

# Optimalisasi Pembangkitan Daya Panel Surya 200 WP Menggunakan *Solar Tracker System Dual Axis*

Erwan Eko Prasetyo<sup>1</sup>, Gaguk Marausna<sup>2</sup>, Dimas Wahyu Nugroho<sup>3</sup>

**Intisari**—Energi listrik merupakan komoditas utama yang digunakan oleh hampir seluruh sektor perekonomian. Oleh karena itu, kebutuhan masyarakat Indonesia akan energi listrik saat ini makin tinggi. Kebutuhan energi listrik yang makin meningkat berbanding terbalik dengan ketersediaan energi fosil dunia yang makin berkurang. Sumber energi dari matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, baik radiasi maupun termalnya, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan produksi energi listrik dari panel surya berkapasitas 200 WP dengan merancang dan mengimplementasikan *solar tracker system dual axis* pada panel surya (*photovoltaic*). Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran (*mixed methods*), yaitu merancang *solar tracker system* secara eksperimental dengan mengukur nilai tegangan dan arus pada panel surya, kemudian menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan kendali *solar tracker system*. Setelah itu, dilakukan perhitungan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan daya listrik yang digunakan (*load*) *solar tracker system* untuk mengendalikan pergerakan panel surya mengikuti pancaran sinar matahari. *Solar tracker* yang dikendalikan dengan *single axis* menghasilkan rata-rata tegangan 19,72 V, arus 1,34 A, dan daya listrik 26,82 W, sedangkan *solar tracker* yang dikendalikan dengan *dual axis* menghasilkan rata-rata tegangan 18,93 V, arus 1,9 A, dan daya listrik 35,76 W. Hasil pengujian menunjukkan bahwa total daya listrik yang dihasilkan panel surya dengan sistem kendali *solar tracker system single axis* adalah 455,93 W dan *solar tracker system dual axis* adalah 607,94 W. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa *solar tracker system dual axis* mampu mengoptimalkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya kapasitas 200 WP.

**Kata Kunci**—Energi Listrik, Panel Surya, *Solar Tracker*, *Single Axis*, *Dual Axis*.

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan komoditas utama yang digunakan oleh hampir seluruh sektor perekonomian. Akibat kebutuhan utama masyarakat Indonesia akan energi listrik pada saat ini makin tinggi, Perusahaan Listrik Negara (PLN) gencar menyosialisasikan program hemat listrik bagi seluruh lapisan masyarakat, perusahaan, dan lembaga atau instansi pemerintahan [1]. Memasuki abad ke-21 ini, kebutuhan energi listrik yang makin meningkat berbanding terbalik dengan ketersediaan energi fosil dunia yang makin berkurang. Sejalan

dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik antara tahun 2000 hingga 2030 yang mencapai 70%, terutama di negara-negara industri, perlu adanya sumber energi listrik baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan sebagai pembangkit utama energi listrik untuk mendukung dan mempertahankan kebutuhan energi listrik pada saat ini dan di masa yang akan datang [2]. Sumber energi dari matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif, baik radiasi maupun termalnya, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari, karena energi baru dan terbarukan (EBT) yang tidak akan pernah habis bersumber dari alam seperti matahari [3]. Karena berada di daerah tropis sekaligus di daerah khatulistiwa, Indonesia memiliki musim tropis yang panjang, sehingga pancaran sinar matahari di Indonesia berlangsung cukup lama sepanjang tahun. Oleh karena itu, energi matahari di Indonesia sangat tepat jika dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sehari-hari [4].

Secara geografis, seluruh wilayah di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk mengimplementasikan penggunaan panel surya (*photovoltaic*) dalam menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Pada tahun 2016, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengalokasikan dana sebesar Rp1,4 triliun untuk mengembangkan program EBT, dengan memasang panel surya di kantor-kantor, bandara, hingga Lembaga Masyarakat (LP) [5]. Akan tetapi, permasalahan yang ada saat ini adalah panel surya yang digunakan masih bersifat diam atau statis, sehingga penyerapan energi sinar matahari masih kurang optimal [6]. Oleh karena itu, perlu adanya suatu sistem yang dapat mengendalikan panel surya untuk dapat bergerak mengikuti arah pancaran sinar matahari. Panel surya dengan sistem kendali *solar tracker* dilengkapi sensor, sebagai pendeteksi cahaya untuk membaca intensitas sinar matahari tertinggi. Selain itu, panel surya juga dilengkapi suatu perangkat mikrokontroler, sehingga panel surya akan mengikuti dan menyerap sinar matahari jauh lebih optimal serta dapat menghasilkan energi listrik secara maksimal [7].

*Solar tracker system* dirancang untuk meningkatkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dengan mengikuti arah pancaran sinar matahari dari mulai terbit hingga terbenam, dengan cara memosisikan panel surya tegak lurus terhadap matahari. Dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, terdapat berbagai macam jenis *solar tracker system* yang dapat diimplementasikan, yaitu menggunakan jenis motor seperti motor servo atau aktuator linear dengan dilengkapi sebuah sensor cahaya dan dikendalikan secara otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino [8], [9]. Selain itu, Arduino juga dapat dihubungkan pada modul WiFi yang terkoneksi dengan jaringan internet untuk komunikasi data berbasis *internet of things* dalam mengirimkan data hasil

<sup>1,2,3</sup> Program Studi SI Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Jl. Parangtritis Km 4,5 Sewon, Bantul, D.I. Yogyakarta 55187 Indonesia (telp: 0274-418 248; fax: 0274-4396163; email: <sup>1</sup>erwan.eko@sttkd.ac.id, <sup>2</sup>gaguk.marausna@sttkd.ac.id, <sup>3</sup>180102041@students.sttkd.ac.id)

[Diterima: 28 Februari 2022, Revisi: 6 Juli 2022]

pengukuran nilai tegangan dan arus yang didapatkan panel surya secara *real time* [10].

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan produksi energi listrik dari panel surya berkapasitas 200 WP dengan merancang dan mengimplementasikan *solar tracker system dual axis* pada panel surya. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur nilai tegangan dan arus menggunakan multimeter untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan panel surya dengan *solar tracker system dual axis*. Kemudian sisa daya listrik yang telah digunakan oleh *solar tracker* dalam mengendalikan pergerakan panel surya dihitung untuk dimanfaatkan dalam kebutuhan energi listrik sehari-hari atau diimplementasikan pada penggunaan energi listrik lainnya. Pembahasan pada makalah ini dibatasi pada *wiring* sistem kendali *solar tracker system dual axis*. Rancang bangun *solar tracker system dual axis* dilakukan menggunakan Arduino Uno sebagai perangkat mikrokontroler, *light dependent resistor* (LDR) sebagai sensor pendeteksi cahaya, motor DC dari *power window* sebagai penggerak, dan dua buah panel surya berkapasitas 100 WP yang dihubungkan satu sama lain secara paralel. Dalam perancangan ini, LDR dipilih sebagai sensor cahaya karena mampu membaca arah pergerakan sinar matahari dari terbit hingga tenggelam. LDR memiliki karakteristik yaitu respons penerimaan cahayanya tidak terlalu cepat, sesuai dengan pergerakan arah sinar matahari.

## II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan campuran (*mixed methods*), yaitu dengan merancang *solar tracker system* secara eksperimental dengan mengukur nilai tegangan dan arus pada panel surya serta memperhitungkan daya listrik yang mampu dihasilkan oleh panel surya dalam mengonversikan energi matahari menjadi energi listrik menggunakan *solar tracker system*. Rangkaian pada *solar tracker system dual axis* ini dibuat dan disimulasikan terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas dan memastikan seluruh sistem dan komponen yang digunakan dapat berfungsi dengan baik dan bekerja secara optimal.

*Solar tracker system* dirancang dengan dilengkapi sebuah kendali manual yang dapat digunakan sebagai solusi untuk mengubah posisi panel surya apabila dalam pengoperasiannya kendali *solar tracker* otomatis mengalami kerusakan pada sensor cahaya (LDR) atau kegagalan pada sistem kendali otomatis *solar tracker*. Kendali *solar tracker* ini terbagi menjadi dua sistem pergerakan pada mode otomatis yang dapat dikendalikan atau diubah menggunakan *switch* (sakelar), yaitu pergerakan satu sumbu (*single axis*) motor DC menggerakkan panel surya secara horizontal; dan pergerakan dua sumbu (*dual axis*) menggunakan dua buah motor DC untuk menggerakkan panel surya secara horizontal dan vertikal. Selain itu, terdapat mode manual yang digunakan apabila terjadi gangguan atau kegagalan pada sistem kendali *solar tracker*. Pada mode ini, *solar tracker* dikendalikan menggunakan empat buah *push-button* yang sudah diprogram pada mikrokontroler Arduino Uno untuk mengubah arah putaran motor. Tujuannya agar pergerakan panel surya dapat dikendalikan, baik secara horizontal untuk bergerak ke arah *top* dan *bottom*, maupun



Gbr. 1 Diagram blok masukan dan keluaran pada Arduino Uno.

secara vertikal ke arah *west* dan *east* sesuai dengan tombol yang ditekan.

### A. Rancang Bangun Solar Tracker System Dual Axis

Sistem kendali pada *solar tracker* berperan dalam proses pengendalian dan berfungsi sebagai rangkaian sensor. Semua komponen yang diperlukan digabungkan menjadi satu dalam satu rangkaian pengendali. Rangkaian *solar tracker system dual axis* ini menggunakan empat buah LDR. Pada setiap LDR diberikan tahanan berupa resistor 1 k $\Omega$  sebelum dihubungkan ke *ground* (-) dan diberi tegangan 5 V (+). Pemrograman Arduino pada rancangan ini digunakan untuk melakukan konfigurasi suatu program yang nantinya akan dimasukkan ke mikrokontroler Arduino Uno. Program Arduino berfungsi untuk menginisialisasi *pin-pin* yang digunakan untuk perintah logika "HIGH" atau "LOW" yang akan mengaktifkan atau menonaktifkan keluaran *pin* yang digunakan. Secara garis besar, bagian masukan dan keluaran *solar tracker system* ditunjukkan pada Gbr. 1. Masukan *pin* yang digunakan pada Arduino Uno adalah *pin* A0 untuk membaca LDR *east*, *pin* A1 untuk membaca LDR *west*, *pin* A2 untuk membaca LDR *top*, dan *pin* A3 untuk membaca LDR *bottom*. Keluaran *pin* pada Arduino Uno disambungkan secara berurutan untuk menghubungkan rangkaian pada *push-button*, *switch*, dan *driver* motor L298 [11]. Setiap keluaran *pin* Arduino yang dihubungkan ke *push-button* dan *switch* diberi tahanan berupa resistor 10 k $\Omega$ . Keluaran *pin* pada Arduino Uno yang dihubungkan pada *push-button* dan *switch* antara lain *pin* 12 ke *push-button* 1 (*bottom*), *pin* 8 ke *push-button* 2 (*top*), *pin* 4 ke *push-button* 3 (*west*), *pin* 2 ke *push-button* 4 (*east*), *pin* 7 ke *switch* 1 (mode manual/otomatis), dan *pin* 5 ke *switch* 2 (mode *single/dual axis*). Selain dihubungkan ke *push-button* dan *switch*, keluaran *pin* pada Arduino Uno juga dihubungkan dengan masukan *pin* *driver* motor L298 sebagai pengendali motor DC 1 dan 2. Keluaran *pin* Arduino Uno yang digunakan yaitu *pin* 13 ke *IN* 1 (L298), *pin* 11 ke *IN* 2 (L298), *pin* 10 ke *IN* 3 (L298), dan *pin* 9 ke *IN* 4 (L298). Pada *driver* motor L298 terdapat dua masukan sebagai sumber tegangan (+) 12 V untuk motor DC dan 5 V untuk *driver* motor L298 serta *ground* (-). Selain itu, masukan 5 V yang dihubungkan juga ke masukan *power* ENA dan ENB pada masukan *driver* motor L298 sebagai *power* untuk sistem kendali. Keluaran pada *driver* motor L298 motor DC 1 dihubungkan dengan *Out* 1 dan *Out* 2, sedangkan motor DC 2 dihubungkan dengan *Out* 3 dan *Out* 4. Seluruh komponen yang digunakan pada rangkaian *solar tracker system* ini dimuat dalam sebuah *printed circuit board* (PCB) dan diletakkan di dalam boks panel *wiring* sistem kendali berukuran 25  $\times$  25 cm.

Perancangan *solar tracker system* ini menggunakan dua buah panel surya jenis *polycrystalline* sebagai komponen utama penghasil energi listrik, dengan kapasitas masing-masing 100 WP. Kedua panel surya dihubungkan secara paralel sehingga memiliki tegangan yang sama, sedangkan arus listrik kedua panel surya tersebut adalah jumlah arus dalam satuan ampere dari setiap panel surya yang digunakan.

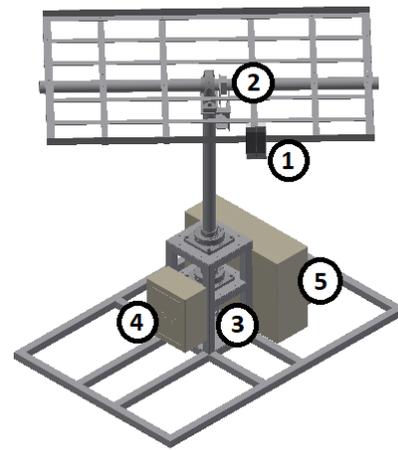
*Charge controller* PowMr berfungsi untuk mengontrol pengisian daya listrik dari panel surya ke baterai/aki agar tidak terjadi *overcharging*. Pada PowMr juga terdapat *display* (penampil) untuk memonitor daya listrik yang dihasilkan panel surya, menampilkan temperatur lingkungan, dan menampilkan program keseluruhan saat mengatur sistem pengisian daya pada PowMr. Sebelum energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya digunakan atau dimanfaatkan, baterai/aki yang digunakan pada *solar tracker system* ini dihubungkan ke *inverter* untuk mengubah listrik DC yang disimpan pada baterai/aki menjadi listrik AC. Seluruh komponen yang digunakan untuk memproses energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya diletakkan pada boks panel *wiring* sistem tenaga (*power system*) dengan ukuran 60 x 70 cm.

Pada bagian mekanis dan struktur rangka digunakan material berupa besi siku, besi pelat, besi pelat setrip, dan besi pipa. Pada *solar tracker system* terdapat dua poros kerja untuk menggerakkan panel surya mengikuti arah pancaran sinar matahari dari terbit hingga terbenam. Poros kerja sumbu vertikal menggunakan *pillow block bearings* UCF 212 dengan *gear custom* berukuran 68 mm yang dapat berputar 360°. Poros kerja sumbu horizontal menggunakan *pillow block bearings* UCP 212-36 dengan *gear custom* berukuran 200 mm yang dapat berputar 160°. Seluruh material digabungkan menjadi satu dengan mengelas seluruh bagian komponen material dan beberapa bagian disatukan menggunakan baut dan klem. Rancangan *solar tracker system dual axis* dan bagian-bagiannya dijelaskan sesuai dengan nomor yang ditunjukkan seperti pada Gbr. 2.

**B. Algoritme Pemrograman Arduino**

Bagian awal kode pemrograman (*sketch*) Arduino Uno akan menginisialisasi data integer yang digunakan sebagai perintah masukan dan keluaran pada *pin* mode Arduino Uno dengan kecepatan dan penerimaan data serial sebesar 9.600 bps. Selanjutnya, jika program dijalankan pada sistem kendali otomatis untuk mengendalikan *solar tracker system*, terdapat nilai *error* untuk menyejajarkan sudut panel surya terhadap arah pancaran sinar matahari. Jika *solar tracker* dikendalikan menggunakan mode *dual axis*, nilai absolut untuk menentukan *error* pada keempat LDR (*top*, *bottom*, *west*, dan *east*) akan dibaca oleh program Arduino untuk menentukan arah putaran motor dan menggerakkan panel surya menggunakan dua sumbu, yaitu vertikal dan horizontal. Selain itu, *solar tracker* dapat dikendalikan secara otomatis menggunakan mode *single axis* dengan membaca nilai absolut pada dua LDR (*west* dan *east*) untuk menggerakkan panel surya menggunakan satu sumbu, yaitu sumbu horizontal. Contoh sebagian kode program *solar tracker system dual axis* ditunjukkan pada Gbr. 3.

Jika nilai pada sensor LDR *west* lebih besar daripada nilai sensor LDR *east*, motor DC 1 akan berputar pada sumbu



- Ket.:
1. Dudukan LDR.
  2. Motor DC sebagai penggerak sumbu horizontal.
  3. Motor DC sebagai penggerak sumbu vertikal.
  4. Boks panel *wiring* sistem kendali *solar tracker*.
  5. Boks panel *wiring* sistem tenaga.

Gbr. 2 Rancangan mekanis *solar tracker system dual axis*.

```

onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
singledualswitch = digitalRead(switch2Pin);}
onoffswitch = digitalRead(switch1Pin);
singledualswitch = digitalRead(switch2Pin);
while (onoffswitch == HIGH & singledualswitch == HIGH )
{
  topldr = analogRead(A2);
  botldr = analogRead(A3);
  eastldr = analogRead(A0);
  westldr = analogRead(A1);

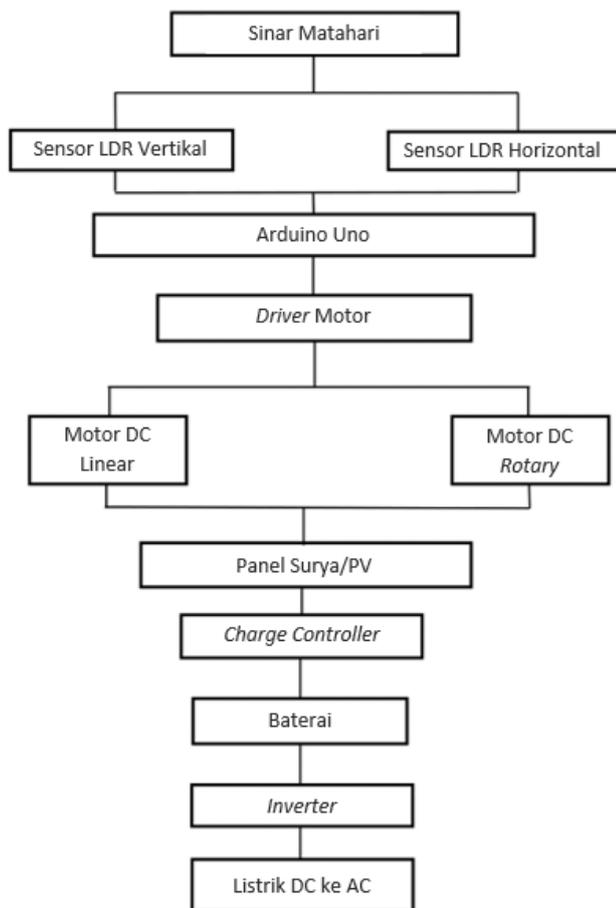
  tborder = (((topldr+westldr)/2) - ((botldr+eastldr)/2));
  tbposerror = abs(tborder);
  error = (((eastldr+topldr)/2) - ((westldr+botldr)/2));
  poserror = abs(error);
  if (poserror > 10){

```

Gbr. 3 Kode program (*sketch*) *solar tracker system dual axis*.

vertikal untuk menggerakkan panel surya ke arah barat (*west*). Sebaliknya, jika nilai pada sensor LDR *west* tidak jauh lebih besar daripada nilai sensor LDR *east*, motor DC 1 akan berputar pada sumbu vertikal untuk menggerakkan panel surya ke arah timur (*east*). Selain dibaca oleh mode *dual axis*, perintah ini juga dapat dibaca oleh mode *single axis* pada sistem kendali otomatis *solar tracker*. Selanjutnya, jika nilai pada sensor LDR *top* lebih besar daripada nilai sensor LDR *bottom*, motor DC 2 akan berputar pada sumbu horizontal untuk menggerakkan panel surya ke arah atas (*top*). Sebaliknya, jika nilai pada sensor LDR *top* tidak jauh lebih besar daripada nilai sensor LDR *bottom*, motor DC 2 akan berputar pada sumbu horizontal untuk menggerakkan panel surya ke arah bawah (*bottom*). Apabila nilai absolut keempat LDR tersebut memiliki nilai yang sama, motor DC 1 dan motor DC 2 akan berhenti berputar, sehingga panel surya berada pada posisi diam.

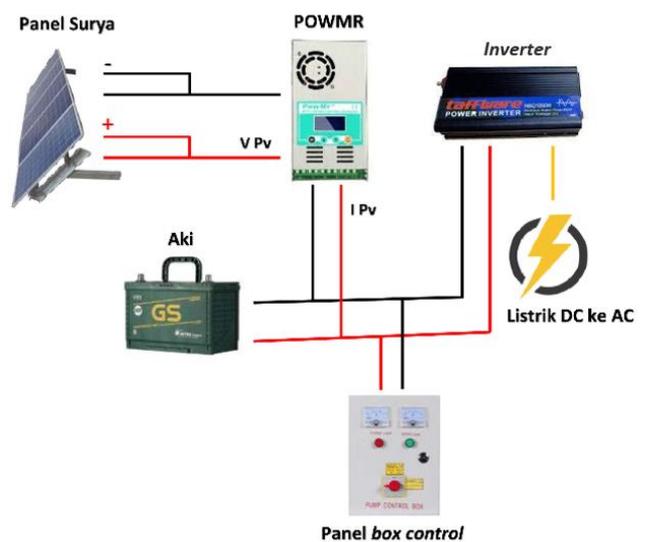
*Solar tracker* juga dapat dikendalikan menggunakan sistem kendali manual. Kendali manual dijalankan oleh program dengan membaca kondisi pada keempat *push-button* yang digunakan untuk mengendalikan arah putaran motor DC 1 dan motor DC 2 untuk menggerakkan panel surya. Jika *push-button*

Gbr. 4 Diagram blok *solar tracker system dual axis*.

1 dalam kondisi aktif (*on*), motor DC 2 akan berputar pada sumbu horizontal untuk menggerakkan panel surya ke arah bawah. Sebaliknya apabila *push-button* 1 dalam kondisi tidak aktif (*off*) dan *push-button* 2 dalam kondisi aktif, motor DC 2 akan berputar pada sumbu horizontal untuk menggerakkan panel surya ke arah atas. Selanjutnya, jika *push-button* 3 dalam kondisi aktif, motor DC 1 akan berputar pada sumbu vertikal untuk menggerakkan panel surya ke arah barat. Sama seperti kondisi pada *push-button* 1 dan *push-button* 2, apabila *push-button* 3 dalam kondisi tidak aktif dan *push-button* 4 dalam kondisi aktif, motor DC 2 akan berputar pada sumbu horizontal untuk menggerakkan panel surya ke arah timur. Pada sistem kendali manual, apabila terdapat lebih dari satu *push-button* dalam kondisi aktif secara bersamaan untuk mengendalikan satu motor DC yang sama, motor DC tidak dapat berputar menggerakkan panel surya ke arah tertentu.

### C. Diagram Blok Solar Tracker System Dual Axis

Konfigurasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang diterapkan dalam *solar tracker system dual axis* ini adalah sistem terpusat (*off grid*). Sistem ini memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik menggunakan panel surya tanpa terhubung dengan jaringan listrik konvensional dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sistem ini juga dikatakan sebagai satu-satunya sumber utama pembangkit energi listrik menggunakan panel surya tanpa ada masukan listrik tambahan



Gbr. 5 Sistem wiring PLTS.

dari sumber lainnya [12]. Rancangan diagram blok *solar tracker system dual axis* dan bagian-bagiannya ditunjukkan pada Gbr. 4.

Prinsip kerja *solar tracker system dual axis* dijelaskan sebagai berikut. LDR mendeteksi intensitas sinar matahari tertinggi untuk mengarahkan pergerakan panel surya mengikuti arah LDR tersebut diposisikan [13]. Arduino Uno membaca data dari LDR untuk mengoperasikan *driver* motor L298 dan menentukan arah putaran motor. Motor DC yang dihubungkan pada *driver* motor L298 akan berputar pada sumbu vertikal atau horizontal sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima oleh LDR [14]. Energi dari pancaran sinar matahari yang diterima oleh panel surya akan dikonversi menjadi energi listrik [15]. Tegangan dan arus dari panel surya dikendalikan oleh PowMr sebelum diteruskan dan disimpan pada baterai/aki. Energi listrik yang disimpan pada baterai/aki diubah dari listrik DC menjadi listrik AC menggunakan inverter sebelum digunakan atau dimanfaatkan pada perangkat listrik AC [16].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian didapatkan dari pengujian *solar tracker system* pada hari yang cerah, ketika matahari bersinar cukup optimal sepanjang hari. Saat pengujian, dilakukan pengambilan data dan perhitungan daya listrik yang dihasilkan panel surya menggunakan sistem kendali *solar tracker system single axis* dan *dual axis*. Pengujian dilaksanakan selama 8 jam dari pagi hari pukul 08.00 WIB sampai sore hari pukul 16.00 WIB dengan tujuh belas kali pengambilan data. Pengujian dilaksanakan di lantai 3 gedung Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta (STTKD).

Rangkaian *wiring* sistem tenaga dalam perancangan *solar tracker system* ditunjukkan pada Gbr. 5.  $V_{Pv}$  merupakan nilai tegangan keluaran panel surya yang diukur oleh PowMr dan  $I_{Pv}$  adalah nilai arus keluaran panel surya yang diukur oleh PowMr. Nilai tegangan dan arus dari panel surya diamati dengan melihat nilai yang ditampilkan pada *display* PowMr. Tegangan dan arus keluaran ini diukur secara otomatis oleh PowMr sebelum diteruskan ke baterai/aki.

TABEL I  
HASIL PENGUJIAN SOLAR TRACKER SYSTEM SINGLE AXIS

No.	Waktu Pukul	Tegangan Pv (V)	Arus Pv (A)	Daya Pv (W)
1	08.00	20,30	1,10	22,33
2	08.30	19,00	1,20	22,80
3	09.00	20,20	3,30	66,66
4	09.30	20,10	0,90	18,09
5	10.00	19,40	1,70	32,98
6	10.30	20,00	0,60	12,00
7	11.00	20,00	0,60	12,00
8	11.30	20,50	0,60	12,30
9	12.00	20,20	2,00	40,40
10	12.30	19,00	2,10	39,90
11	13.00	20,60	2,10	43,26
12	13.30	20,10	2,10	42,21
13	14.00	20,50	2,60	53,30
14	14.30	20,00	0,50	10,00
15	15.00	18,90	0,50	9,45
16	15.30	18,60	0,50	9,30
17	16.00	17,90	0,50	8,95
Rata-rata		19,72	1,34	26,82

A. Prosedur Pengujian

Kode program diunggah ke Arduino Uno yang terdapat pada boks panel wiring sistem kendali solar tracker. Selanjutnya, seluruh kabel jumper yang ada pada baterai/aki, soket, dan seluruh kabel yang ada pada terminal dipasang. Rangkaian kabel yang ada pada boks panel wiring sistem tenaga dipasang secara berurutan. Kabel jumper yang ada pada baterai/aki dipasang terlebih dahulu, setelah itu dilanjutkan dengan memasang kabel tenaga listrik panel surya yang ada pada terminal ke PowMr. Pada pengujian pertama, diatur posisi panel surya secara otomatis menggunakan sistem kendali solar tracker system single axis untuk bergerak pada sumbu horizontal mengikuti arah pancaran sinar matahari. Pada pengujian kedua, diatur posisi panel surya secara otomatis menggunakan sistem kendali solar tracker system dual axis untuk bergerak dengan dua sumbu, vertikal dan horizontal. Langkah ini dilakukan untuk mendeteksi arah datangnya pancaran sinar matahari yang terbaik dalam menghasilkan energi listrik. Langkah selanjutnya adalah mengamati seluruh pergerakan solar tracker system single axis dan dual axis dan mencatat seluruh data hasil yang tercantum pada display PowMr dan AVO meter. Setelah pengujian selesai, seluruh kabel jumper dan kabel pada boks panel dilepas kembali secara berurutan, mulai dari kabel panel surya hingga kabel PowMr. Langkah ini dilakukan untuk melindungi PowMr dari kerusakan.

B. Pengujian Solar Tracker System Single Axis

Pengujian ini menggunakan sistem kendali solar tracker system single axis. Data yang dihasilkan disajikan pada Tabel I. Pada pengujian ini, panel surya hanya bergerak pada satu sumbu, yaitu sumbu horizontal. Pergerakan panel surya mengikuti arah pancaran sinar matahari yang dibaca oleh LDR dari matahari terbit hingga terbenam. Tabel I menunjukkan

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN SOLAR TRACKER SYSTEM DUAL AXIS

No.	Waktu Pukul	Tegangan Pv (V)	Arus Pv (A)	Daya Pv (W)
1	08.00	17,30	3,8	65,74
2	08.30	20,10	3,9	78,39
3	09.00	20,00	1,9	38,00
4	09.30	19,70	0,8	15,76
5	10.00	19,50	0,7	13,65
6	10.30	19,20	0,6	11,52
7	11.00	19,60	0,8	15,68
8	11.30	19,20	1,2	23,04
9	12.00	18,50	1,3	24,05
10	12.30	19,80	4,2	83,16
11	13.00	18,20	4,8	87,36
12	13.30	18,30	2,0	36,60
13	14.00	17,80	1,6	28,48
14	14.30	14,90	1,4	20,86
15	15.00	19,70	1,2	23,64
16	15.30	20,10	1,1	22,11
17	16.00	19,90	1,0	19,90
Rata-rata		18,93	1,9	35,76

bahwa solar tracker yang dikendalikan secara single axis menghasilkan rata-rata tegangan 19,72 V, arus 1,34 A, dan daya listrik 26,82 W.

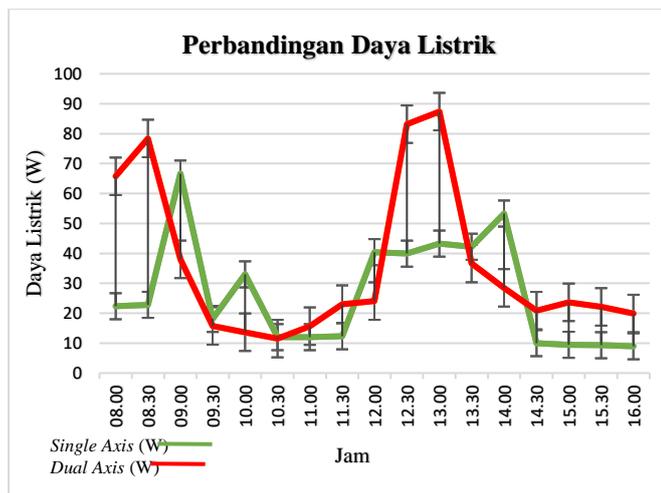
C. Pengujian Solar Tracker System Dual Axis

Pengujian ini menggunakan sistem kendali solar tracker system dual axis. Data yang dihasilkan disajikan pada Tabel II. Pada pengujian ini, prinsip kerja pada solar tracker system dual axis masih sama dengan solar tracker system single axis. Panel surya akan bergerak mengikuti arah pancaran sinar matahari yang dibaca oleh LDR. Perbedaannya adalah panel surya digerakkan pada dua sumbu, vertikal dan horizontal, mengikuti arah pancaran sinar matahari. Data pada Tabel II menunjukkan bahwa solar tracker yang dikendalikan secara dual axis menghasilkan rata-rata tegangan 18,93 V, arus 1,9 A, dan daya listrik 35,76 W.

D. Analisis Perhitungan Daya

Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan kinerja solar tracker system single axis dan solar tracker system dual axis dalam menghasilkan listrik dari panel surya. Berdasarkan data pada Tabel I dan Tabel II, dapat dilihat bahwa penggunaan solar tracker system yang dioperasikan secara dual axis dapat mengoptimalkan produksi energi listrik pada panel surya kapasitas 200 WP. Solar tracker system yang dioperasikan secara dual axis dapat menghasilkan rata-rata daya listrik sebesar 35,76 W (diamati tiap ½ jam), sedangkan solar tracker system yang dioperasikan secara single axis hanya menghasilkan rata-rata daya listrik sebesar 26,82 W (diamati tiap ½ jam). Perbandingan daya listrik yang dihasilkan kedua sistem ini disajikan pada Gbr. 6.

Berdasarkan data grafik pada Gbr. 6, hasil pengujian menunjukkan bahwa total daya listrik yang dihasilkan panel surya dengan sistem kendali solar tracker system single axis dan dual axis adalah, berturut-turut, 455,93 W dan 607,94 W.



Gbr. 6 Perbandingan daya listrik yang dihasilkan panel surya menggunakan sistem kendali *solar tracker*.

Daya listrik yang dihasilkan tersebut belum dikurangi daya yang digunakan *solar tracker system* untuk mengendalikan motor DC. Konsumsi daya yang digunakan *solar tracker system single axis* untuk mengendalikan pergerakan panel surya pada satu sumbu dapat dihitung menggunakan (1).

$$P_{load} = V \times I_{load} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P_{load} &= 13,56 \times 0,09 \\ &= 1,2 \text{ W.} \end{aligned}$$

Daya listrik yang dapat dimanfaatkan dari panel surya dengan sistem kendali *solar tracker system single axis* dapat dihitung menggunakan (2).

$$P_{out} = P_{tot} - P_{load} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= 455,93 - 1,2 \\ &= 454,73 \text{ W.} \end{aligned}$$

Selanjutnya, konsumsi daya yang digunakan *solar tracker system dual axis* untuk mengendalikan pergerakan panel surya dengan dua sumbu dapat dihitung dengan (1).

$$P_{load} = V \times I_{load}$$

$$\begin{aligned} P_{load} &= 13,30 \times 0,50 \\ &= 6,65 \text{ W.} \end{aligned}$$

Daya listrik yang dapat dimanfaatkan dari panel surya dengan sistem kendali *solar tracker system dual axis* dapat dihitung menggunakan (2).

$$P_{out} = P_{tot} - P_{load}$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= 607,94 - 6,65 \\ &= 601,29 \text{ W.} \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil pengujian pada kinerja *solar tracker system single axis* dan *solar tracker system dual axis*, terlihat bahwa *solar tracker system dual axis* mampu mengoptimalkan produksi energi listrik yang dihasilkan panel surya berkapasitas 200 WP, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang

hanya merancang dan menyimulasikan *solar tracker* menggunakan LDR dan aktuator linear untuk menggerakkan panel surya dengan satu sumbu mengikuti arah pancaran sinar matahari [14]. Pada penelitian tersebut digunakan panel surya dengan kapasitas 50 WP [14], sedangkan pada penelitian ini digunakan dua buah panel surya berkapasitas masing-masing 100 WP yang dihubungkan secara paralel. Total kapasitas panel surya pada penelitian ini mencapai 200 WP. LDR digunakan untuk mendeteksi arah pancaran sinar matahari dan motor DC digunakan sebagai penggerak poros sumbu vertikal dan horizontal.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melaksanakan perancangan dan pengujian serta mengimplementasikan *solar tracker system*, dapat diambil beberapa kesimpulan tentang penelitian ini, yaitu sebagai berikut. *Solar tracker system single axis* dapat menghasilkan rata-rata tegangan 19,72 V, arus 1,34 A, dan daya listrik 26,82 W, sedangkan *solar tracker system dual axis* mampu menghasilkan rata-rata tegangan 18,93 V, arus 1,9 A, dan daya listrik 35,76 W. Dari pengujian selama 8 jam dengan tujuh belas kali pengambilan data, diperoleh total daya listrik menggunakan sistem kendali *solar tracker system single axis* dan *dual axis* yaitu 455,93 W dan 607,94 W. Daya listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi listrik sehari-hari setelah dikurangi daya sistem kendali *solar tracker* adalah 454,73 W pada *solar tracker system single axis* dan 601,29 W pada *solar tracker system dual axis*.

Berdasarkan data hasil pengukuran dan perhitungan kinerja *solar tracker system*, dapat disimpulkan bahwa *solar tracker system dual axis* mampu mengoptimalkan produksi energi listrik yang dihasilkan panel surya kapasitas 200 WP, dibandingkan dengan *solar tracker system single axis*. Untuk pengembangan lebih lanjut mengenai hasil penelitian ini, disarankan pada LDR diberi penambahan reflektor cahaya agar sensor cahaya lebih optimal saat menyerap sinar matahari. Dapat juga digunakan jenis sensor cahaya lain, seperti fotodiode.

#### KONFLIK KEPENTINGAN

Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan makalah dengan judul "Optimalisasi Pembangkitan Daya Panel Surya 200 WP Menggunakan *Solar Tracker System Dual Axis*" ini, tim penulis tidak memiliki konflik kepentingan dengan pihak mana pun.

#### KONTRIBUSI PENULIS

Berikut merupakan pembagian kontribusi masing-masing penulis yang berperan dalam pelaksanaan penelitian ini. Konseptualisasi, Erwan Eko Prasetyo dan Gaguk Marausna; Metodologi, perancangan alat dan sistem kendali *solar tracker*, Dimas Wahyu Nugroho; penulisan, penyusunan draf asli, Erwan Eko Prasetyo dan Dimas Wahyu Nugroho; pengumpulan data, Gaguk Marausna.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta atas bantuan dan

dukungan dana dalam pelaksanaan program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) skema penelitian.

#### REFERENSI

- [1] G.B. Ardina, "Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," Seminar Hasil, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, 2019.
- [2] W. Saputra, "Rancang Bangun Solar Tracking System untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari pada Solar Cell," Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia, 2008.
- [3] S. Hutasuhut, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai Sumber Energi Lampu LED Superbright dan Pompa Air DC pada Kolam Ikan Mas," Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia, 2021.
- [4] A.S. Anwar, "Analisis Kelayakan Pembangkit Energi listrik Tenaga Surya Rooftop di Gedung Fakultas Teknik Universitas Siliwangi," Skripsi, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia, 2021.
- [5] Suwito, Suhanto, dan Kustori, "Sistem Baterai Charging pada Solar Energy System dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan di Bandar Udara," *J. Teknol. Penerbangan*, Vol. 1, No. 1, hal. 39–48, Apr. 2017.
- [6] K.W. Fauzi, T. Arfianto, dan N. Taryana, "Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *TELKA: J. Telekomun. Elektron. Komput., Kontrol*, Vol. 4, No. 1, hal. 63–74, Mei 2018.
- [7] H.E. Santoso, "Rancang Bangun Solar Tracking System Menggunakan Kontrol PID pada Sumbu Azimuth," Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2014.
- [8] J. Rezkyanzah, L.P. Purba, dan C.A. Putra, "Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell dalam Penyerapan Energi Matahari," *Scan: J. Teknol. Inf., Komun.*, Vol. 11, No. 2, hal. 55–60, Jun. 2016.
- [9] S.H. Budi, "Pengembangan Solar Tracker Single Axis Berbasis Arduino untuk Meningkatkan Perolehan Energi Matahari," *J. ESDM*, Vol. 7, No. 2, hal. 82–86, Nov. 2015.
- [10] A.S. Syahab, H.C. Romadhon, dan M.L. Hakim, "Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Bebas Internet of Things," *J. Meteorol. Klimatol., Geofis.*, Vol. 6, No. 2, hal. 21–29, Sep. 2019.
- [11] Q. Hidayati, N. Yanti, dan N. Jamal, "Sistem Pembangkit Panel Surya dengan Solar Tracker Dual Axis," *Pros. Sem. Nas. Inov. Teknol. Terapan Politeknik Negeri Balikpapan*, 2020, hal. 68–73.
- [12] A.W. Hasanah, T. Koerniawan, dan Y. Yuliansyah, "Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid di STT-PLN," *J. Energi Kelistrikan*, Vol. 10, No. 2, hal. 93–101, Sep. 2019.
- [13] M. Margana, "Solar Tracking Dual – Axis Berbasis Arduino Uno dengan Menggunakan Lensa Fresnel Guna Meningkatkan Efisiensi Pengfokusan Cahaya Matahari," *EKSERGI: J. Tek. Energi*, Vol. 15, No. 2, hal. 77–80, Mei 2019.
- [14] A.M. Putra dan Aslimeri, "Sistem Kendali Solar Tracker Satu Sumbu Berbasis Arduino dengan Sensor LDR," *JTEV (J. Tek. Elektr., Vokasional)*, Vol. 6, No. 1, hal. 322–327, Feb. 2020.
- [15] J. Asmi dan O. Candra, "Prototype Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Microcontroller Arduino Nano dengan Sensor LDR," *JTEV (J. Tek. Elektr., Vokasional)*, Vol. 6, No. 2, hal. 54–63, Mei 2020.
- [16] M.H. Prayogo, "Implementasi Sistem Kontrol dan Proteksi Pembangkit Photovoltaic Skala Kecil," Skripsi, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, 2019.