

Pelacak Cahaya Matahari Berbasis Citra pada Panel Surya menggunakan *Single Board Computer Lattepanda*

Ferdyan Dannes K, Muhammad Rivai, Tasripan

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak—Semakin berkurangnya sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, maka perlu memanfaatkan sumber energi alternatif yang salah satunya adalah energi matahari. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan menggunakan panel surya. Panel surya hanya mampu mengkonversi sekitar 15 persen dari total energi yang diterima untuk diubah menjadi energi listrik. Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan pelacakan posisi matahari. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sistem pelacakan posisi matahari yang berbasis pengolahan citra yang diimplementasikan pada panel surya 50 Watt. Proses ini meliputi konversi citra matahari kedalam bentuk grayscale dan Gaussian blur lalu dilakukan threshold, morphology, dan deteksi kontur untuk mengeliminasi noise. Deteksi lingkaran digunakan untuk mendeteksi posisi matahari pada layar. Proses centeroid dilakukan untuk mendapatkan posisi titik tengah dari matahari yang digunakan untuk mengontrol gerakan 2-axis pada motor DC. Agar gerakan motor lebih presisi maka dilakukan penambahan kontrol proporsional agar panel surya menghadap kearah matahari dengan tepat. Seluruh proses ini dilakukan dengan menggunakan Single Board Computer Lattepanda. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa panel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacak ini menghasilkan peningkatan daya listrik yang diterima sebesar 6.97 % terhadap panel surya yang diletakkan secara statis.

Kata Kunci—Posisi matahari, Panel surya, Pengolahan citra, *Single Board Computer Lattepanda*

I. PENDAHULUAN

SEMAKIN berkurangnya dan menipisnya pasokan energi yang tidak terbarukan seperti sumber energi yang berasal dari fosil, pada masa kini mendorong para ilmuwan untuk mengembangkan pemanfaatan sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara terus menerus dan tidak pernah habis. Salah satu sumber energi yang dapat dipakai terus menerus dan dapat diperbarui yaitu salah satunya energi matahari. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi yang tidak akan pernah habis dan dengan energi ini dapat memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan fosil seperti minyak, bensin, dan gas. Energi matahari dapat dengan mudah dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Dengan adanya penemuan panel surya, energi matahari menjadi sumber utama yang paling *power-full* [1], apabila dibandingkan dengan energi angin yang juga merupakan energi terbarukan [2]. Pada pemakaian solar panel yang ditempatkan secara horizontal pada tanah, cahaya yang mampu diserap oleh solar panel tidak dapat maksimal, dan juga efisiensi penggunaan solar panel hanya 14 – 16 %

bergantung pada besarnya cahaya yang diserap oleh solar panel.

Oleh karena itu panel surya membutuhkan pelacak sinar matahari yang cukup akurat untuk meningkatkan efisiensi dari solar panel [3]. Pada penelitian ini dilakukan pelacak sinar matahari berbasis kamera agar sudut antara sinar matahari dengan panel surya saling tegak lurus sehingga penerimaan cahaya dapat terserap secara maksimal. Perkembangan pada autotracking solar panel ini cukuplah luas dan sering digunakan. Solusi yang pernah ditawarkan yaitu autotracking panel surya menggunakan sensor photodiode dan phototransistor yang mana sensor ini akan memperkirakan posisi matahari berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya [4]. Kelemahan dari penggunaan photodiode dan phototransistor ini yaitu memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap kondisi cuaca terutama pada suhu dan kelembaban yang berubah secara cepat pada kondisi yang cukup ekstrim [5][6], dan [7]. Selain itu terdapat pula solar panel yang bergerak berdasarkan waktu, tetapi metode ini kurang akurat dikarenakan posisi matahari tidak selalu sama setiap hari dijam yang sama.

Mekanisme autotracking harus dapat mengikuti matahari dengan akurasi yang cukup baik karena posisi matahari merupakan hal yang sangat krusial pada panel surya untuk menerima pancaran sinar matahari [8]. Sehingga dengan mekanisme tracking ini mampu meningkatkan jumlah cahaya yang diterima oleh panel surya sehingga menghasilkan daya listrik lebih baik [9]. Pada penelitian ini menggunakan kamera webcam sehingga biaya produksinya lebih murah, dan juga kamera ini mampu menerima gambar dengan cukup baik. Pengolah utama dari sistem ini menggunakan Lattepanda, Lattepanda merupakan mini-pc dengan built-in Arduino, sehingga dengan alat ini sistem mampu melakukan pengolahan citra secara cepat.

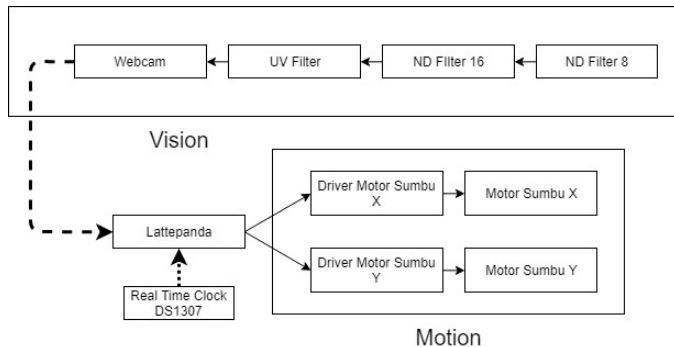
II. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

Sistem pelacak cahaya matahari keseluruhan dibagi menjadi dua tahap, yaitu bagian vision dan motion, seperti yang terlihat pada gambar 1. Vision dilakukan untuk bagian penangkapan citra matahari sedangkan motion merupakan bagian untuk melakukan kontrol pada motor DC.

Pelacak cahaya matahari akan menggerakkan 2 buah motor (sumbu x dan y) yang dikirimkan oleh Lattepanda berasal dari IDE visual studio dengan library opencv. Tangkapan citra matahari berasal dari kamera webcam yang diberi tambahan

filter yaitu filter UV dan ND filter, filter UV yang ditempatkan tepat di depan kamera dan ditambahkan dengan ND filter 16 dan 8 di depan filter UV diproses oleh Lattepanda yang nantinya akan menghasilkan posisi x dan y matahari berada yang nantinya akan dikirimkan ke Arduino Leonardo untuk diproses menggerakkan motor DC.



Gambar 1. Flowchart pengolahan citra.

B. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras pada sistem pelacak cahaya matahari:

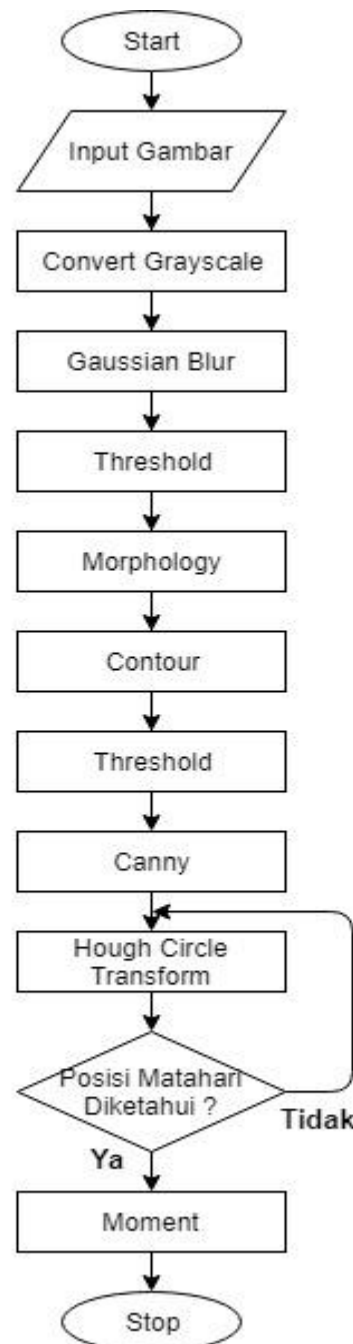
- Filter Neutral Density 8 & 16
Filter Neutral Density 8 & 16 atau filter ND berfungsi untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke dalam kamera webcam sehingga matahari lebih mudah terdeteksi.
- Filter UV
Filter UV berfungsi melindungi sensor CMOS pada kamera webcam agar tidak rusak dikarenakan kamera webcam menerima cahaya matahari terus-menerus.
- Webcam
Webcam berfungsi sebagai komponen utama untuk melacak keberadaan matahari.
- Lattepanda
Lattepanda berfungsi untuk menjalankan program deteksi cahaya matahari berupa nilai x dan y posisi matahari dan mengirimkannya ke Arduino.
- Arduino Leonardo
Arduino berfungsi untuk menerima data dari Lattepanda dan melakukan proses untuk menggerakkan panel surya kearah tengah matahari.
- Real Time Clock DS1307
Real time clock DS1307 berfungsi untuk memberi waktu kapan sistem akan mulai berjalan untuk mendeteksi keberadaan matahari.
- Driver Motor
Driver motor berfungsi untuk memilih kemana arah motor akan berputar dan menerima masukan berupa PWM dari Arduino.
- Motor DC
Motor DC berfungsi menggerakkan rangka besi panel surya agar cahaya yang diterima dari panel surya lebih efisien.

C. Perancangan Perangkat Lunak

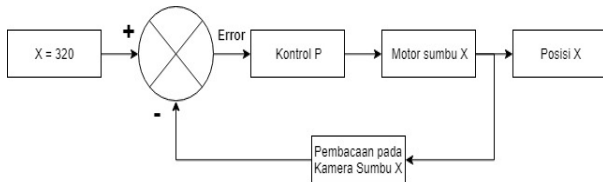
Pada bagian perangkat lunak, seluruh proses dilakukan dengan menggunakan Lattepanda. Seluruh proses tersebut

meliputi pengolahan citra dan pengendali motor. Pengolahan citra adalah proses deteksi matahari dimana sistem mampu mengenali matahari dan menentukan posisi kemana motor harus bergerak. Proses ini dilakukan menggunakan *library* openCV yang merupakan suatu *library* gratis untuk image processing *high level* maupun *low level* [10]. Saat menuliskan algoritma dari pemrosesan gambar terdapat banyak sekali proses operasi yang dapat digunakan pada openCV secara terus-menerus [11]. Pengendali motor adalah proses menggerakkan sistem keseluruhan tepat kearah matahari.

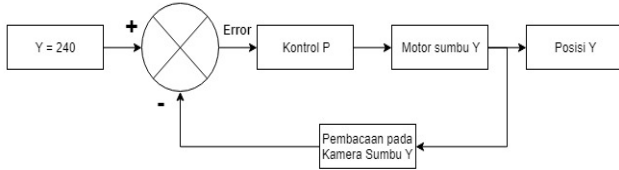
Flowchart pada bagian pengolahan citra dapat dilihat pada Gambar 2. Citra berupa hasil filter ND dan UV akan diolah terlebih dahulu menjadi sebuah citra *grayscale* agar citra menjadi bentuk 8 bit. Citra hasil *grayscale* akan dilakukan



Gambar 2. Flowchart pengolahan citra.



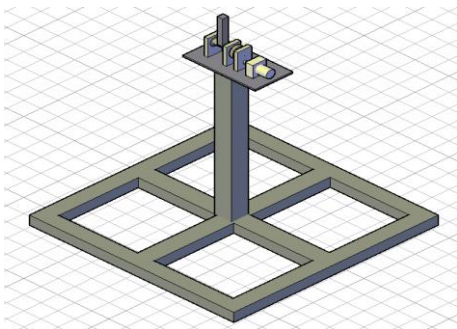
Gambar 3. Blok diagram kontrol proporsional sumbu X.



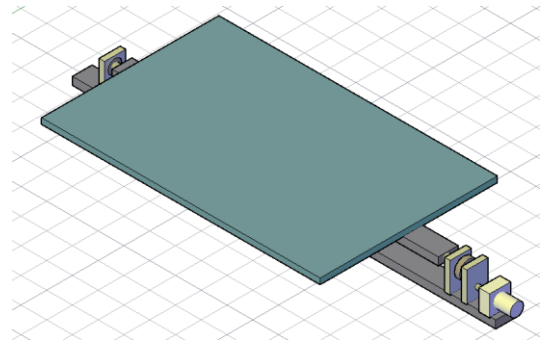
Gambar 4. Blok diagram kontrol proporsional sumbu Y.

Gaussian blur untuk menghilangkan *noise* sehingga citra seolah lebih halus [12]. Untuk memisahkan antara objek (matahari) dengan background (langit) maka dilakukan proses *threshold binary* [13]. Setelah berhasil memisahkan antara objek dengan background maka dilakukan proses *morphology* untuk menghilangkan *noise* yang berukuran kecil, memperbaiki piksel yang rusak, atau menghilangkan objek yang tidak diinginkan [14]. Apabila masih terdapat *noise* berukuran besar pada gambar, maka dilakukan proses *contour*, hasil dari *contour* yaitu titik-titik batas objek [15], sehingga *noise* yang berukuran besar dapat dihilangkan. Agar proses *canny edge* dapat dilakukan maka proses *threshold* dilakukan kembali untuk mengembalikan citra kedalam bentuk 8 bit [16]. Hasil dari *canny edge* ini merupakan tepian objek matahari sehingga proses *Hough circle transform* dapat dilakukan. *Hough transform* digunakan untuk menentukan lokasi suatu bentuk dalam citra [17]. Pada proses *Hough circle transform* dipilih parameter yang sesuai agar sistem mampu mengetahui posisi matahari. Apabila sistem mampu mengetahui posisi matahari maka langkah selanjutnya yaitu dilakukan pencarian posisi titik tengah dari matahari. Caranya yaitu dengan melakukan *moment* yang mana hasilnya merupakan nilai *x* dan *y* posisi matahari sekarang berada.

Pada pengendali motor, nilai *x* dan *y* tersebut digunakan untuk mendapatkan *error* dari posisi matahari. Kontrol proporsional digunakan karena kontrol tersebut melakukan koreksi yang sebanding dengan perbedaan set point dengan nilai yang terukur [18]. Dengan adanya *error* tersebut maka didapatkan nilai proporsional yang cocok sehingga motor dapat bergerak lebih akurat ke arah posisi *set point* yang telah ditentukan. Gambar 3 merupakan blok diagram kontrol untuk motor *x*, set point merupakan titik tengah piksel sumbu *x*



Gambar 5. Rangka pergerakan sumbu X.



Gambar 6. Rangka pergerakan sumbu Y.

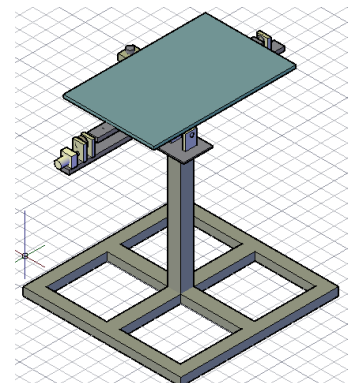
pada layar yaitu 320. Gambar 4 merupakan blok diagram kontrol untuk motor *y*, set point merupakan titik tengah piksel sumbu *y* yaitu 240.

D. Perancangan Perangkat Mekanik.

Pada perancangan perangkat mekanik seluruh proses ini menggunakan software AutoCAD. Perancangan tersebut dilakukan secara 3D agar tahap realisasi mudah dilakukan. Perancangan mekanik pertama yaitu menghitung kekuatan motor agar dapat memperkirakan berapa beban maksimum yang dapat digerakkan oleh motor. Sesuai spesifikasi motor dengan torsi 22 kg.cm, maka apabila panjang lengan sumbu *x* bernilai 5 cm, beban maksimum motor seberat 4.2 kg, sedangkan apabila panjang lengan sumbu *y* bernilai 2 cm, beban maksimum motor sebesar 11 kg.

Perancangan mekanik kedua yaitu perhitungan *ratio gigi*. Dengan kecepatan motor sebesar 22 rpm, maka diperlukan sebuah gigi untuk memperlambat kecepatan motor. Pada gigi bor memiliki rasio 1:15, sehingga kecepatan putar motor awalnya 22 putaran per menit maka kecepatan putar pada shaft akhir memiliki kecepatan 1.46 putaran per menit. Dengan kecepatan sebesar 1.46 putaran per menit maka kecepatan tersebut sesuai untuk pelacak cahaya matahari karena membutuhkan kecepatan yang pelan.

Perancangan mekanik ketiga yaitu desain rangka pelacak cahaya matahari. Perancangan pertama yaitu melakukan desain untuk sumbu *x*. Gambar 5 merupakan hasil perancangan untuk sumbu *x* dengan dimensi dari perancangan ini sebesar 60 x 60 x 75 cm. Setelah perancangan sumbu *x* selesai maka dilanjutkan dengan perancangan sumbu *y*. Gambar 6 merupakan hasil akhir dari perancangan sumbu *y* dan gambar 7 merupakan hasil perancangan sistem mekanik keseluruhan.



Gambar 7. Hasil akhir rangka keseluruhan.



Gambar 8. Realisasi sistem keseluruhan.

E. Pengujian Sistem

Setelah melakukan realisasi pada perangkat keras, perangkat lunak, dan perangkat mekanik, maka dilakukan pengujian keseluruhan sistem tersebut. Pengujian meliputi pengujian kecepatan motor, pengujian filter cahaya, dan pengujian pengolahan citra.

F. Analisis Data

Pada tahap analisis data dilakukan analisa mengenai nilai-nilai parameter yang sesuai untuk sistem pelacak cahaya matahari ini. Analisis data dilakukan seperti pemilihan nilai *threshold* yang tepat dan pemilihan nilai parameter *Hough circle transform*.

G. Implementasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian akhir untuk menentukan apakah sistem yang telah dibuat berhasil melakukan tujuan dari penelitian ini. Pengujian akhir ini meliputi besar lux yang diterima dan energi yang dihasilkan oleh panel surya.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Hardware

Pengujian yang pertama yaitu pengujian motor DC. Setelah menyatukan seluruh komponen mekanik maka dilakukan pengujian motor DC untuk mengetahui kecepatan motor dan memastikan sistem mekanik yang telah dibuat bekerja dengan baik. Gambar 8 merupakan bentuk hasil realisasi sistem keseluruhan. Tabel 1 merupakan kecepatan rata-rata motor untuk arah putar searah jarum jam. Pada motor sumbu x bergerak dengan kecepatan 0.36 rpm sedangkan motor sumbu y bergerak dengan kecepatan 0.34 rpm. Tabel 2 merupakan kecepatan rata-rata motor berputar dengan arah berlawanan jarum jam. Pada hasil pengujian motor sumbu x berputar dengan kecepatan 0.38 rpm sedangkan motor sumbu y berputar dengan kecepatan 0.35 rpm. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sistem mekanik dapat bekerja dengan baik tanpa adanya kesalahan mekanik.

Pengujian yang kedua yaitu pengujian filter cahaya. Pengujian meliputi pengujian penangkapan citra tanpa filter cahaya apapun, penangkapan citra dengan filter UV, dan

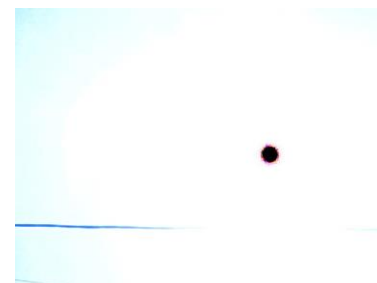
Tabel 1.
Kecepatan motor searah jarum jam

Kecepatan (rpm)	
Motor sumbu X	0.36
Motor sumbu Y	0.34

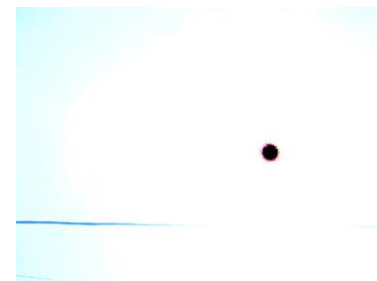
Tabel 2.
Kecepatan motor berlawanan arah jarum jam

Kecepatan (rpm)	
Motor sumbu X	0.38
Motor sumbu Y	0.35

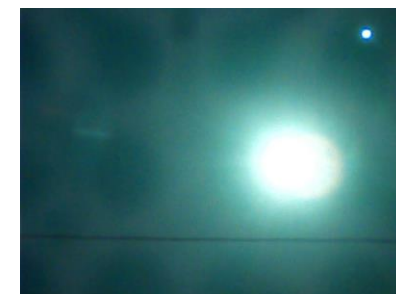
penangkapan citra dengan filter ND. Gambar 9 merupakan hasil tangkapan citra matahari tanpa filter cahaya. Terlihat bahwa terlalu banyak cahaya yang diterima oleh kamera. Gambar 10 merupakan hasil tangkapan citra setelah ditambahkan filter UV. Hasil penggunaan filter UV hanya berpengaruh pada ketahanan sensor pada kamera apabila kamera diarahkan kearah matahari dalam periode yang cukup lama. Pemasangan filter ND pada kamera berfungsi untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke dalam kamera. Filter ND yang digunakan yaitu ND 8 dan ND 16. Hasil dari penggunaan filter ini ditunjukkan pada gambar 11. Terlihat bahwa cahaya matahari berkurang cukup banyak, sehingga dapat terlihat lingkaran matahari dengan cukup jelas.



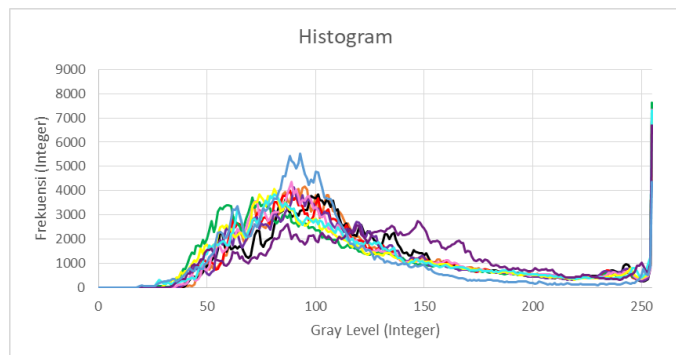
Gambar 9. Hasil tangkapan citra matahari tanpa filter.



Gambar 10. Citra matahari dengan filter UV.



Gambar 11. Citra matahari dengan filter UV dan ND.



Gambar 12. Histogram untuk pemilihan nilai threshold.

B. Pengujian Pengolahan Citra

Pada pengujian pengolahan citra akan dilakukan pengujian nilai parameter yang digunakan untuk diaplikasikan pada sistem keseluruhan.

1. Pengujian Nilai Threshold

Pada pengujian nilai *threshold* yang dilakukan pertama kali yaitu mengambil sampel gambar matahari. Sampel diambil sebanyak 10 citra dengan pengambilan gambar dengan waktu yang berbeda-beda. Setelah di ambil sampel tersebut, 10 citra tersebut dikonversi menjadi bentuk grayscale. Citra grayscale tersebut akan dilihat nilai tiap pikselnya untuk menentukan nilai *threshold* yang dibutuhkan. Sampel diambil dengan menggunakan kamera webcam yang ditambahkan dengan filter neutral density 8 dan 16 (filter ND) dan filter UV. Setelah mengambil sampel dari waktu yang berbeda, citra tersebut diolah untuk didapatkan nilai intensitas *threshold* tiap pikselnya. Nilai yang didapatkan diolah menjadi sebuah histogram seperti pada gambar 12. Berdasarkan kelima histogram dapat dilihat bahwa grafik memiliki titik terendah pada nilai sekitar 210 hingga 250. Nilai ini merupakan nilai *threshold* untuk membedakan antara matahari dengan langit di sekitarnya.

2. Pengujian Parameter Hough Circle Transform

Pada pengujian parameter *Hough circle transform*, dipilih parameter-parameter yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan matahari. Parameter dipilih dengan cara pengujian satu persatu parameter hingga memiliki tingkat kesuksesan deteksi matahari yang paling tinggi. Tabel 3 merupakan hasil pengujian parameter *Hough circle transform* beserta tingkat keberhasilan deteksi matahari.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan bahwa dengan menggunakan nilai *distance* yang sama dan nilai *dp* yang berbeda, dapat dilihat hasilnya bahwa nilai *dp* 3 dan 4 merupakan nilai yang paling cocok untuk digunakan karena memiliki tingkat kesuksesan deteksi matahari yang paling tinggi. Sehingga pada akhirnya dipilihlah nilai *dp* = 4 dan *distance* = $x/4$ untuk digunakan pada sistem ini, hasil dari penggunaan parameter ini dapat dilihat pada bab pengujian akhir, pengujian dilakukan dengan cara mengukur seberapa besar cahaya yang dapat diterima dengan menggunakan sistem pelacakan matahari ini.

C. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pada pengujian akhir dilakukan pengukuran besaran lux yang diterima oleh panel surya dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Pengujian dilakukan pada kondisi cuaca cerah.

Tabel 3.
Hasil pengujian parameter Hough circle transform

No	Dp	Min. Distance	Tingkat Keberhasilan
1	1	Lebar piksel / 4	0 %
2	2	Lebar piksel / 4	0 %
3	3	Lebar piksel / 4	100 %
4	4	Lebar piksel / 4	100 %
5	4	Lebar piksel / 2	100 %
6	4	Lebar piksel / 8	100 %
7	4	Lebar piksel / 16	0 %
8	3	Lebar piksel / 2	100 %
9	3	Lebar piksel / 8	100 %
10	3	Lebar piksel / 16	0 %

Pengujian pertama yaitu melakukan pengukuran besaran lux yang diterima dengan menggunakan luxmeter. Tabel 4 menunjukkan hasil penerimaan cahaya yang dilakukan. Terlihat bahwa tanpa sistem pelacak atau panel surya yang ditempatkan secara statis dengan sudut pemasangan 30 derajat terjadi peningkatan penerimaan cahaya sebesar 10.96 %.

Pengujian panel surya ini membandingkan panel surya menggunakan pelacak cahaya matahari dengan panel surya statis dengan sudut kemiringan 30 derajat. Panel surya dihubungkan dengan voltmeter serta amperemeter. Kemudian panel surya diberi beban sebuah resistor yang memiliki nilai hambatan sebesar 5.5 ohm. Nilai resistor tersebut dipilih karena paling mendekati nilai beban yang dibutuhkan oleh panel surya sesuai dengan spesifikasinya. Dari proses pengukuran dapat diketahui seberapa besar nilai dayanya yang dihasilkan tiap jam.

Berdasarkan tabel 5 dan 6 maka didapatkan efisiensi dari penerimaan daya antara panel surya statis dengan panel surya dengan sistem pelacak. Pada tabel 5 merupakan hasil pengujian pada panel surya statis selama 7 jam pengujian didapatkan energi listrik yang dihasilkan sebesar 352.55 Wh. Pada tabel 6 merupakan hasil pengujian pada panel surya dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari. Dari hasil pengujian didapat bahwa setelah dikurangkan dengan energi yang dibutuhkan untuk sistem pelacak (motor DC dan Lattepana) maka efisiensi energi yang dihasilkan selama 7 jam pengujian sebesar 377.11 Wh. Sehingga setelah dikurangkan dengan hasil energi dari panel surya statis maka terjadi peningkatan efisiensi sebesar 6.97 %.

Tabel 4.
Pengujian penerimaan intensitas matahari

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	97600	114100
09:00	98900	107400
09:30	106000	113900
10:00	116000	122000
10:30	120300	120800
11:00	119200	121400
11:30	119700	120500
12:00	119900	121700
12:30	120400	121600
13:00	119100	120300
13:30	105200	120700
14:00	100700	122100
14:30	86800	117900
15:00	78500	105500
15:30	62200	92800

Tabel 5.
Hasil daya listrik pada panel surya statis

No.	Rentan Waktu	Energi Listrik Rata-Rata (Wh)
1	08:31 – 09:30	43.14
2	09:31 – 10:30	52.94
3	10:31 – 11:30	65.05
4	11:31 – 12:30	66.65
5	12:31 – 13:30	58.56
6	13:31 – 14:30	42.15
7	14:31 – 15:30	24.06
Total		352.55

Tabel 6.
Hasil daya listrik pada panel surya dinamis

No.	Rentan Waktu	Energi Listrik Rata-Rata (Wh)	Energi yang Digunakan untuk Sistem Pelacak (Wh)	Efisiensi Energi (Wh)
1	08:31 – 09:30	52.39	7.18	45.21
2	09:31 – 10:30	60.49	6.93	53.56
3	10:31 – 11:30	68.45	7.05	61.4
4	11:31 – 12:30	69.48	6.93	62.55
5	12:31 – 13:30	67.98	7.11	60.87
6	13:31 – 14:30	60.5	7.18	53.32
7	14:31 – 15:30	47.5	7.3	40.2
Total		426.79	49.68	377.11

IV. KESIMPULAN

Pelacak cahaya matahari berbasis citra yang telah dibuat pada penelitian ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan pada sistem pelacak cahaya matahari untuk panel surya. Dari realisasi dan pengujian alat pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sistem mampu melakukan pelacakan terhadap cahaya matahari. Dari hasil pengujian penerimaan cahaya matahari dengan menggunakan lux meter dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menerima pancaran cahaya matahari dengan nilai cukup besar dengan peningkatan rata-rata sebesar 16.93 %. Sedangkan pada pengujian pengukuran daya panel surya didapatkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi pada panel surya sebesar 6.97 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Srinivasarao and D. P. Reddy, "Design and Development of 10 kVa Solar Photovoltaic Cells with Fixed and Tilting Panels," *IJEIT*, vol. 2, no. 1, 2012.
- [2] H. Allamehzadeh, "Solar energy overview and maximizing power output of a solar array using sun trackers," 2016.
- [3] M. M. Arturo and Alejandro Garcia P, "High-Precision Solar Tracking Sistem," in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2010.
- [4] A. Kalogirou, "Design and construction of a one-axis sun-tracking sistem," *Sol. Energy*, vol. 57, pp. 465–469, 1996.
- [5] R. A. Rahim, M. N. Zainudin, M. Ismail, and M. Othman, "Image-based Solar Tracker Using Raspberry Pi," *J. Multidiscip. Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 5, pp. 369–373, 2014.
- [6] M. Taki, Y. Ajabshirchi, and H. Behfar, "Experimental investigation and construction of PV solar tracker control system using image processing," *Mod. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 6, 2011.
- [7] G. Prinsloo and R. Dobson, *Solar Tracking, Sun Tracking, Sun Tracker, Solar Tracker, Follow Sun, Sun Position*. 2015.
- [8] C.-C. Wei, Y.-C. Song, C.-B. Lin, and L. Chiang, "Design of a Sun Tracking Sistem Based on the Brightest point in Sky Image," in *Third International Conference on Computing Measurement Control and Sensor Network*, 2016.
- [9] O. Badran and I. Arafat, "The Enhancement of Solar Distillation using Image Processing and Neural Network Sun Tracking Sistem," *Int. J. Mining, Metall. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 208–212, 2013.
- [10] N. A. Syahid, M. Rivai, and Suwito, "Sistem Keamanan pada Lingkungan Pondok Pesantren Menggunakan Raspberry Pi," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [11] P. Joshi, Escrivá, and V. Godoy, *OpenCV by example: enhance your understanding of Computer Vision and image processing by developing real-world projects in OpenCV 3*. Birmingham: Packt Publishing, 2016.
- [12] J. Flusser, S. Farokhi, C. Hoschl, T. Suk, B. Zitova, and M. Pedone, "Recognition of Images Degraded by Gaussian Blur," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 2, pp. 790–806, 2016.
- [13] G. R. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library*, 1st ed. Beijing: O'Reilly, 2011.
- [14] U. Acar and B. Bayram, *Building extraction with morphology*. 2009.
- [15] G. Xie and W. Lu, "Image Edge Detection Based On Opencv," *Int. J. Elektron. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 104–106, 2013.
- [16] D. Krisrenanto, M. Rivai, and F. Budiman, "Identifikasi Jumlah dan Tingkat Aktivitas Orang Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Raspberry Pi," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [17] A. A. Rahmnan, M. Rivai, and T. Tasripan, "Sistem Otomatisasi Pelacakan Objek Astronomi Menggunakan Teleskop Berdasarkan Stellarium," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [18] M. S. Ramadhan and M. Rivai, "Sistem Kontrol Tingkat Kekeuhan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno," *J. Tek. ITS*, vol. 7, 2018.