Pengembangan Perangkat Digitalisasi Pembacaan Meteran Air Berbasis *Optical Character Recognition* Pada Perangkat *Edge*

Naufal Muhammad Fahri[*1], Agustono Heriadi S.ST., M.kom [2]

[1,2]Program Studi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]naufalmfahri23@gmail.com, [2]ikki.heri@gmail.com

Nomor Handphone : 082140641423

Abstrak

Air merupakan kebutuhan pokok yang sangat esensial, namun pemantauan konsumsi air pada pengguna penyedia layanan air bersih saat ini masih didominasi oleh penggunaan meteran analog mekanis. Keterbatasan ini membuat pemantauan secara *realtime* menjadi sulit dilakukan. Mengganti infrastruktur dengan meteran air pintar membutuhkan biaya. Penelitian ini bertujuan merancang perangkat digitalisasi meteran air analog dengan memanfaatkan teknologi *Optical Character Recognition* (OCR) pada perangkat *edge*. Sistem dibangun menggunakan modul ESP32-CAM untuk menangkap gambar meteran dan langsung memprosesnya di perangkat (*Edge AI*) menggunakan algoritma *Optical Character Recognition*. Hasil pembacaan angka dan jarum analog dikirim bersama gambar nya melalui protokol Webhook dengan perantara *Cloudflare Tunnel* menuju *server* lokal berbasis PHP dan *database* SQLite. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma OCR mampu mengenali nilai meteran dengan tingkat akurasi mencapai 99,7233% dan meningkat hingga 99,8766% saat kondisi air mengalir. Selain itu, sistem pemantauan berhasil memvisualisasikan data riwayat konsumsi air melalui *dashboard* web. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi terjangkau untuk mempercepat implementasi Smart Water Management di Indonesia.

Kata kunci: Meteran Air, *Edge AI*, ESP32-CAM, *Optical Character Recognition*.

Abstract

Water is a highly essential basic need, yet monitoring water consumption for users of clean water service providers is currently still dominated by the use of mechanical analog meters. This limitation makes real-time monitoring difficult to perform. Replacing the infrastructure with smart water meters is costly. This research aims to design an analog water meter digitalization device by utilizing Optical Character Recognition (OCR) technology on an edge device. The system is built using an ESP32-CAM module to capture images of the meter and directly process them on the device (Edge AI) using an Optical Character Recognition algorithm. The reading results of the numbers and analog needles are sent along with their images via the Webhook protocol, mediated by a Cloudflare Tunnel, to a PHP-based local server and an SQLite database. The test results show that the OCR algorithm is capable of recognizing meter values with an accuracy rate reaching 99.7233% and increasing to 99.8766% when the water is flowing. Furthermore, the monitoring system successfully visualizes historical water consumption data through a web dashboard. This research is expected to serve as an affordable alternative solution to accelerate the implementation of Smart Water Management in Indonesia.

Keywords:. Water Meter, *Edge AI*, ESP32-CAM, *Optical Character Recognition*.

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok manusia yang esensial dalam kehidupan. Berdasarkan data BPS, kebutuhan masyarakat terhadap layanan air bersih terus meningkat dari tahun ke tahun, ditandai dengan jumlah pelanggan Perusahaan Daerah Air Minum yang mencapai 17.070.496 pada tahun 2023 [1]. Meskipun demikian, proses pemantauan konsumsi air sebagian besar masih dilakukan secara manual, yaitu melihat langsung di meteran air [2]. Penggunaan meteran air analog membatasi

kemampuan meteran dalam melakukan pemantauan konsumsi secara langsung, sehingga potensi kebocoran atau penggunaan air yang berlebihan sulit cepat terdeteksi.

Beberapa studi terdahulu telah berupaya mengatasi kelemahan meteran air analog melalui pengembangan otomatisasi pembacaan meteran air. Penelitian terkait memanfaatkan ESP32-CAM dengan metode *Optical Character Recognition* (OCR), namun sistem tersebut masih mengandalkan Raspberry Pi tambahan sebagai server terpisah untuk memproses OCR [3]. Penelitian lain menerapkan algoritma YOLO untuk pengenalan angka, akan tetapi komputasinya masih harus dijalankan secara realtime di perangkat komputasi terpisah yaitu laptop [4]. Sementara itu, penelitian lainnya juga mengembangkan sistem berbasis ESP32-CAM yang sebatas berfungsi sebagai penangkap gambar untuk dikirim ke database MySQL, tanpa adanya proses OCR [5].

Berdasarkan kajian literatur tersebut, terdapat celah penelitian yang signifikan: perlunya sistem pengolahan kecerdasan buatan yang mampu beroperasi penuh secara langsung di perangkat secara mandiri dan terintegrasi dengan akses pemantauan realtime berbasis web.

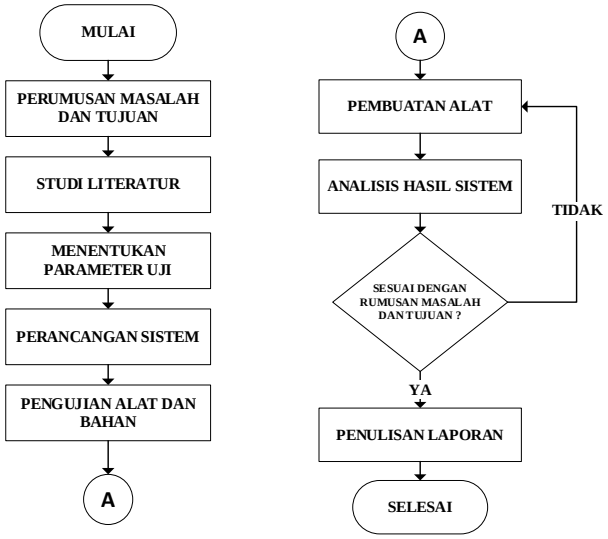
Penelitian ini mengusulkan rancang bangun perangkat digitalisasi pembacaan meteran air analog berbasis Optical Character Recognition pada perangkat edge. Sistem ini menggunakan modul ESP32-Cam untuk menangkap gambar digit angka dan jarum mekanik [6]. Gambar yang diambil langsung diolah di ESP32-Cam tanpa perlu mengirimkan gambar dulu ke cloud. Hasil pembacaan kemudian ditransmisikan melalui protokol HTTP (Webhook) menuju server lokal berbasis PHP, lengkap dengan database SQLite [7],[8],[9]. Sehingga bisa ditampilkan di dashboard web berbasis laravel [8]. Untuk memastikan keamanan transmisi lintas jaringan publik, server lokal ini dijembatani menggunakan layanan Cloudflare Tunnel [10].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang perangkat digitalisasi berbasis *Optical Character Recognition* menggunakan ESP32-CAM, mengetahui tingkat akurasi pembacaannya, dan membandingkan fitur dashboard yang dihasilkan dengan dashboard perangkat meteran IoT sejenis. Diharapkan, penerapan penelitian ini dapat mendorong terwujudnya sistem Smart Water Management yang terjangkau dan praktis bagi seluruh masyarakat.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Proses penelitian dilaksanakan melalui tahapan yang sistematis guna memastikan hasil yang terukur dan tervalidasi. Tahapan penelitian dapat dilihat di gambar dan gambar .



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

2.2. Variabel dan Parameter Uji

Variabel dan parameter uji dalam penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

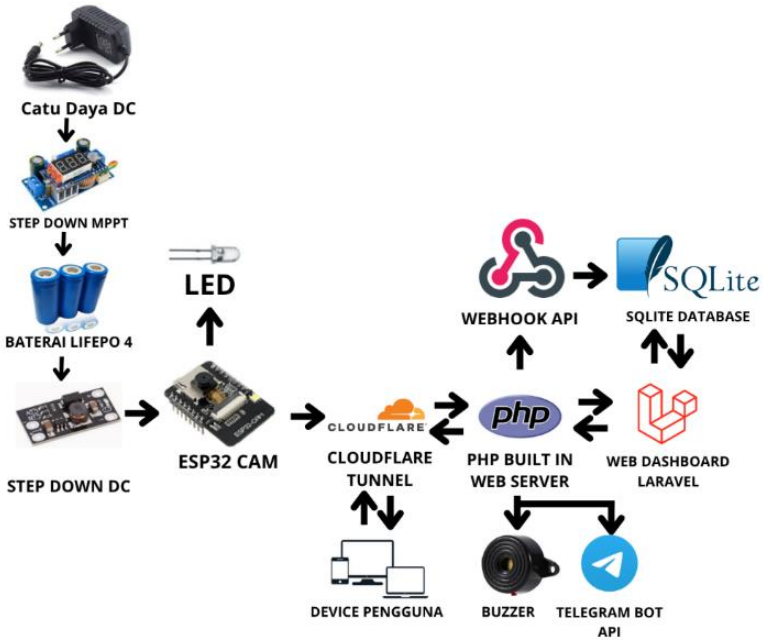
Tabel 1.Variabel penelitian

No	Variabel	Keterangan
1	Bebas	Digit meteran air analog dan angka yang ditunjuk jarum pointer
2	Terikat	Nilai digit pembacaan meteran dan gambar
3	Kontrol	Tipe meteran air analog, jarak kamera, fokus kamera, dan intensitas LED (pencahayaan)

Tabel 2. Parameter uji

No	Parameter Uji	Keterangan
1	Akurasi pembacaan	Persentase pembacaan angka meteran yang benar terhadap total sampel pengujian perangkat
2	Intensitas LED	Batas intensitas minimum yang dibutuhkan untuk sistem dapat mendeteksi digit
3	Ketahanan daya	Durasi perangkat beroperasi tanpa sumber PLN
4	Pengisian daya	Durasi pengisian daya baterai mulai dari perangkat mati sampai baterai terisi penuh
5	Step down DC	Kemampuan modul mempertahankan tegangan output saat tegangan input mengalami penurunan

2.3. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Blok diagram sistem

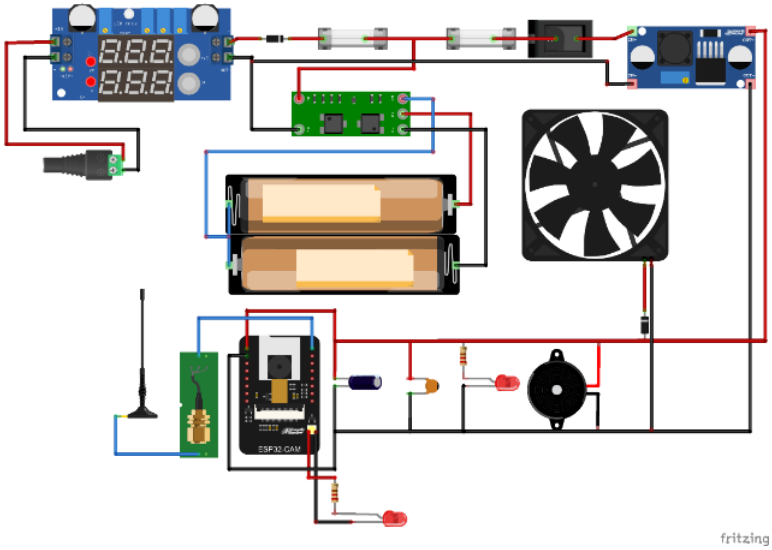
Dapat dilihat pada gambar 2, untuk daya sistem bisa menggunakan daya dari catu daya atau adaptor DC. Daya akan diregulasi oleh MPPT lalu disimpan di baterai. Kemudian tegangan baterai di turunkan di step down untuk memenuhi kebutuhan tegangan ESP32-Cam. ESP32-CAM bertindak sebagai unit pemrosesan *Optical Character Recognition* sekaligus kamera yang mengambil gambar meteran air analog, dibantu dengan pencahayaan LED. Gambar tersebut langsung diproses di dalam ESP32Cam menggunakan library dari open sorce firmware bernama AI on the Edge Devices yang dibuat oleh Jomjol di github.

Proses transmisi data keluar mikrokontroler menggunakan protokol HTTP Webhook, di mana ESP32-CAM mengirimkan *request* POST untuk data angka dan PUT untuk data gambar. Karena

server (berbasis PHP dan database SQLite) berjalan di lokal, lalu lintas data dari internet publik dijembatani menggunakan layanan tunneling Cloudflare Tunnel. Data kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pemakaian harian dan estimasi tagihan pada dashboard web laravel.

2.4. Perancangan Elektrik Perangkat

Gambar 3 merupakan desain rangkaian listrik sistem pada penelitian yang dibuat.



Gambar 3. Rangkaian elektrik

Sebelum melakukan perakitan, dilakukan identifikasi spesifikasi terhadap komponen yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komponen

No	Bahan	Spesifikasi	Fungsi
1.	DC Barrel Jack	5V / 2A	Konektor daya
2.	Step Down MPPT	5A	Regulasi Daya
3.	Dioda	1N5408/3A 1N4007/1A	Mencegah arus balik
4.	Fuse	3A / 2A	Pengaman rangkaian
5.	BMS	2S / 10A	Pengaman baterai
6.	Baterai Lifepo4	6Ah	Menyimpan daya
7.	Saklar	250V / 3A	On/off alat
8.	Step Down DC	XL4015 / 5A	Menurunkan tegangan
9.	Fan	5V / 0,2A	Pendingin komponen
10.	Resistor	220Ω	Pengaman pada LED
11.	LED	5mm/Kuning	Indikator
12.	Kapasitor Keramik	1000uF / 16V	Stabilisasi Tegangan
13.	Kapasitor elektrolit	100nF / 50V	Filter Tegangan
14.	ESP32Cam	ESP32-S	Menangkap gambar
15.	Antena	Omnidirectional	Penguat sinyal wifi
16.	LED	5mm / putih	Pencahayaan meteran
17.	Buzzer	5V	Alarm

2.5. Digitalisasi

Digitalisasi adalah suatu jenis perubahan dari teknologi mekanik dan elektronik analog menjadi teknologi digital [11]. Proses ini memungkinkan data yang sebelumnya terbatas pada pencatatan manual dapat diproses secara otomatis, disimpan dalam basis data, dan diakses kembali dengan lebih cepat.

2.6. Perangkat *Edge*

Perangkat *edge* adalah semua perangkat atau sistem *embedded* yang berisi mikroprosesor dan berada di tepi jaringan [12]. Posisi di tepi jaringan ini berarti perangkat secara topologi berada di titik terdekat dengan sumber data (*input*) seperti kamera, sehingga pemrosesan data dapat dilakukan secara lokal tanpa pengiriman ke server. Pada iystem ini perangkat *edge* yang digunakan adalah ESP32-Cam.

2.7. Optical Character Recognition

Optical Character Recognition (OCR) adalah teknologi atau algoritma pemindaian yang memanfaatkan citra visual untuk mendeteksi teks, angka, dan pola karakter [13]. Sistem ini mengekstraksi nilai dari suatu gambar agar dapat diubah menjadi bentuk data digital yang bisa diolah oleh komputer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Pengujian perangkat dilaksanakan pada instalasi pipa rumah tangga di Desa Gogorante, Kabupaten Kediri, selama 13 hari., terhitung sejak tanggal 1 Juni hingga 13 Juni 2026. Guna memperoleh sampel data pengujian yang masif dan bervariasi konsumsi air harian, sistem melakukan pengambilan gambar dan pengiriman data ke server dengan interval setiap 5 menit.

3.2. Implementasi Sistem

Pada implementasinya, perangkat dirakit ke dalam *casing* silinder yang dipasang menempel tepat di atas meteran air analog. Modul kamera difokuskan manual dan diposisikan tegak lurus mengarah ke indikator meteran air. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Perangkat Terpasang

3.3. Pengujian Komponen

Kestabilan sistem pembacaan perangkat sangat bergantung pada kualitas suplai daya ke mikrokontroler, karena ESP32Cam mampu menarik arus besar sesaat dan perangkat juga mampu beroperasi secara mandiri di luar jaringan listrik PLN meskipun dalam waktu terbatas. Oleh karena itu, dilakukan pengujian pada beberapa komponen utama daya yaitu step down DC dan baterai.

3.3.1. Pengujian Step Down DC

Tegangan baterai akan menurun seiring dengan proses pengosongan daya saat sistem beroperasi, pengujian difokuskan pada kemampuan modul dalam mempertahankan stabilitas output saat tegangan input mengalami penurunan. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan tegangan input.

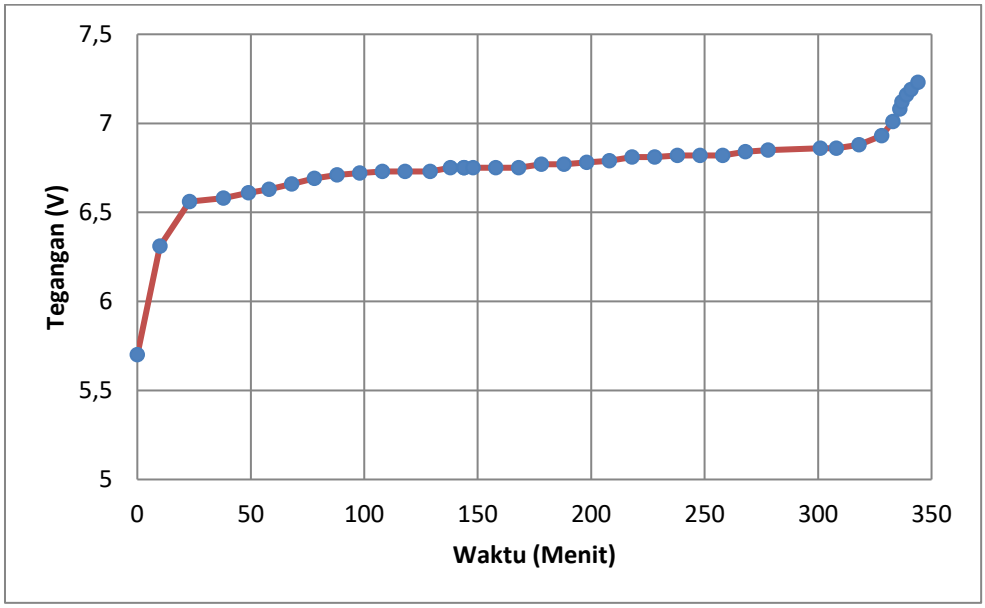
Tabel 4. Pengujian Stepdown

No	Input(V)	Output(V)	Error
1	7,23	5,02	0%
2	7,01	5,02	0%
3	6,9	5,02	0%
4	6,8	5,02	0%
5	6,7	5,02	0%
6	6,6	5,02	0%
7	6,5	5,02	0%
8	6,4	5,02	0%
9	6,3	5,02	0%
10	6,14	5,01	0,20%

Berdasarkan Tabel 4, stepdown mampu menjaga stabilitas output di angka 5,02V pada rentang input 7,23V hingga 6,30V. Penurunan output menjadi 5,01V terjadi ketika input menyentuh angka 6,14V. Penurunan ini disebabkan oleh tercapainya batas ambang hambatan internal (*dropout voltage*) pada IC LM2596 yang membutuhkan margin minimum sebesar 1,2V. Untuk menghasilkan output 5,02V, sistem wajib diberi input minimal 6,22V. Saat tegangan input merosot ke angka 6,14V, selisihnya menyempit menjadi hanya 1,12V (di bawah spesifikasi dropout), sehingga sirkuit gagal mengompensasi tegangan dan menyebabkan keluaran menurun.

3.3.2. Pengujian Charging Baterai

Pengujian charging baterai bertujuan untuk mengetahui durasi pengecasan. Pengujian dilakukan dari sistem mati atau BMS *cut-off* sampai baterai terisi penuh pada kisaran 7,2V. Pada pengujian ini perangkat tetap aktif beroperasi secara normal.



Gambar 5. Grafik pengujian charging baterai

Tabel 5. Pengujian Charging

No	Waktu (menit)	Tegangan (V)
1	0	Sistem mati
2	10	6,31
3	38	6,58

No	Waktu (menit)	Tegangan (V)
4	138	6,75
5	238	6,82
6	318	6,88
7	333	7,01
8	337	7,12
9	341	7,19
10	344	7,23

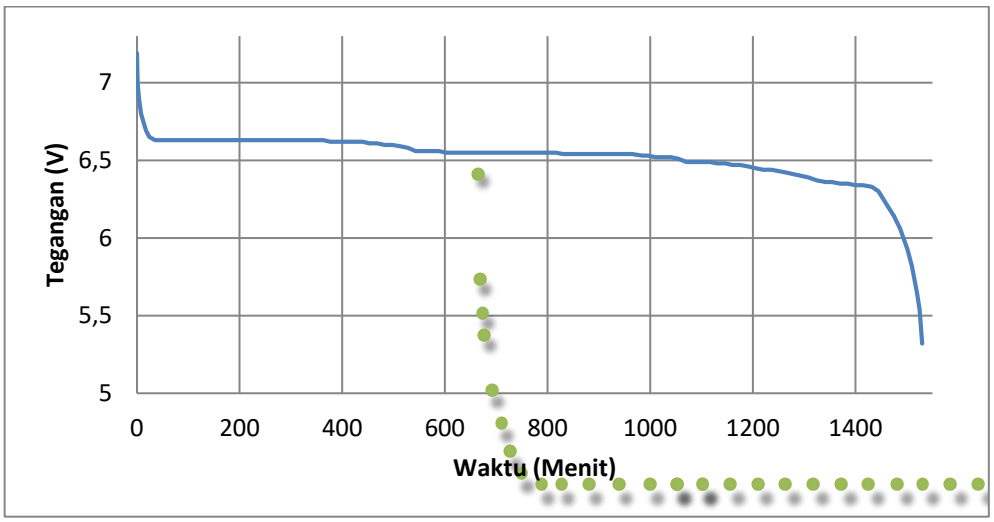
Berdasarkan Tabel 5 dan gambar 5, proses pengisian daya baterai dari kosong hingga penuh (7,23V) memakan waktu 5,7 jam. Proses ini ditandai oleh fase tegangan yang lambat naik pada rentang 6,75V–6,88V akibat karakteristik kurva pengisian datar (*flat charge plateau*) khas sel LiFePO4. Setelah melewati angka 6,88V, tegangan baterai melonjak cepat menuju 7,23V hanya dalam 11 menit, yang menandakan kapasitas baterai (SoC) telah mendekati 100%. Selain itu, penggunaan dioda silikon setelah modul MPPT terbukti efektif memotong tegangan sebesar 0,7V, sehingga batas maksimal suplai yang masuk ke sistem BMS secara aman tertahan di angka 7,3V.

3.3.3. Pengujian Discharge Baterai

Pengujian discharge baterai bertujuan untuk mengetahui durasi operasional sistem tanpa adanya suplai dari sumber daya eksternal. Pengujian dilakukan dari kondisi terisi penuh 7,2V hingga mencapai batas tegangan bawah atau BMS *cut-off*.

Tabel 6. Pengujian Discharge

No	Waktu (menit)	Tegangan (V)
1	0	7,19
2	8	6,80
3	35	6,63
4	363	6,63
5	673	6,55
6	873	6,50
7	1273	6,42
8	1453	6,13
9	1515	5,86
10	1535	Sistem mati



Gambar 6. Grafik pengujian discharge baterai

Berdasarkan Tabel 6 dan gambar 6, perangkat menunjukkan ketahanan operasional secara total selama 25,5 jam (1535 menit) dengan siklus pengosongan daya yang terbagi ke dalam tiga fase. Pada fase awal, tegangan turun dengan cepat dalam 8 menit pertama sebagai akibat dari luruhnya tegangan permukaan (*surface charge*). Setelah itu, baterai memasuki fase operasional utama yang sangat stabil (*flat discharge plateau*), di mana tegangan mampu bertahan selama 23,6 jam dengan fluktuasi penurunan yang sangat minim, yakni hanya sebesar 0,50V (dari 6,63V ke 6,13V). Memasuki fase akhir di menit ke-1535, tegangan sisa anjlok secara drastis hingga menyentuh angka 5,86V. Penurunan tajam ini secara otomatis memicu fitur cutoff pada sistem BMS untuk memutus aliran arus, sehingga sel baterai LiFePO4 aman terproteksi dari risiko kerusakan akibat pengosongan berlebih (over-discharge).

sistem mampu beroperasi tanpa sumber daya eksternal selama 25,5 jam dan hanya butuh mengisi daya selama 5,7 jam. Menghasilkan rasio efisiensi operasional sistem sebesar 4,4:1 (sistem dapat bekerja 4,4 jam untuk setiap 1 jam pengisian). Hal ini bisa terjadi karena Secara teoretis, waktu pengisian (t) dihitung menggunakan rasio antara kapasitas baterai (C) dan arus pengisian (I) seperti pada persamaan (1).

$$t = \frac{C}{I} = \frac{6}{1} = 6\ jam \qquad (1)$$

Perbedaan antara perhitungan (6 jam) dan waktu aktual (5,7 jam) disebabkan oleh sisa kapasitas energi yang masih tersimpan di dalam baterai sebelum siklus pengisian dimulai, di mana tegangan baterai tidak benar-benar 0% kapasitas absolutnya

3.4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan perangkat dapat menangkap visual dengan baik dan dapat melakukan pendeteksian digit dengan baik. Pengujian ini mencakup pengujian intensitas minimal cahaya yang dibutuhkan dan evaluasi akurasi.

3.4.1. Pengujian Intensitas Cahaya

Permukaan penampang meteran air analog dilapisi oleh material kaca yang rentan memantulkan cahaya kembali ke lensa (*glare*). Pantulan ini menghasilkan area berwarna putih yang menutupi indikator, sehingga perangkat akan mengalami kegagalan deteksi. LED yang digunakan sebagai pencahayaan adalah LED 5mm berwarna putih. Intensitas cahaya akan di variasikan mulai dari 0-100% untuk mengetahui batas intensitas minimum yang dibutuhkan untuk sistem dapat mendeteksi dengan baik.

Tabel 7. Pengujian intensitas cahaya

No	Intensitas	Gambar
1	0%	Tidak Terdeteksi
2	10%	Tidak Terdeteksi
3	20%	Terdeteksi
4	30%	Terdeteksi
5	40%	Terdeteksi
6	50%	Terdeteksi
7	60%	Terdeteksi
8	70%	Terdeteksi
9	80%	Terdeteksi
10	90%	Terdeteksi
11	100%	Terdeteksi

Berdasarkan data pada Tabel 7, saat intensitas pencahayaan berada pada rentang 0% hingga 10%, sistem belum mampu mendeteksi objek karena kondisi gambar terlalu gelap. Namun, ketika intensitas LED dinaikkan mulai dari 20% hingga batas maksimal 100%, sistem secara konsisten

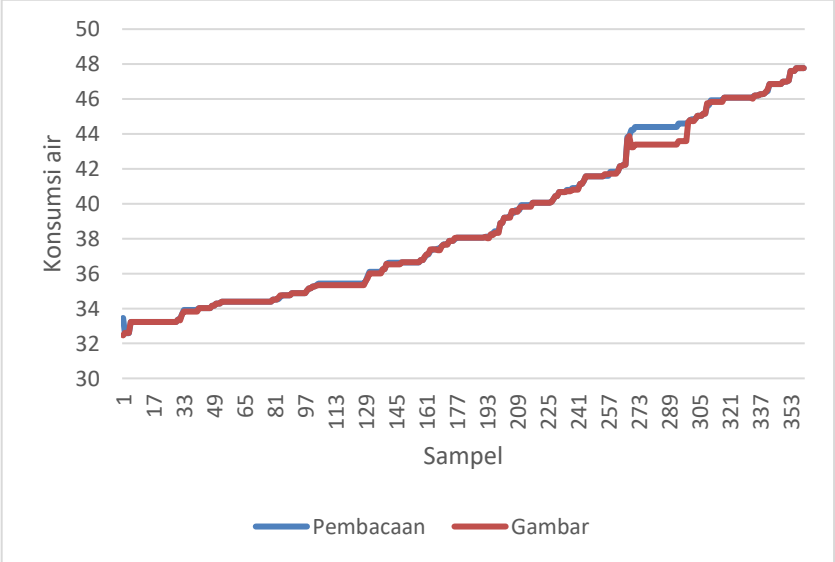
berhasil mendeteksi digit pada meteran air. Akan tetapi peneliti menetapkan nilai 100% untuk pengujian untuk menghindari menurunnya intensitas cahaya dalam casing karena cahaya eksternal dari luar casing yang menurun.

3.4.2. Pengujian Akurasi Perangkat

Pengujian akurasi sistem bertujuan untuk memvalidasi kinerja ESP32-Cam dalam menjalankan OCR. Pengujian dilakukan terhadap 360 sampel data acak dari 3585 total data. akurasi diperoleh dengan membandingkan *output* sistem terhadap pembacaan visual pada gambar asli. Pengujian dilakukan dengan intensitas cahaya 100%.

Tabel 8. Pengujian Akurasi Sistem

Sampel	Pembacaan	Gambar	Akurasi (%)
1	33,4606	32,4606	96,9193
2	32,5886	32,5986	99,9693
3	32,5886	32,5988	99,9687
4	32,5886	32,5988	99,9687
5	33,2364	33,2364	100
….	….	….	….
356	47,7661	47,7661	100
357	47,7661	47,7661	100
358	47,7661	47,7661	100
359	47,766	47,7661	99,9998
360	47,7661	47,7661	100
		Total	99,7233



Gambar 7. Grafik perbandingan pembacaan alat dan gambar sebenarnya

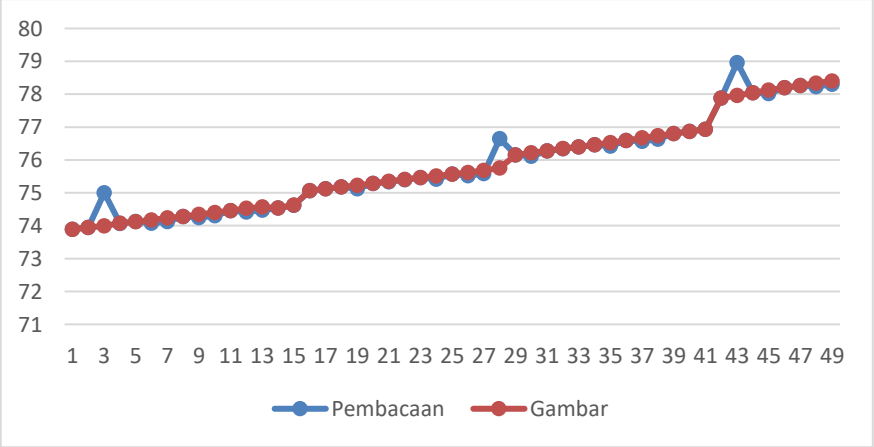
Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 8 dan gambar 7. Perangkat berhasil membaca nilai meteran dengan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 99,7233%.

Skenario pengujian kedua dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem saat kondisi air mengalir secara terus menerus atau dinamis. Pada pengujian ini, meteran air dibiarkan berputar secara konsisten, sementara perangkat memproses data setiap 5 menit. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk menguji ketangguhan perangkat dalam menerjemahkan angka yang sedang berada dalam fase transisi mekanis maupun pergerakan jarum analog yang cepat. Dengan 50

sampel, hasil dari pengujian dinamis menunjukkan akurasi yang tinggi juga dengan nilai 99,8766%. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 9 dan gambar 8.

Tabel 9. Pengujian Akurasi Sistem Dinamis

Sampel	Pembacaan	Gambar	Akurasi (%)
1	73,8941	73,8941	100
2	73,9466	73,9466	100
3	74,9992	73,9993	98,6488
4	74,0706	74,0806	99,9865
5	74,1232	74,1232	100
….	….	….	….
46	78,1946	78,1946	100
47	78,2648	78,2648	100
48	78,2288	78,3395	99,8587
49	78,3034	78,4035	99,8723
50	78,4815	78,4815	100,0000
		Total	99,8766

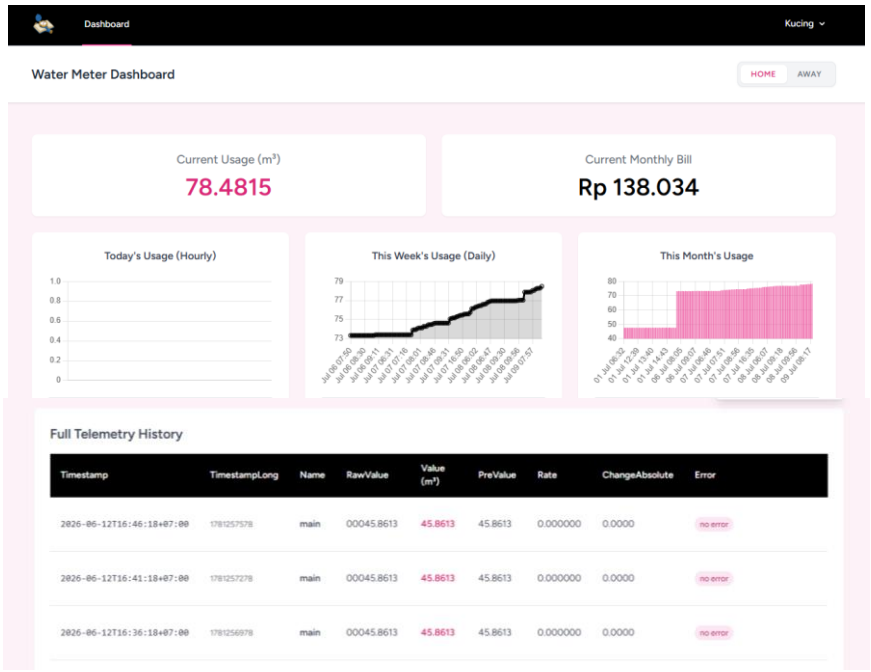


Gambar 8. Grafik perbandingan pembacaan alat dan gambar sebenarnya pada pengujian dinamis

3.5. Perbandingan Fitur Dashboard

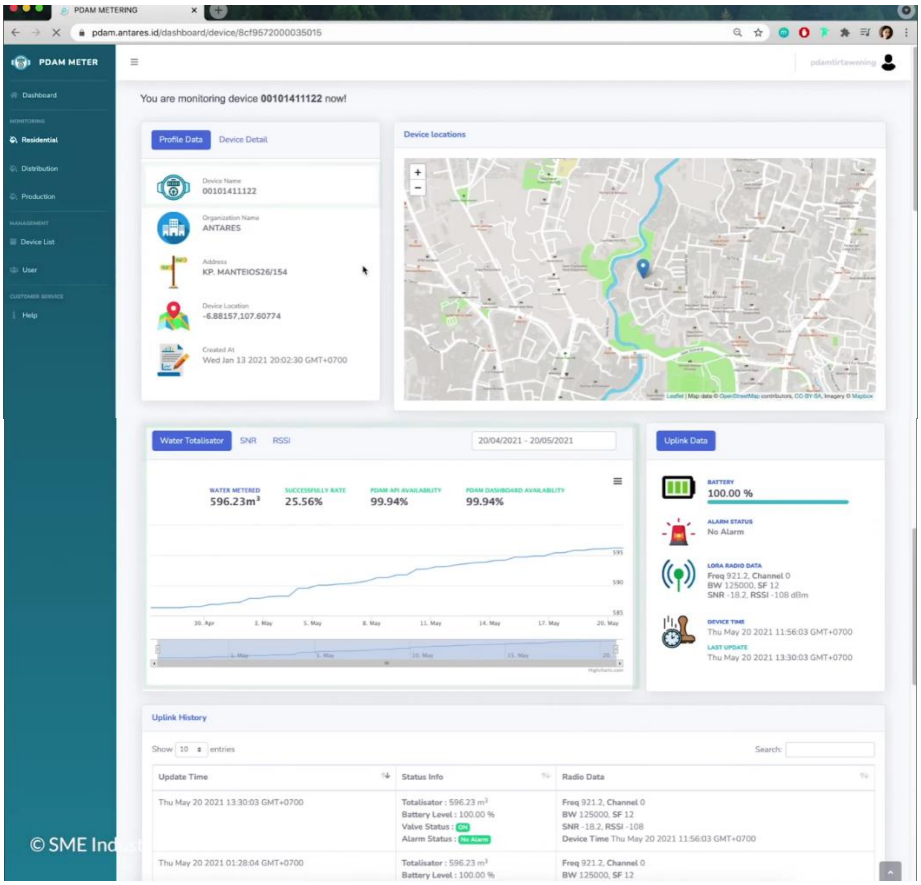
Untuk mengevaluasi fungsionalitas dari dashboard perangkat digitalisasi yang diusulkan, dilakukan komparasi dengan tiga sistem referensi. Mengingat keterbatasan akses langsung terhadap perangkat pembanding, perbandingan dilakukan melalui studi literatur dengan mengkaji fitur dashboard dari sistem tersebut. Referensi yang digunakan meliputi platform IoT komersial, yaitu Antares PDAM Metering, dan dua sistem dari literatur penelitian serupa, yaitu Sistem SWAT PAMSIMAS[14] serta Sistem IoT PDAM Tirta Garut[15].

Dashboard pada penelitian ini dibangun menggunakan framework Laravel dan dijalankan pada *server* lokal berbasis PHP. Penggunaan layanan Cloudflare Tunnel memungkinkan akses dashboard dari jaringan publik tanpa penyewaan hosting pihak ketiga. Tampilan dashboard yang memuat visualisasi grafik riwayat konsumsi air berkala, kalkulasi tagihan, foto meteran untuk bukti visual pembacaan, dan rekapitulasi data pembacaan seperti pada Gambar 9.



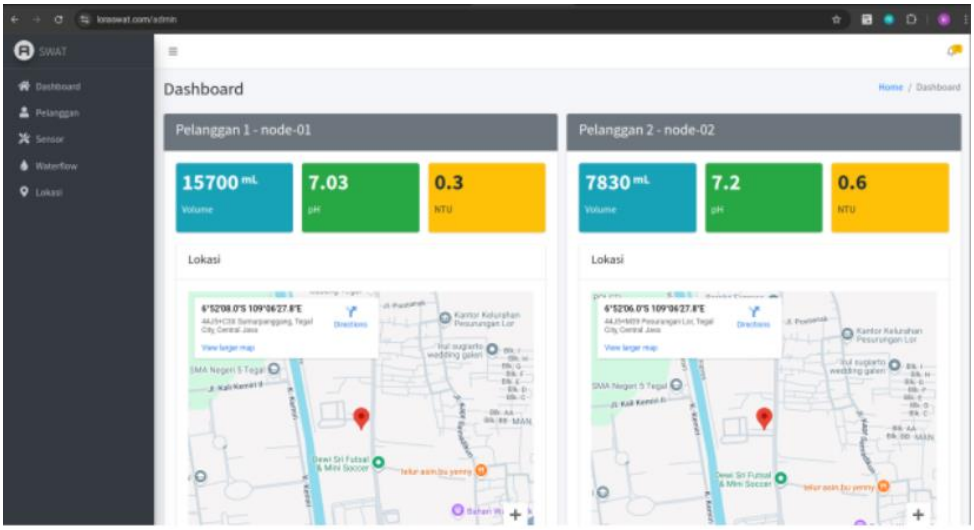
Gambar 9**.** *Dashboard* Web perangkat digitalisasi

Kedua sistem dashboard pembanding memiliki orientasi fokus yang berbeda sesuai dengan sasaran utama penggunaannya. Antares PDAM Metering dirancang sebagai platform IoT kelas enterprise yang menitikberatkan pada manajemen infrastruktur dan stabilitas transmisi jaringan berskala masif, dengan mengandalkan analitik data sinyal LoRa serta rekam jejak perangkat untuk mencegah kegagalan data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 10.



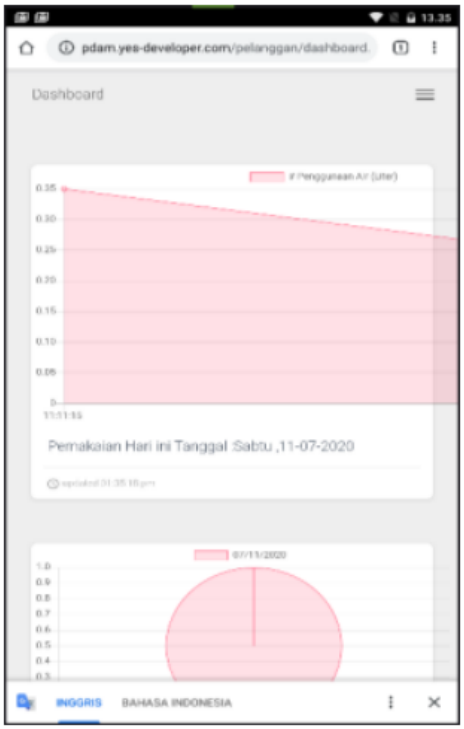
Gambar 10. *Dashboard* sistem Antares PDAM metering

Sementara itu, sistem SWAT PAMSIMAS lebih berfokus pada sisi operasional teknis dan pemantauan kualitas kelayakan air di lapangan. Sistem ini bertindak sebagai pusat kendali yang secara simultan memantau metrik lingkungan seperti tingkat keasaman (pH) dan kekeruhan air, lengkap dengan pemetaan digital dan status kontrol perangkat keras seperti pada gambar 11.



Gambar 11. *Dashboard* sistem SWAT PAMSIMAS

Berbeda dengan kedua pendekatan teknis tersebut, sistem PDAM Tirta Garut hadir dengan orientasi yang sepenuhnya berpusat pada pelayanan pelanggan. Dashboard ini dirancang khusus untuk menjembatani transparansi informasi antara perusahaan dan pengguna akhir. Melalui visualisasi interaktif berupa grafik tren pemakaian air harian hingga bulanan yang diintegrasikan langsung dengan kalkulasi nominal tagihan. Untuk gambar dashboard lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. *Dashboard* sistem PDAM Tirta Garut

4. KESIMPULAN

Perangkat digitalisasi meteran air analog berbasis ESP32Cam dan Optical Character Recognition (OCR) telah berhasil diimplementasikan dengan tingkat akurasi pembacaan mencapai 99,7233% pada pemantauan harian dan 99,8766% saat kondisi air mengalir secara terus menerus (dinamis). Tingkat ketahanan operasional perangkat ini juga dibuktikan oleh ketangguhan manajemen dayanya, menggunakan baterai LiFePO4 6Ah, sistem mampu menyala nonstop selama 25,5 jam dengan efisiensi waktu pengisian daya yang tinggi, serta dijaga oleh stabilitas modul step-down DC yang memiliki tingkat eror tegangan di bawah 0,2%. Lalu berdasarkan perbandingan dengan sistem lain, dashboard yang dikembangkan memiliki keunggulan berupa fitur validasi visual, meskipun tidak memiliki parameter teknis tambahan seperti pemantauan nilai pH dan kekeruhan air atau pemantauan lokasi perangkat menggunakan GPS layaknya sistem pembanding.

Sebagai langkah penyempurnaan untuk penelitian lanjutan, sistem ini berpotensi dikembangkan menjadi perangkat yang mandiri secara energi melalui integrasi panel surya. Selain itu, kerentanan operasional akibat tingginya ketergantungan pada stabilitas jaringan WiFi lokal dapat diatasi dengan beralih menggunakan teknologi transmisi jarak jauh berdaya rendah seperti modul LoRa.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Badan Pusat Statistik, "Jumlah pelanggan perusahaan air bersih 2023," 2026. https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzYjMg==/jumlah-pelangganperusahaan-air-bersih.html (accessed Jan. 23, 2026)

[2] F. Sa'adat and E. P. Widiyanto"Implementasi YOLOv8 Dalam Deteksi Angka Meteran Air PDAM," vol. 11, no. 3, pp. 320–334, 2024.

[3] I. Sanjaya and I. Sugiarto, "Sistem pemantauan meteran air berbasis optical character recognition," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 73-78, 2022.

[4] N. Khoirunnisa, "Detektor angka real time berbasis mikrokontroler ESP32 CAM dengan pengolahan data menggunakan algoritma YOLO," , UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2023.

[5] A. B. Ojja, "Pengembangan sistem data center data capture meteran air analog berbasis ESP32CAM," Skripsi, Universitas Negeri Makassar, Makassar, 2024.

[6] S. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian ESP32-Cam berbasis mikrokontroler ESP32," *JTEIN : Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 60-66, 2023.

[7] D. Prayama, Yuhefizar, and A. Yolanda, "Protokol HTTPS, apakah benar-benar aman?," Journal of Applied Computer Science and Technology, vol. 2, pp. 7-11, 2021.

[8] C. Christian and A. Voutama, "Rancang Bangun Aplikasi Sistem Informasi Inventaris Berbasis Website". *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, Vol 12, no. 2, pp. 1500-1509, 2024.

[9] A. Setiyadi dan T. Harihayati, "Penerapan SQLite Pada Aplikasi Pengaturan Waktu Ujian dan Presentasi," *Majalah Ilmiah UNIKOM*, vol. 13, no. 2, pp. 221-226, 2015.

[10] A. Rohman, M. Fahmi, and A. Pukeng, "Pemanfaatan set top box bekas sebagai server cloud hosting dengan aaPanel dan Cloudflare Zerotrust," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 4, pp. 92-104, 2025.

[11] T. Agustian *et al.*, "Pengaruh teknologi digital terhadap perkembangan bisnis modern," *Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 3, pp. 358-370, 2024.

[12] D. Situnayake and J. Plunkett, *AI at the Edge: Solving Real-World Problems with Embedded Machine Learning*. United States of America: O'Reilly Media, Inc., 2023.

[13]] L. Khoirani *et al.*, "Implementasi algoritma OCR (Optical Character Recognition) untuk ekstraksi informasi dari citra struk transaksi keuangan," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 6, pp. 151-160, 2024.

[14] V. Bakti, "Sistem monitoring kapasitas dan kualitas air dengan metode SWAT (Smart Water Meter) menggunakan protokol LoRa berbasis IoT," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 14, no. 1, pp. 1-9, 2025.

[15] A. Latifah, "Perancangan sistem perhitungan debit air otomatis berbasis Internet of Things pada PDAM Tirta Garut," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 4, no. 3, pp. 161-170, 2022.