengarahkan panel surya ke arah cahaya matahari. Hal ini meningkatkan tingkat energi yang diserap oleh panel surya.

Beberapa dari aktuator yang digunakan memungkinkan panel surya untuk bergerak dengan 2 derajat kebebasan. Tetapi, kebanyakan dari sistem pembangkit listrik tenaga surya yang memakai metode ini memakai 1 set aktuator untuk mengendalikan 1 panel surya. Apabila kita ingin menambahkan jumlah dari panel surya dengan sistem yang sama, kita harus menambah jumlah aktuator yang digunakan pada sistem, menambah beban tenaga yang digunakan oleh sistem, sehingga mengurangi tingkat efisiensi dari keseluruhan sistem. Apabila ada cara untuk mengurangi jumlah aktuator yang digunakan untuk mengendalikan sekumpulan panel surya, kita dapat menambah jumlah panel surya untuk menambah energi yang diserap sekaligus mengurangi daya yang digunakan oleh sistem untuk melakukan tugas tersebut.

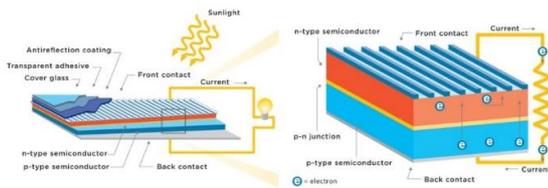
II. URAIAN PENELITIAN

Kita dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan sinar matahari. Caranya adalah menggunakan panel surya. Panel ini adalah sebuah panel yang terbuat dari bahan dasar silikon yang disusun sedemikian rupa untuk membentuk struktur dioda P-N. Ketika foton pada sinar matahari terpapar pada dioda, sepasang elektron dan *hole* akan tercipta pada material semikonduktor, menghasilkan ketidakseimbangan antara jumlah elektron dan *hole*. Hal ini mengakibatkan untuk elektron bergerak dari arah P ke arah N dan pergerakan *hole* dari sisi N ke sisi P dari diode, mengakibatkan adanya aliran listrik yang terjadi pada semikonduktor [1]. Cara kerja panel surya dapat dilihat pada Gambar 1 [2].

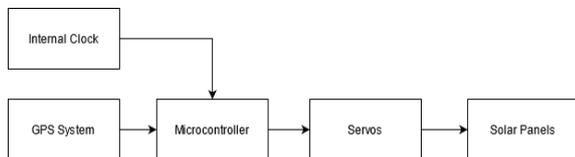
Untuk meningkatkan efisiensi penghasilan energi dari serangkaian panel surya, kita dapat membuat sistem-sistem yang dapat membantu proses pengumpulan energi dari sinar matahari. Salah satu dari sistem yang dapat kita buat adalah sistem *solar tracker*, dimana sistem tersebut dapat mendeteksi arah matahari, kemudian menggerakkan panel surya menurut arah dari sinar matahari tersebut.

Ada 2 bentuk umum dari cara mendeteksi sinar matahari ini. Yang pertama adalah sistem yang menggunakan jam internal dan mengambil koordinat lokasi dari sistem untuk menentukan arah matahari, kemudian menggerakkan panel surya berdasarkan hasil kalkulasi [3]. Sistem ini dijabarkan oleh Gambar 2. Sistem kedua adalah sistem yang mendeteksi arah cahaya matahari menggunakan sensor cahaya dan mengarahkan panel surya ke arah yang menerima intensitas cahaya tertinggi [4]. Sistem ini dapat dilihat di Gambar 3.

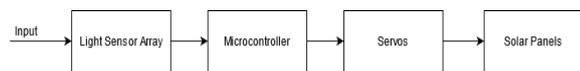
Sistem ini juga dapat dibagi berdasarkan derajat kebebasan yang dimiliki oleh panel surya apabila



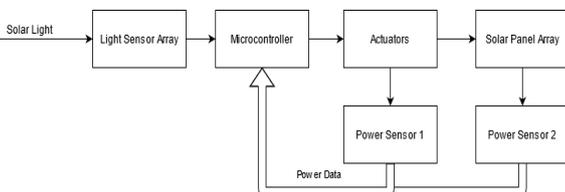
Gambar 1. Cara kerja panel surya.



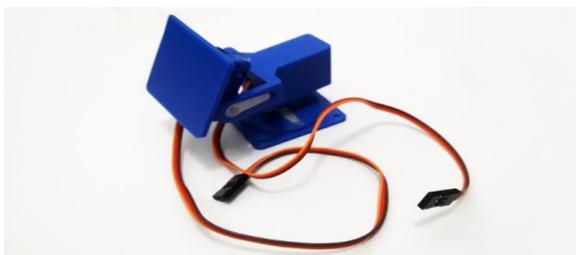
Gambar 2. Diagram blok sistem pelacak sinar matahari berdasarkan posisi sistem dan waktu.



Gambar 3. Diagram blok sistem pelacak sinar matahari berdasarkan arah sinar matahari.



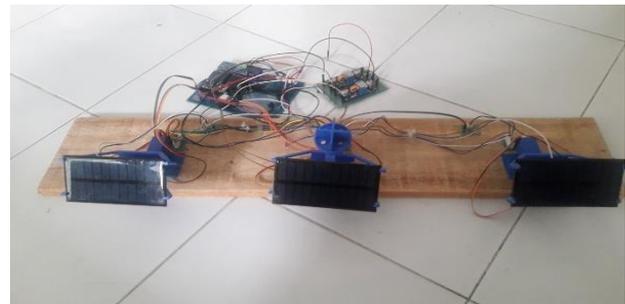
Gambar 4. Diagram blok sistem kontrol dengan sensor daya.



Gambar 5. Mekanisme pan-tilt untuk sistem 1.

digerakkan. Sistem yang paling umum digunakan adalah sistem yang memiliki satu derajat kebebasan, yakni sistem yang arahnya dapat disesuaikan dan digerakkan menurut 1 sumbu pergerakan saja. Sistem ini dibagi menjadi dua, yakni sistem yang bergerak menurut sumbu yang sejajar terhadap tanah (*Horizontal Single Axis Tracker*) dan sistem yang bergerak menurut sumbu yang tegak lurus terhadap tanah (*Vertical Single Axis Tracker*) [5].

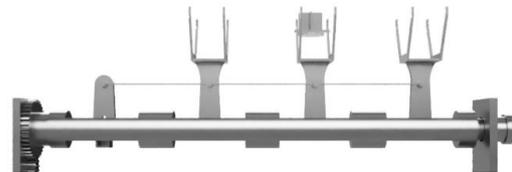
Sistem tipe kedua adalah sistem yang bergerak menurut 2 sumbu pergerakan, yakni sistem yang memiliki 2 derajat kebebasan. Sistem ini biasanya terdiri atas 2 aktuator yang bekerja terpisah untuk menyesuaikan arah panel surya dalam dua arah. Oleh karena kebutuhan aktuator dan sumber daya yang dibutuhkan untuk membuat sistem ini lumayan banyak, mulai dari komponen-komponen penyusun sistem sampai ke jumlah aktuator yang digunakan untuk membuat penggerak masing-masing panel surya, biasanya sistem ini dibuat dalam skala sedang ke kecil, dimana keseluruhan sistem terdiri atas 1 atau 2 panel surya besar yang masing-masing ditopang oleh bangunnya sendiri dan digerakkan oleh aktuatornya masing-masing.



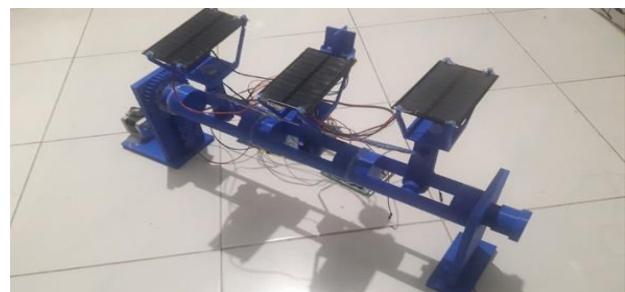
Gambar 6. Sistem 1 yang sudah dirangkai.



Gambar 7. Mekanisme gir.



Gambar 8. Mekanisme tuas.



Gambar 9. Sistem 2 yang sudah dirakit dan dimodifikasi.

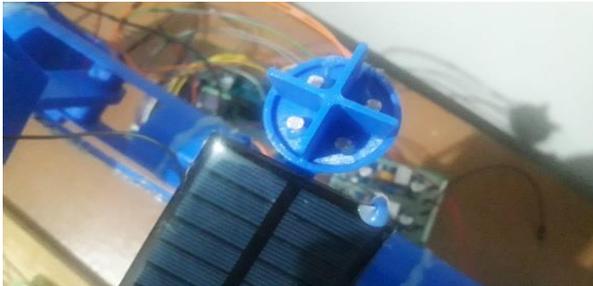
III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk penelitian ini, kita perlu mendesain 2 sistem panel surya yang mampu mendeteksi dan mengarahkan panel surya ke arah sinar matahari. Sistem ini akan mengontrol pergerakan dari sejumlah panel surya dengan dua derajat kebebasan berdasarkan penginderaan sinar matahari sehingga panel surya dapat digerakkan ke arah matahari [6]. Sistem ini juga mampu mengumpulkan data energi yang dihasilkan oleh panel surya dan energi yang digunakan oleh aktuator yang menggerakkan panel surya tersebut sehingga kita dapat mengevaluasi kinerja dari kedua sistem, terlihat pada Gambar 4.

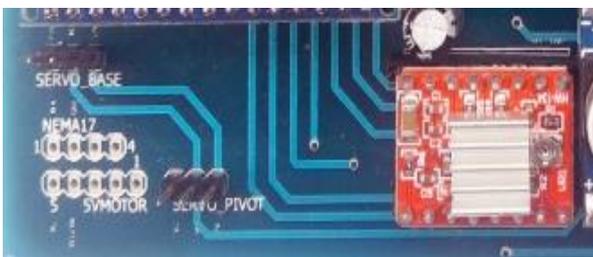
Sistem pertama adalah sistem yang menyerupai sistem pengikut sinar matahari 2 derajat kebebasan yang sering digunakan di dunia nyata. Sistem ini terdiri dari sebuah panel besar yang digerakkan oleh 2 aktuator dalam 2 arah yang sesuai dengan sumbu yang sejajar dan tegak lurus terhadap tanah [7]. Setiap panel pada sistem ini memiliki serangkaian aktuator tersendiri, sehingga untuk menambah



Gambar 10. Papan control.



Gambar 11. Konfigurasi LDR.



Gambar 12. Driver A4988 dan pin koneksi aktuator.

panel pada sistem, kita perlu menambahkan aktuator untuk menggerakkan panel yang ditambahkan. Untuk meniru sistem tersebut, kita menggunakan mekanisme pan tilt sederhana yang dapat menopang 1 panel yang dapat terlihat pada Gambar 5. Mekanisme ini menggunakan 2 servo dimana 1 servo memutar panel pada sumbu yang tegak lurus terhadap tanah dan 1 servo memiringkan panel pada sumbu yang sejajar terhadap tanah. Sistem ini memiliki 3 panel, oleh karena itu, ia memiliki total 6 servo pada keseluruhan sistem. Sistem yang sudah dirangkai dapat dilihat pada Gambar 6.

Sistem kedua adalah sistem yang dirancang sedemikian rupa untuk dapat menggerakkan 3 panel sekaligus hanya dengan menggunakan 2 aktuator saja, tetapi mampu menggerakkan ketiga panel ini dengan 2 derajat kebebasan. Rancangan pertama yang dibuat adalah rancangan yang memiliki 2 mekanisme utama, yakni mekanisme gir dan mekanisme tuas.

Mengacu pada Gambar 7, Mekanisme gir adalah mekanisme yang bertanggung jawab untuk memiringkan ketiga panel kedepan dan ke belakang. Hal ini dilakukan dengan membuat serangkaian gir yang diputar menggunakan motor stepper dengan rasio gir 10:36. Rasio ini dipakai agar kemiringan panel surya dapat diatur secara akurat.

Mekanisme kedua yang digunakan pada sistem ini adalah mekanisme tuas, seperti yang dapat terlihat pada Gambar 8. Mekanisme ini merupakan batang panjang yang memiliki 4 lengan tegak lurus yang ditarik secara bersamaan oleh servo yang diletakkan pada ujung batang tersebut. Keempat lengan ini dapat berputar sehingga memungkinkan panel



Gambar 13. Sistem statis.

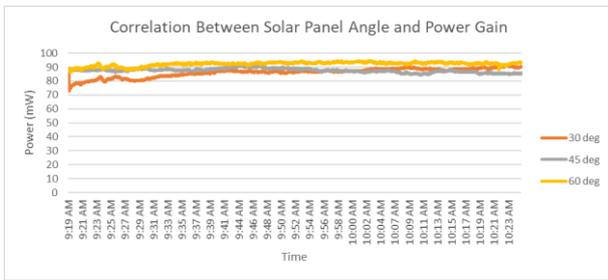


Gambar 14. Kedua sistem di tes di bawah sinar matahari.

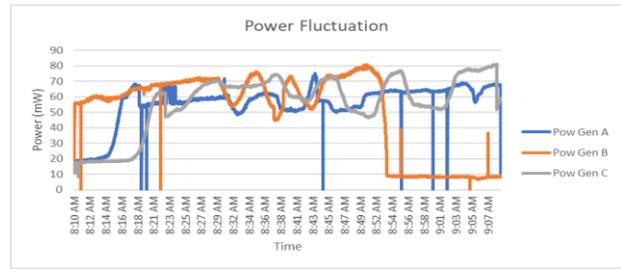
surya untuk dimiringkan ke kiri dan ke kanan. Batang panjang ini dipasang ke mekanisme gir pada gir yang terbesar, kemudian di topang dengan suatu penopang di ujung lainnya yang memungkinkan ketiga panel berputar secara bersamaan. Setelah percobaan dan penyetelan di lapangan, di dapatlah model yang dimodifikasi dimana jumlah lengan dikurangi seperti pada Gambar 9, posisi servo diletakkan di tengah 2 lengan, dan satu panel surya diletakkan di atas servo, meringkankan beban yang perlu ditarik oleh servo dan beban dari seluruh mekanisme.

Kedua sistem ini dikontrol melalui suatu papan kontrol seperti pada Gambar 10. Papan kontrol ini di rancang untuk melayani dua fungsi utama menggunakan sebuah mikrokontroler sebagai pengendali utama. Fungsi pertama adalah untuk membaca daya yang dikeluarkan oleh masing-masing sistem dan daya yang dihasilkan oleh ketiga panel surya pada setiap sistem. Hal ini dilakukan menggunakan 2 sensor INA219 yang mampu mengukur dan mengirimkan data tegangan dan arus yang digunakan oleh sebuah sistem menggunakan metode komunikasi I2C. Alamat I2C dari kedua sensor ini dapat diganti sehingga kita dapat menggunakan 2 sensor ini sekaligus. Data ini kemudian dapat dikirim ke mikrokontroler, diolah, dan kemudian di tulis pada suatu SD Card menggunakan komponen pembaca SD card pada papan kontrol.

Fungsi kedua dari papan kontrol ini adalah membaca dan menentukan arah sinar matahari dan menyesuaikan posisi panel surya berdasarkan arah sinar tersebut. Untuk dapat menentukan arah dari sinar matahari, kedua sistem menggunakan 4 LDR dimana masing-masing LDR dipasang pada masing-masing kuadran dari suatu lingkaran, seperti pada Gambar 11. Keempat kuadran tersebut mencakup 4 arah cahaya yakni kanan atas, kiri atas, kanan bawah, dan kiri bawah. Masing-masing LDR kemudian dipasang ke rangkaian pembagi tegangan yang dihubungkan ke mikrokontroler pengendali dimana semakin besar intensitas cahaya yang di terima oleh LDR, semakin besar nilai yang dibaca pada arah tersebut. Nilai-nilai tersebut kemudian dapat saling dibandingkan untuk menentukan arah pergerakan dari panel surya. Perbandingan dilakukan dengan menjumlahkan nilai yang dihasilkan oleh LDR di



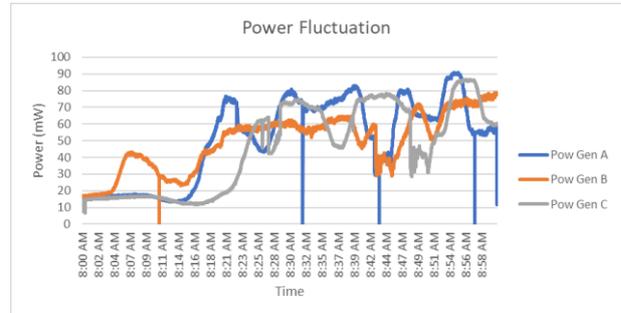
Grafik 1. Grafik fluktuasi daya terhadap perubahan sudut panel surya.



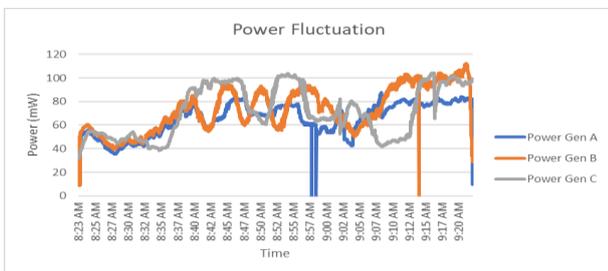
Grafik 5. Fluktuasi daya pada tanggal 8 Agustus 2021.



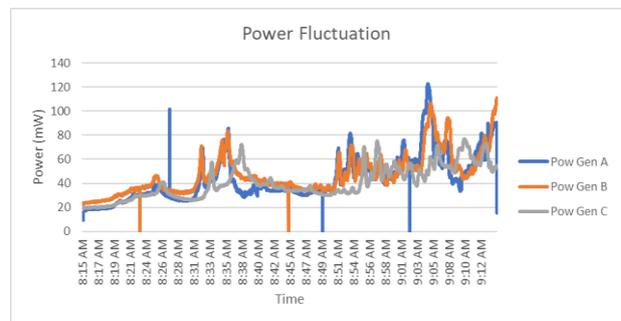
Grafik 2. Hasil pengukuran penghasilan daya statik.



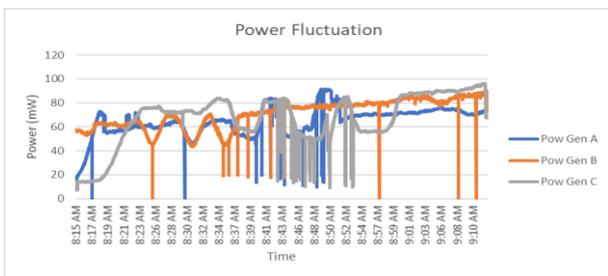
Grafik 6. Fluktuasi daya pada tanggal 9 Agustus 2021.



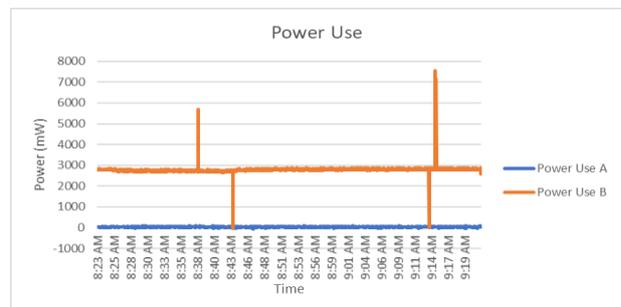
Grafik 3. Fluktuasi daya pada tanggal 6 Agustus 2021.



Grafik 7. Fluktuasi daya pada tanggal 10 Agustus 2021.



Grafik 4. Fluktuasi daya pada tanggal 7 Agustus 2021.



Grafik 8. Fluktuasi penggunaan daya pada tanggal 6 Agustus 2021.

sisi kanan, kiri, atas, dan bawah, menghasilkan 4 nilai yang dapat diselisihkan untuk mendapat perbedaan antara kanan kiri dan atas bawah. Perbedaan ini menentukan apabila panel harus digerakkan ke arah mana. Apabila perbedaan ini bernilai di atas 0, panel digerakkan ke satu arah (kiri, kanan, atas, atau bawah), dan bila perbedaan bernilai dibawah 0, panel digerakkan ke arah sebaliknya.

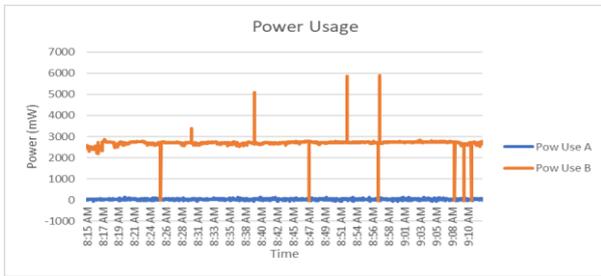
Ada dua jenis aktuator yang digunakan untuk penelitian ini, servo hobi sg90 dan motor stepper NEMA17. Untuk mengendalikan servo, jalur sinyal kontrol servo tinggal dipasang ke mikrokontroler. Sudut dari servo di atur menurut sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Untuk mengendalikan motor stepper, papan kontrol menggunakan driver motor a4988 seperti pada Gambar 12 untuk menerjemahkan sinyal PWM menjadi jumlah *step* yang perlu ditempuh motor.

Kedua sistem yang telah dirangkai akan dibandingkan dengan sistem yang statik, yakni 3 panel surya yang dipasang secara statis seperti pada Gambar 14. Sistem ini terdiri dari fungsi minimal yakni fungsi pengukur energi dan

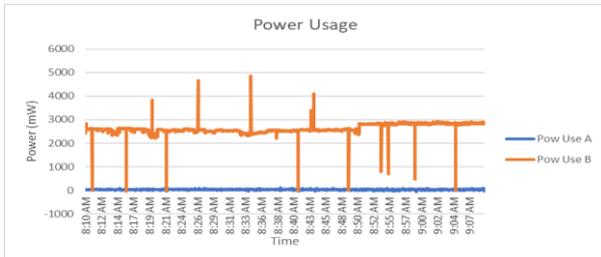
pencatat daya. Sudut dari ketiga panel surya dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan untuk mendapatkan energi yang sebesar-besarnya.

Untuk menentukan posisi sudut yang optimal untuk percobaan, serangkaian pengukuran di lapangan dilakukan dengan panel surya yang dipasang dengan sudut yang berbeda-beda. Hasilnya dapat dilihat pada Grafik 1. Pengukuran dilakukan dengan sudut panel sebesar 30, 45, dan 60 derajat. Masing-masing dari konfigurasi tersebut menghasilkan energi sebesar 85.49 mWh, 86.97 mWh, dan 91.62 mWh. Dari data pada Grafik 2, terlihat bahwa perubahan sudut dari panel surya tidak memiliki perbedaan yang jauh berbeda dalam kondisi yang berada di lapangan. Oleh karena itu, diputuskan sistem statik diletakkan pada posisi 45 derajat.

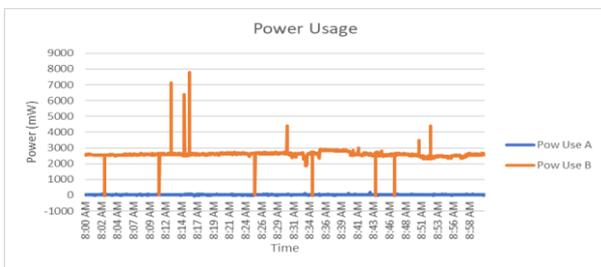
Data yang kita ingin dapatkan dari ketiga sistem adalah data daya yang dihasilkan oleh panel surya pada masing-



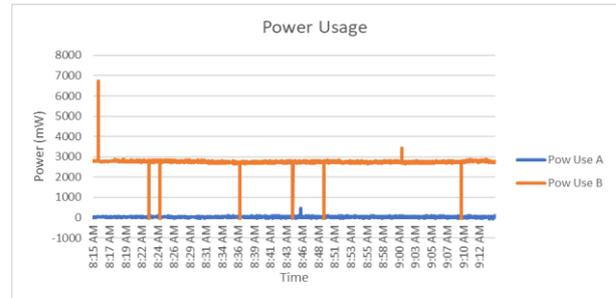
Grafik 9. Fluktuasi penggunaan daya pada tanggal 7 Agustus 2021.



Grafik 10. Fluktuasi penggunaan daya pada tanggal 8 Agustus 2021.



Grafik 11. Fluktuasi penggunaan daya pada tanggal 9 Agustus 2021.



Grafik 12. Fluktuasi penggunaan daya pada tanggal 10 Agustus 2021.

Tabel 1.
Tabel energi yang dihasilkan dan dikeluarkan oleh ketiga sistem (sistem C dianggap tidak mengeluarkan energi)

Tanggal	Energi yang Dihasilkan (mWh)			Energi yang Dikeluarkan (mWh)	
	A	B	C	A	B
6/8/2021	57.60	65.04	63.06	28.95	2451.82
7/8/2021	55.31	60.79	57.37	27.98	2317.33
8/8/2021	49.44	44.55	49.85	30.00	2328.31
9/8/2021	46.26	45.40	41.37	30.41	2354.42
10/8/2021	39.30	42.40	36.30	29.84	2455.89
Rata-Rata	49.582	51.636	49.59	29.436	2381.554

Data yang di dapat dari Grafik 3, Grafik 4, Grafik 5, Grafik 6, Grafik 7, Grafik 8, Grafik 9, Grafik 10, Grafik 11, dan Grafik 12 menghasilkan data yang berupa satuan energi yang dihasilkan dan yang dikeluarkan oleh sistem selama masa pengukuran. Berikut adalah data yang didapatkan:

Apabila kita lihat Tabel 1, energi yang dihasilkan oleh sistem dinamis dibandingkan dengan sistem statis, secara relatif tidak jauh berbeda dari satu dengan yang lainnya, terlebih lagi sistem B yang hanya menghasilkan energi rata-rata 2% lebih banyak dari pada sistem C. Hal ini terjadi oleh beberapa faktor yakni waktu pengetesan yang pendek, sistem yang dibuat kecil, atau karena adanya malfungsi sistem. Oleh karena itu, variabel yang paling menentukan kinerja dari sistem A dan B adalah energi yang dikeluarkan masing-masing sistem.

Apabila kita melihat energi yang dikeluarkan oleh sistem, kita dapat melihat bahwa sistem B rata-rata mengeluarkan energi yang jauh lebih besar dari pada sistem A, yakni sekitar 79 kali lebih besar dari pada sistem A. Hal ini disebabkan oleh aktuator yang digunakan pada sistem B yang mengeluarkan energi lebih besar ketimbang aktuator yang digunakan oleh sistem A. Oleh karena aktuator yang digunakan oleh sistem B berjumlah 2, beban rata-rata yang ditanggung oleh masing-masing aktuator akan meningkat ketimbang beban yang ditanggung oleh masing-masing aktuator pada sistem A. Oleh karena itu, aktuator yang digunakan pun harus dapat menanggung beban ekstra. Pada saat ini, aktuator yang dapat menanggung beban tersebut adalah aktuator yang mengeluarkan energi yang lebih besar.

Dari segi penerapan di dunia nyata, seharusnya sistem pelacak sinar matahari seperti sistem A dan B dapat menghasilkan energi dengan peningkatan efisiensi sebesar 40% [8], tetapi sistem seperti ini akan memerlukan biaya yang lebih besar lagi untuk dipasang oleh karena komponen-komponen tambahan dan mekanisme tambahan yang dimiliki oleh sistem. Pada saat ini, mekanisme serupa sistem A dijual di pasaran dengan harga sekitar Rp 17.000.000,- sampai dengan Rp 72.000.000,-, tergantung berapa banyak panel surya yang ingin digerakkan pada 1 sistem. Dari harga tersebut, kita dapat mengestimasi bahwa sistem B akan

masing sistem dan daya yang digunakan oleh aktuator pada masing-masing sistem. Untuk mendapatkan data tersebut, kedua sistem diletakkan di bawah matahari selama sekitar 1-2 Jam dan dibiarkan berjalan seperti pada Gambar 13. Data yang di dapatkan adalah berupa file teks dengan sekumpulan barisan data yang di baca oleh mikrokontroler secara periodik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum pengukuran utama, kita terlebih dahulu melakukan pengukuran awal dengan sistem yang statik. Hal ini dilakukan dengan cara mengukur daya yang dihasilkan oleh sistem tanpa menyalakan fungsi dari aktuator dan panel diarahkan ke arah matahari dengan sudut sekitar 45 derajat. Pengukuran ini akan menghasilkan data tolak ukur dari kinerja dan fluktuasi penghasilan daya sistem yang memakai 3 panel surya. Pengukuran ini dilakukan pada tanggal 3 Juni 2021 dari jam 9:55 – 12:24

Dari Grafik 2, kita dapat mengasesi penghasilan daya dalam satu hari yang dihasilkan oleh 3 panel surya. Pada kondisi terik, sistem dapat menghasilkan energi sekitar 100mW. Kinerja ini akan menurun apabila kondisi berawan atau mendung, terlihat pada penurunan kurva yang terjadi pada jam 11:34 – 12:02. Total energi yang dihasilkan oleh sistem dalam kurun waktu pengetesan adalah 9617533 mW (9.617533 kW) dengan tingkat penghasilan energi sebesar 2671.537 mWh (2.671537 Wh)

Pengukuran ketiga sistem dilakukan untuk 5 hari berturut-turut selama 1 jam dari sekitar jam 8 sampai jam 9. Berikut adalah hasil pengukuran daya dari tanggal 6 – 10 Agustus 2021.

mengeluarkan biaya yang jauh lebih besar lagi untuk diproduksi dan dipasang di dunia nyata, kira-kira membutuhkan biaya sekitar Rp 50.000.000,- lagi untuk memasang segala komponen yang diperlukan beserta panel suryanya.

V. KESIMPULAN

Dari percobaan yang telah dilakukan di atas dapat disimpulkan bahwa dapat mengurangi jumlah aktuator yang digunakan oleh suatu sistem pelacak sinar matahari tanpa mengorbankan jumlah panel surya yang digunakan atau derajat kebebasan. Untuk dapat membuat suatu sistem panel surya pengikut cahaya matahari yang mampu menggerakkan sekumpulan panel surya dengan 2 derajat kebebasan, kinerja dari sistem yang dihasilkan sebagian besar tergantung pada mekanisme yang menggerakkan panel-panel tersebut. Apabila kita berusaha untuk membuat suatu sistem yang dapat menggerakkan beberapa panel surya sekaligus, mengurangi jumlah aktuator pada sistem akan menambah beban kerja pada setiap aktuator yang menggerakkan panel tersebut serta menambah kompleksitas dari mekanisme yang digunakan untuk menggerakkan panel surya tersebut. Oleh karena energi yang digunakan oleh sistem B jauh lebih besar dari pada sistem A (sekitar 79 kali lipat), untuk menerapkan mekanisme seperti sistem B di dunia nyata, perlu dilakukan penggantian jenis aktuator menjadi aktuator yang lebih

pelan untuk menghemat energi dan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. R. Padiyar and A. M. Kulkarni, "Solar power generation and energy storage", *Dyn. Control Electr. Transm. Microgrids*, pp. 391–414, 2018, doi: 10.1002/9781119173410.ch11.
- [2] A. Thomason, "How a Solar Panel Works", 2021, USA: Arizona Science Center. Srpnnet.com.
- [3] E. R. Zuhail and S. Marangozoglou, "New design for solar panel tracking system based on solar calculations", *Midwest Symp. Circuits Syst.*, Vol. 2018-Augus, pp. 1042–1045, 2019, doi: 10.1109/MWSCAS.2018.8624061.
- [4] A. Budiayanto and M. I. M. Fardani, "Prototyping of 2 Axes Solar Tracker System for Solar Panel Power Optimization", *ISESD 2018 - Int. Symp. Electron. Smart Devices Smart Devices Big Data Anal. Mach. Learn.*, 2019, doi: 10.1109/ISESD.2018.8605460.
- [5] R. Singh, S. Kumar, A. Gehlot, and R. Pachauri, "An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 82, No. October, pp. 3263–3278, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.018.
- [6] N. Kutybay *et al.*, "An Automated Intelligent Solar Tracking Control System with Adaptive Algorithm for Different Weather Conditions", *2019 IEEE Int. Conf. Autom. Control Intell. Syst. I2CACIS 2019 - Proc.*, No. June, pp. 315–319, 2019, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825098.
- [7] M. H. M. Sidek, N. Azis, W. Z. W. Hasan, M. Z. A. Ab Kadir, S. Shafie, and M. A. M. Radzi, "Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control", *Jurnal of Energy*, Vol. 124, pp. 160–170, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.02.001.
- [8] Y. L. Chua, Y. K. Yong, and Y. Y. Koh, "Performance comparison of single axis tracking and 40° solar panels for sunny weather," *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1885, No. September, 2017, doi: 10.1063/1.5002276.