Design and Prototyping of an Automated Train Washing Station System with Solar Panels as the Power Source
Perancangan Dan Pembuatan Prototype Sistem Stasiun Pencucian *Train* Otomatis Dengan Panel Surya Sebagai Sumber Dayanya

Mochammad Hanif Al Muazzam[1)], Shazana Dhiya Ayuni *[,2)], Jamaaluddin Jamaaluddin[3)], Izza Anshory[4)]

[1,2,3,4)]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: shazana@umsida.ac.id

Abstract. *High water consumption and dependence on fossil fuels in railway maintenance challenge the goal of eco-friendly transportation. This study designs a solar-powered automatic train wash plant (ATWP) prototype based on the ESP32-CAM microcontroller using a laboratory-scale Research and Development (R&D) method. The ESP32-CAM serves as an image-processing sensor that detects colors identified as dust or stains on the train car exterior. When a stain is detected, the microcontroller automatically activates a 5V DC water pump and a DC motor that drives the cleaning brush. A solar power plant with battery storage supplies all electrical energy. Test results show that the image processing system detected stains with an accuracy of 70%, and the system operated for approximately 11 hours without solar power input. The prototype demonstrates that integrating automation with renewable energy offers an efficient, water-saving, and sustainable solution for railway rolling stock maintenance.*

Keywords - *ATWP; ESP32-CAM; Prototype; Research and Development; Solar Panel.*

Abstrak. *Tingginya konsumsi air dan ketergantungan pada energi fosil dalam perawatan kebersihan kereta api menjadi tantangan bagi transportasi yang ramah lingkungan. Penelitian ini merancang prototipe sistem stasiun pencucian kereta otomatis (Automatic Train Wash Plant/ATWP) bertenaga surya berbasis mikrokontroler ESP32-CAM dengan metode Research and Development (R&D) skala laboratorium. ESP32-CAM berfungsi sebagai sensor berbasis pengolahan citra untuk mendeteksi warna yang diidentifikasi sebagai debu atau noda pada eksterior gerbong. Ketika noda terdeteksi, mikrokontroler mengaktifkan pompa air DC 5V dan motor DC penggerak sikat pembersih secara otomatis. Seluruh kebutuhan energi listrik disuplai oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan penyimpanan baterai. Hasil pengujian menunjukkan sistem pengolahan citra mampu mendeteksi noda dengan akurasi 70% dan sistem dapat bekerja sekitar 11 jam tanpa pasokan PLTS. Prototipe ini membuktikan bahwa integrasi otomatisasi dan energi terbarukan dapat menjadi solusi efisiensi air dan energi pada perawatan sarana perkeretaapian.*

Kata Kunci - *ATWP; ESP32-CAM; Panel Surya; Prototipe; Research and Development*.

I. PENDAHULUAN

Perawatan sarana perkeretaapian, termasuk kebersihan rangkaian kereta, merupakan bagian fundamental untuk menjamin kenyamanan dan keselamatan penumpang. Selaras dengan itu pemerintah mengupayakan agar Undang-undang Republik Indonesia nomor 23 tahun 2007 terlaksana dengan baik. Perkeretaapian juga terkenal akan ramah lingkungan dan efisiensinya dalam mengangkut penumpang[1]. Untuk menjamin kenyamanan dan keselamatan itu perlu dilakukannya pemeliharaan rutin mencakup pemeliharaan harian atau pemeliharaan berkala secara teratur dalam waktu 1 tahun. Dimana siklus perawatan yang dibagi dalam dua kategori, yaitu perawatan sempurna dan perawatan khusus[2].

Untuk menjaga kebersihan dan keramahan dalam menjaga kelestarian lingkungannya PT. KAI selaku penyelenggara utama perkeretaapian di Indonesia berinovasi dalam pengelolaan air secara berkelanjutan. Dan bertepatan dengan Hari Air Sedunia 2025 bertema Glaciers Preservation, KAI berkomitmen meningkatkan efisiensi penggunaan air di seluruh wilayah operasionalnya. Langkah konkret dilakukan dengan pemasangan flow meter, pengelolaan air limbah, serta penerapan teknologi Automatic Train Wash Plant (ATWP) yang mengurangi konsumsi air baru secara signifikan. Hasilnya, konsumsi air KAI Group terus menurun dari tahun ke tahun. Masalah kekurangan air ini merupakan faktor penting dalam menjaga kelestarian lingkungan karena mungkin terjadi kekeringan di beberapa daerah, khususnya daerah yang memiliki curah hujan yang sedikit. Penggunaan air ini pada daerah yang mengalami kekeringan bisa dialih fungsikan pada sektor pertanian atau bahkan cuma sebagai konsumsi sehari-hari[3].

Jauh sebelum adanya automatic train wash atau pencucian kereta otomatis ini ada, terdapat pencucian otomatis kendaraan lain dengan menerapkan konsep yang hampir sama. Salah satunya adalah perusahaan Auto Car Wash.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

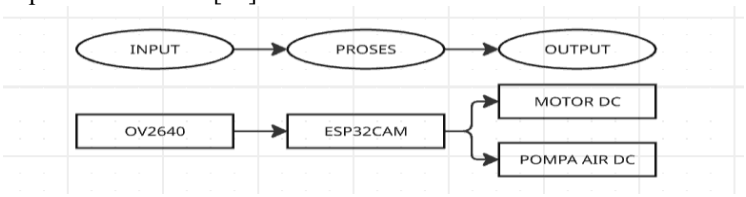
Perusahaan ini tengah me rancang usaha di bidang jasa pencucian mobil otomatis dengan menggunakan mesin berteknologi modern yang saat ini belum ada di Bandar Lampung yang bahkan sudah beroperasi sejak tahun 2006[4] . Ada beberapa mikrokontroler yang sering dipakai untuk kebutuhan otomatisasi yaitu arduino uno/nano, ESP32 dan lainnya[5]. Arduino memang memiliki pin input atau output yang lebih banyak tapi ESP32-CAM mempunyai lebih banyak kelebihan pada fungsinya[6]. Seperti ESP32-CAM berfungsi juga sebagai pengenalan visual ataupun warna.

Isu pemanasan global juga menjadi topik penting saat ini dikarenakan salah satu faktornya adalah penggunaan bahan bakar fossil untuk kebutuhan energi terlebih dari sebagai energi listrik. Oleh karena itu PLTS Adalah salah satu pilihan terbaik untuk mengurangi dampak tersebut[7]. Penyederhanaan pembuatan pencucian train otomatis sebagai sebuah prototype untuk lebih mempermudah dalam merancang, membuat, dan mengujinya merupakan pilihan yang baik untuk mempelajari bagaimana cara suatu sistem bekerja dan banyak digunakan para pelajar ataupun mahasiswa[8].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membuat prototipe sistem stasiun pencucian kereta otomatis berbasis ESP32-CAM yang disuplai oleh panel surya, serta menguji keberhasilan deteksi objek “KOTOR” dan kinerja panel surya sebagai sumber daya sistem.

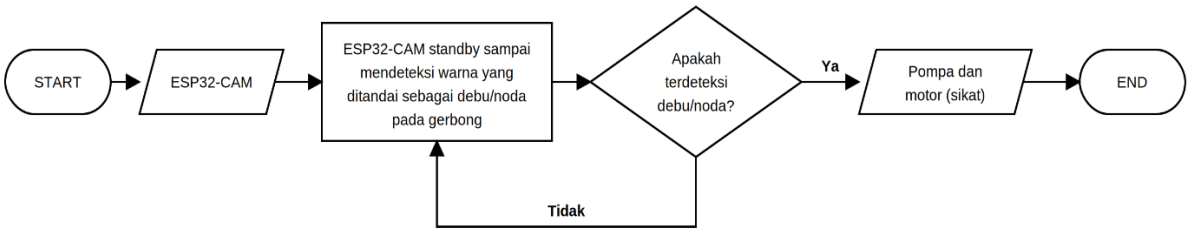
II. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi perancangan sistem, pengambilan data, serta analisis kinerja komponen. Sistem pencucian gerbong kereta otomatis dirancang menggunakan platform ESP32-CAM yang terintegrasi dengan kamera untuk melakukan deteksi objek berbasis kecerdasan buatan (Edge Impulse) guna mengklasifikasikan kondisi kebersihan gerbong ke dalam kategori "KOTOR" atau bersih[9]. Kamera ditempatkan pada posisi tetap yang menghadap langsung ke jalur lintasan gerbong kereta untuk memperoleh citra kondisi permukaan gerbong secara langsung. Data citra yang ditangkap kamera diproses oleh mikrokontroler melalui model inferensi on-device untuk menghasilkan nilai keyakinan (confidence score) deteksi, yang kemudian menjadi acuan pengambilan keputusan aktivasi motor DC dan pompa air sebagai unit output pencucian[10]. Arsitektur sistem yang dikembangkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram tersebut menggambarkan integrasi antara kamera sebagai unit input, ESP32-CAM sebagai pengolah sinyal citra dan pengendali utama sistem, serta motor DC dan pompa air sebagai output atau keluaran[11].



Gambar 1. *Diagram Blok Sistem*

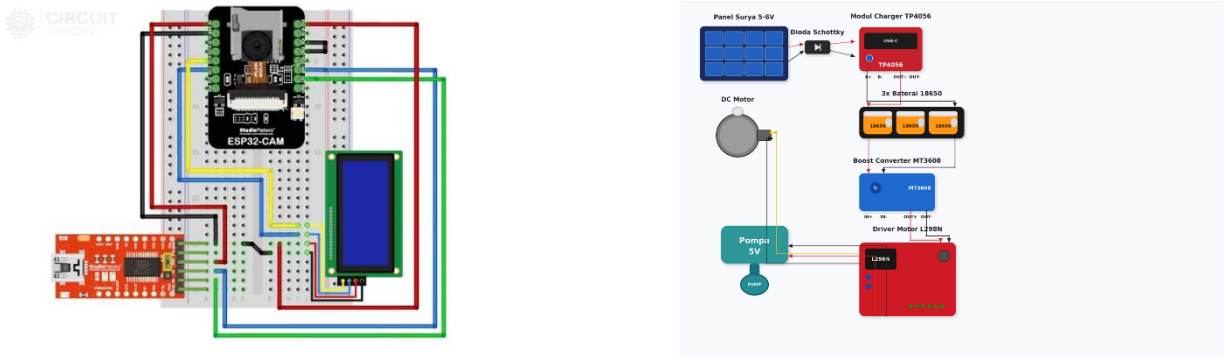
Dimulai dengan memasukkan catu daya ke ESP32-CAM. Selanjutnya ESP32-CAM bersiap melakukan proses identifikasi/deteksi. Pada mode ini ESP32-CAM berada dalam kondisi standby sampai mendeteksi warna yang ditandai, dengan tisu basah digunakan sebagai indikator debu/noda pada gerbong. Jika objek terdeteksi, pompa air dan motor DC (sebagai sikat) menyala selama 10 detik seperti ditunjukkan pada diagram alir di Gambar 2[12].



Gambar 2. *Flowchart Sistem*

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

Untuk wiringnya sendiri dibagi menjadi 2 yaitu wiring/skema untuk sistem deteksi objek yang bisa dilihat di sebelah kiri dan sistem daya di sebelah kanan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Wiring dan skema sistem deteksi objek (kiri) dan sistem daya (kanan)*

Untuk penyambungan lengkapnya bisa dilihat pada tabel penyambungan yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Penyambungan antar komponen*

No	Dari Komponen	Pin / Terminal	Ke Komponen	Pin / Terminal	Jenis	Keterangan
A. ESP32-CAM → LCD 16x2 I2C						
1	ESP32-CAM	GPIO14	LCD I2C	SDA	Data I2C	Sesuai LCD_SDA_PIN di kode
2	ESP32-CAM	GPIO15	LCD I2C	SCL	Data I2C	Sesuai LCD_SCL_PIN di kode. GPIO15 adalah strapping pin
3	ESP32-CAM	5V	LCD I2C	VCC	Daya	Gunakan 5V, bukan 3.3V
4	ESP32-CAM	GND	LCD I2C	GND	Ground	
B. ESP32-CAM → Driver Motor L298N (sinyal kontrol)						
5	ESP32-CAM	GPIO13	L298N	IN1	Sinyal	Kontrol Motor DC (HIGH = nyala)
6	ESP32-CAM	GPIO2	L298N	IN3	Sinyal	Kontrol Pompa 5V (HIGH = nyala). GPIO2 adalah strapping pin, lepas kabel ini saat upload kode
7	ESP32-CAM	GND	L298N	GND	Ground	COMMON GROUND, wajib disatukan
C. Pengaturan Tetap pada L298N						
8	L298N	IN2	L298N / Rangkaian	GND	Ground	Dikunci LOW (satu arah putar), bukan ke ESP32
9	L298N	IN4	L298N / Rangkaian	GND	Ground	Dikunci LOW (satu arah putar), bukan ke ESP32
10	L298N	ENA	L298N	Jumper ke 5V	Enable	Tahan jumper bawaan tetap terpasang
11	L298N	ENB	L298N	Jumper ke 5V	Enable	Tahan jumper bawaan tetap terpasang

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

No	Dari Komponen	Pin / Terminal	Ke Komponen	Pin / Terminal	Jenis	Keterangan
D. L298N → Aktuator (output daya)						
12	L298N	OUT1	Motor DC	Kabel (+)	Daya output	Tukar kabel jika arah putar terbalik
13	L298N	OUT2	Motor DC	Kabel (−)	Daya output	Bukan ke GND
14	L298N	OUT3	Pompa 5V	Kabel (+)	Daya output	
15	L298N	OUT4	Pompa 5V	Kabel (−)	Daya output	Bukan ke GND
E. Catu Daya Tenaga Surya						
16	Panel Surya 1W (5-6V)	(+)	Dioda Schottky	Anoda	Daya	Mencegah arus balik ke panel
17	Dioda Schottky	Katoda	Modul TP4056	IN+	Daya	Bisa lewat pad IN+ atau port USB-C
18	Panel Surya 1W (5-6V)	(−)	Modul TP4056	IN−	Daya	
19	Modul TP4056	B+	Baterai 18650	Kutub (+)	Daya	3 sel dirangkai PARALEL (bukan seri), lihat Catatan
20	Modul TP4056	B−	Baterai 18650	Kutub (−)	Daya	
21	Baterai 18650	Kutub (+)	Boost MT3608	IN+	Daya	
22	Baterai 18650	Kutub (−)	Boost MT3608	IN−	Daya	
23	Boost MT3608	OUT+	L298N	VIN (tertulis +12V)	Daya	Atur output MT3608 sesuai tegangan motor/pompa (5V)
24	Boost MT3608	OUT−	L298N	GND	Ground	Satukan dengan GND ESP32-CAM
25	Boost MT3608	OUT+	ESP32-CAM	5V	Daya	Mode operasi mandiri. Saat pemrograman, gunakan daya dari USB/FTDI
F. FTDI Programmer → ESP32-CAM (hanya saat upload kode)						
27	FTDI	TX	ESP32-CAM	U0R (GPIO3)	Serial	TX ke RX (silang)
28	FTDI	RX	ESP32-CAM	U0T (GPIO1)	Serial	RX ke TX (silang)
29	FTDI	5V	ESP32-CAM	5V	Daya	Gunakan mode 5V pada FTDI
30	FTDI	GND	ESP32-CAM	GND	Ground	
31	ESP32-CAM	GPIO0	ESP32-CAM	GND	Mode boot	Hubungkan saat upload, lepas setelah selesai lalu tekan reset

Pada tahap pengujian, penelitian ini juga melengkapi data kinerja sistem dengan nilai error deteksi objek (object detection error) dari model Edge Impulse yang digunakan, untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan keandalan sistem dalam membedakan kondisi kotor dan bersih pada kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar yang ditentukan. Selain itu, ditambahkan pula data hasil pengujian panel surya mini berkapasitas 1 watt sebagai sumber energi mandiri sistem, meliputi data tegangan dan arus keluaran panel pada berbagai kondisi intensitas cahaya, guna

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

menganalisis kemampuan panel surya dalam menyuplai kebutuhan daya rangkaian kontrol dan aktuator secara berkelanjutan[13] .

Tahap pengambilan data keberhasilan deteksi dilakukan dengan mengukur persentase keberhasilan dalam mendeteksi objek “KOTOR” pada beberapa kali percobaan.

Analisis kinerja sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem ini terhadap nilai referensi dari yang tertera pada website edge impulse atau F1 score. Tingkat kesalahan dihitung menggunakan persentase error dengan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$Error(\%) = \frac{|X_s - X_r|}{X_s} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana X_s merupakan nilai pembacaan hasil deteksi objek secara nyata dan X_r merupakan nilai F1 score.

Hasil perhitungan kemudian dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk mengetahui karakteristik persentase terhadap parameter yang diukur. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan tingkat kelayakan sistem pencucian yang dibuat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pengujian dan analisa sistem deteksi objek “KOTOR”

Pengujian dilakukan terhadap beberapa posisi peletakan tisu/indikator “KOTOR” sebanyak 20x. Percobaan ini tidak meliputi percobaan sebelumnya yaitu pada saat posisi dan cahaya yang terdapat pada ESP32-CAM dianggap belum stabil yang sudah berkali-kali juga diuji coba[14] .

Hasil pengujian yang telah disajikan pada Tabel 2 dianggap telah berhasil. Data tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi variasi posisi tisu basah yang berbeda pada setiap percobaannya yang bahkan melebihi F1 score yang ada pada website edge impulse yang mendapatkan nilai 66%.

Tabel 2. *Percobaan untuk sistem deteksi objek “KOTOR”*

Percobaan ke			
1	6	11	16
2	7	12	17
3	8	13	18
4	9	14	19
5	10	15	20

	berhasil terdeteksi
	tidak berhasil terdeteksi

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa persentase mencapai nilai 70% yang tentunya lebih tinggi dari F1 score yang didapat. Nilai error dihitung menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$Error(\%) = \frac{|70\% \ -66\% \ |}{70\%} \times 100\% = 5{,}71\% \quad (2)$$

5,71% adalah error rate sistem terhadap F1 score.

Secara keseluruhan, sistem monitoring mampu mendeteksi objek “KOTOR”, bahkan F1 score yang terdapat pada edge impulse juga bisa memprediksi tingkat atau persentase keberhasilan yang didapat tapi dengan catatan posisi dan pencahayaan pada saat proses deteksi sama atau mirip dengan posisi pada saat melakukan proses pengambilan sample/data foto dari objek “KOTOR”. Oleh karena itu, pentingnya menandai posisi pada saat pengambilan sample/data untuk lebih meningkatkan persentase keberhasilannya.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

B. Hasil pengujian dan analisa sistem daya

Tabel 3. *Pengukuran hasil panel surya portable 1W*

Waktu (WIB)	Kondisi Cuaca	Tegangan / V (Volt)	Arus / I (mA)	Daya / P (mW)	Daya / P (Watt)
06:00	Cerah / Fajar	4.1	15	61.5	0.062
07:00	Cerah	4.7	45	211.5	0.212
08:00	Cerah	5.1	90	459	0.459
09:00	Cerah Terik	5.3	135	715.5	0.716
10:00	Cerah Terik	5.4	170	918	0.918
11:00	Terik Maksimal	5.5	190	1045	1.045
12:00	Terik Maksimal	5.5	185	1017.5	1.018
13:00	Cerah Terik	5.4	160	864	0.864
14:00	Cerah	5.2	120	624	0.624
15:00	Cerah	5	75	375	0.375
16:00	Mulai Redup	4.6	30	138	0.138
17:00	Senja	3.8	8	30.4	0.03

Diketahui:

a. Tegangan Output (V): Tegangan terendah dicapai pada jam 17:00 (3,8 V) dan puncak operasional mencapai 5,5 V pada saat terik maksimal (11:00 - 12:00 WIB).
b. Arus Output (I): Arus puncak sebesar 190 mA (0,19 A) dihasilkan pada siang terik. Rata-rata arus pada jam kerja efektif (08:00 - 15:00 WIB) adalah ~141 mA.
c. Daya Maksimal (P_max): Daya tertinggi mencapai 1,045 Watt pada jam 11:00 WIB.
d. Total Produksi Energi Harian: Akumulasi total energi harian yang dihasilkan adalah ± 6,46 Wh (Watt-hour) dalam kurun waktu 12 jam.
e. Total Kapasitas Baterai (3x 2000 mAh paralel) = 6.000 mAh (22,2 Wh pada 3,7V)
f. Efisiensi Modul TP4056 dan Drop Dioda Schottky = ± 80%
g. Energi Bersih Masuk ke Baterai per Hari = 6,46 Wh x 80% = ± 5,17 Wh / hari
h. Persentase Pengisian Harian = (5,17 Wh / 22,2 Wh) x 100% ≈ 23% per hari
i. Estimasi Waktu Pengisian Penuh (0% ke 100%) = ± 4 hingga 5 hari cuaca cerah penuh
j. Estimasi Waktu Sistem Bekerja (tanpa sumber daya) = 11 jam

IV. SIMPULAN

Prototipe sistem stasiun pencucian kereta otomatis berbasis ESP32-CAM dengan sumber daya panel surya berhasil dirancang dan dibuat, serta mampu mendeteksi objek “KOTOR” dengan tingkat keberhasilan 70%. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, faktor cahaya dan posisi pada awal pengumpulan data/sampel foto berdampak sangat signifikan terhadap keberhasilan deteksi objek, apalagi dengan keterbatasan ESP32-CAM dalam menangkap cahaya, sehingga untuk memaksimalkan sistem deteksi diperlukan posisi dan cahaya yang tetap atau mirip. Pada pengembangan selanjutnya, citra dapat diubah menjadi grayscale untuk meringankan program.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sistem daya diketahui bahwa penggunaan satu panel surya 1 watt untuk mengisi tiga baterai kurang efisien, sehingga diperlukan penambahan jumlah panel atau pengurangan jumlah baterai[15] .

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, dan masukan selama proses penyusunan artikel ini. Apresiasi khusus diberikan kepada rekan-rekan serta Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas diskusi, referensi, serta evaluasi yang sangat membantu dalam menyempurnakan isi dan analisis tulisan ini. Penulis juga menyadari bahwa artikel ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk pengembangan ke depannya.

REFERENSI

[1] M. I. Roudho, "Peningkatan Perawatan Kereta Menggunakan Automatic Train Washing pada LRT Sumatera Selatan," Kertas Kerja Wajib (D-III), Politeknik Transportasi Darat Indonesia - STTD, Bekasi, Indonesia, Agu. 2022. [Online]. Available: https://digilib.ptdisttd.ac.id/2633/

[2] O. R. R. Sitorus, "Analisa Pemeliharaan Jalan Kereta Api Medan-Tebing Tinggi," Skripsi, Univ. Medan Area, Medan, Indonesia, Apr. 2021. [Online]. Available: https://repository.uma.ac.id/handle/123456789/15654

[3] Steven Witman, "Penerapan Metode Irigasi Tetes Guna Mendukung Efisiensi Penggunaan Air di Lahan Kering," *JURNAL TRITON*, vol. 12, no. 1, pp. 20–28, Jun. 2021, doi: 10.47687/jt.v12i1.152.

[4] S. Wulan, D. Fakultas, E. Universitas, and B. Lampung, "Studi Kelayakan Usaha Pencucian Mobil ….. (Sapmaya Wulan) STUDI KELAYAKAN USAHA PENCUCIAN MOBIL OTOMATIS PADA PERUSAHAAN AUTO CAR WASH DI BANDAR LAMPUNG BUSINESS FEASIBILITY STUDY OF AUTO CAR WASHING IN THE AUTO CAR WASH COMPANY IN BANDAR LAMPUNG." Jurnal Manajemen dan Bisnis, vol. 1, no. 1 Oktober 2010 : 21-32

[5] T. Paryono, A. Fauzi, R. A. Nanda, S. Aripiyanto, and M. Khaerudin, "Detecting Vehicle Numbers Using Google Lens-Based ESP32CAM to Read Number Characters," *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, vol. 22, no. 3, pp. 469–480, Jul. 2023, doi: 10.30812/matrik.v22i3.2818.

[6] S. Dhiya Ayuni and S. Syahrorini, "STRATEGI MITIGASI BENCANA TANGGUL LAPINDO DI DESA GEMPOLSARI DISASTER MITIGATION STRATEGY OF LAPINDO EMPIRE IN GEMPOLSARI VILLAGE," vol. 4, no. 1, pp. 8–11, 2021.

[7] J. Jamaaluddin, S. Dhya Ayuni, I. Apriliana, and S. Wulandari, "Design of Automatic Transfer Switch System Solar Power Plant-PLN," *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 7, no. 2, 2023.

[8] S. D. Ayuni, S. Syahrorini, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, Sep. 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.

[9] T. F. Tasmi, "IoT Enabled Object Detection on Edge Devices," GitHub repository, Apr. 2025. [Online]. Available: https://github.com/TahsinaTasmi/IoT-Enabled-Multi-Object-Detection-on-Edge-Devices-

[10] F. Faris, I. Sulistiyowati, A. H. Falah, and A. Ahfas, "System Control of Prototype Forklift Using Android and ESP32 Based on MQTT Communication," *Digital Zone: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 15, no. 2, pp. 196–207, Nov. 2024, doi: 10.31849/digitalzone.v15i2.22724.

[11] G. R. Auwali, A. Ahfas, and S. D. Ayuni, "Alat Kontrol dan Pengaman Sepeda Motor Menggunakan ESP 32 Cam Berbasis Telegram untuk Meminimalisasi Pencurian," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 219–229, Oct. 2023, doi: 10.57152/malcom.v3i2.923.

[12] H. Dietz *et al.*, "ESP32-CAM as a programmable camera research platform," in *IS and T International Symposium on Electronic Imaging Science and Technology*, Society for Imaging Science and Technology, 2022. doi: 10.2352/EI.2022.34.7.ISS-232.

[13] I. Anshory *et al.*, "Monitoring solar heat intensity of dual axis solar tracker control system: New approach," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 53, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2023.103791.

[14] I. K. Mirani, C. Tianhua, M. A. A. Khan, S. M. Aamir, and W. Menhaj, "Object Recognition in Different Lighting Conditions at Various Angles by Deep Learning Method," *arXiv preprint arXiv:2210.09618*, Oct. 2022, doi: 10.48550/arXiv.2210.09618

[15] J. Jamaaluddin *et al.*, "Heat Transfer Management of Solar Power Plant for Dryer," *International Journal on Engineering Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 195–203, 2024, doi: 10.15866/irea.v12i3.23959.

Conflict of Interest Statement:
The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted..