

OTOMATISASI PENGUKURAN PENGUAPAN DAN PENGKONDISIAN TINGGI PERMUKAAN AIR PADA PANCI PENGUAPAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Fauzi Hasbi Saputra^{1*}, Dibyo Susanto², Anton Widodo³, Muchamad Rizqi Nugraha⁴

^{1,2,3,4} Program Sarjana Terapan Instrumentasi-MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika; Jl. Meteorologi No. 5, Tangerang, Banten

Keywords:

Evaporation measurement,
Evaporation pan water level
conditioning, IoT

Correspondent Email:

fauzihhasbi04@gmail.com

Abstrak. Pengukuran penguapan menggunakan panci penguapan kelas A secara manual sehingga rentan terhadap kesalahan paralaks. Selain itu, tinggi permukaan air pada panci harus berada dalam rentang tertentu agar data representatif dan menghindari risiko surut atau meluapnya air. Penelitian ini bertujuan merancang sistem otomatis berbasis *Internet of Things* untuk mengukur penguapan sekaligus mengondisikan tinggi permukaan air panci. Sistem ini mengintegrasikan sensor ultrasonik dan *tipping bucket*, data hasil pengukuran dapat dipantau melalui website secara *real-time*. Pengondisian air dilakukan secara otomatis menggunakan pompa untuk menambah atau mengurangi air panci agar mencapai ketinggian standar sebelum periode pengukuran harian dimulai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengkondisian air beroperasi sesuai dengan jadwal dan logika yang ditentukan. Selanjutnya, sistem yang dirancang mampu melakukan pengukuran penguapan harian secara otomatis dengan nilai *Mean Error* (ME) sebesar +0,76 mm dan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 2,06 mm.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika
dan Teknik Elektro Terapan. This
is an open-access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Manual evaporation measurements using a Class A evaporation pan are prone to human error, particularly parallax error. Furthermore, the water level in the pan must be maintained within a standard range to ensure representative measurements and prevent the risk of the water level becoming too low or overflowing. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based automated system to measure evaporation while conditioning the water level in the pan. The system integrates ultrasonic and tipping bucket sensors, with measurement data monitored in real-time via a website. Water conditioning is automated using pumps to add or decrease water from the pan to achieve the standard water level before the daily measurement period begins. Test results show that the water conditioning system operates in accordance with the specified schedule and logic. Furthermore, the designed system is capable of performing automatic daily evaporation measurements, with a Mean Error (ME) of +0.76 mm and a Mean Absolute Error (MAE) of 2.06 mm..

1. PENDAHULUAN

Penguapan yaitu proses perubahan fase air dari cair menjadi uap. Penguapan air merupakan salah satu komponen utama dalam siklus hidrologi yang menyediakan uap air untuk pembentukan awan [1]. Data penguapan

yang akurat menjadi dasar untuk melakukan estimasi evapotranspirasi yang selanjutnya dimanfaatkan dalam pemodelan hidrologi, kajian hidrometeorologi, maupun pertanian dan berbagai bidang terkait lainnya [2][3]. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mengamati penguapan menggunakan

panci penguapan kelas A. Namun, di sejumlah Unit Pelaksana Teknis (UPT) terutama pada kelas III dan IV, pengukuran penguapan masih dilakukan secara manual menggunakan *hook gauge*. Sehingga rentan terhadap kesalahan paralaks yang berdampak signifikan mengingat penguapan diukur pada resolusi milimeter. Selain itu, tinggi muka air pada panci harus berada dalam rentang tertentu agar data tetap representatif dan menghindari risiko surut atau meluapnya air.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menjawab persoalan ini. Pramudito [4] merancang pengukur evaporasi digital berbasis sensor ultrasonik URM14 yang diintegrasikan dengan tipping bucket dan sensor suhu air. Ain dkk [5] mengembangkan instrumen pengukur tinggi muka air otomatis berbasis IoT menggunakan sensor jarak inframerah, terdapat *buoy* di dalam *still well* sebagai reflektor gelombang inframerah. Mulyono [6] merancang pengendali kelebihan air pada panci penguapan yang otomatis mengurangi air saat mencapai batas atas. Sementara, Sarapang [7] merancang sistem pengisian air otomatis yang bekerja saat muka air mencapai batas bawah.

Penelitian terdahulu tersebut menunjukkan kemajuan pada aspek-aspek tertentu seperti pengukuran otomatis, pengendalian kelebihan air, atau pengisian air. Namun belum ada yang mengintegrasikan pengukuran penguapan otomatis dan pengkondisian yang dapat melakukan penambahan dan pengurangan ketinggian air ke dalam satu sistem yang utuh. Kesenjangan inilah yang mendasari penelitian untuk merancang sistem yang dapat melakukan pengukuran penguapan harian secara otomatis berbasis IoT. Dilengkapi dengan mekanisme otomatis untuk mengkondisikan tinggi permukaan air panci pada rentang standar. Serta mengevaluasi akurasi hasil pengukuran oleh sistem yang dirancang terhadap alat operasional digital BMKG.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penguapan

Evaporasi atau penguapan adalah proses berubahnya air menjadi uap air. Disebut dengan penguapan jika proses perpindahan air ke atmosfer berasal dari perairan terbuka maupun

permukaan tanah yang tidak tertutup vegetasi tumbuhan [2]. Proses penguapan di alam terbuka terjadi secara laten pada suhu yang lebih rendah dari titik didih air [8]. Penguapan terjadi ketika molekul-molekul air permukaan memperoleh cukup energi untuk lepas dari intermolekul dan berpindah ke atmosfer [9]. Nilai penguapan dalam periode waktu tertentu diperoleh dari persamaan 1 [8].

$$Ev = (TPA_0 - TPA_1) + CH \quad (1)$$

Keterangan :

Ev : penguapan (mm)
 TPA_0 : Tinggi permukaan air awal (mm)
 TPA_1 : Tinggi permukaan air akhir (mm)
 CH : Curah hujan (mm)

2.2. Tinggi Permukaan Air

Tinggi permukaan air (TPA) adalah jarak ketinggian air yang diukur dari dasar panci penguapan hingga permukaan air. Menurut peraturan BMKG, tinggi permukaan air pada panci penguapan perlu dikondisikan pada ± 50 mm dari bibir panci sebelum proses pengamatan dimulai [8]. Ketentuan ini sejalan dengan SNI 2821:2011 tentang "Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi Potensial dengan Panci Penguapan Tipe A" yang menetapkan rentang tinggi permukaan air 50–75 mm dari bibir panci penguapan [10].

2.3. Curah Hujan

Hujan adalah fenomena jatuhnya air dari atmosfer ke permukaan yang merupakan salah satu bentuk dari presipitasi [2]. Curah hujan adalah tinggi air dalam satuan milimeter (mm) yang turun dalam periode waktu tertentu pada permukaan datar apabila tidak terjadi penghilangan [8]. Curah hujan digunakan salah satunya untuk parameter tambahan dalam pengukuran penguapan air menggunakan panci penguapan.

2.4. Internet of Things

Internet of Things adalah kumpulan objek yang saling berkomunikasi dan terintegrasi melalui jaringan internet [11]. Konsep ini memungkinkan perangkat sensor di lapangan terhubung ke jaringan internet, sehingga data dapat dikirim dan dipantau secara *real-time* [12]. Arsitektur dasar Internet of Things dikenal

dengan *Three Layer Architecture*, namun dalam penerapan lebih lanjut jumlah lapisan dapat ditambah untuk mendukung kebutuhan yang lebih kompleks. Arsitektur Tiga Lapis terdiri dari lapisan persepsi, lapisan jaringan dan lapisan aplikasi [13].

2.5. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sensor untuk mengukur jarak suatu objek menggunakan pancaran gelombang ultrasonik. Sensor ini dapat mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara dan sebaliknya [14]. Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke arah objek dan menerima kembali gelombang pantulannya. Lama waktu setelah gelombang dipancarkan hingga diterima kembali atau *time of flight* akan digunakan untuk perhitungan jarak suatu objek [15]. Jarak objek diperoleh dari kecepatan suara dikali setengah *time of flight* [16]. Rancangan sistem ini menggunakan sensor ultrasonik US-100 dengan frekuensi gelombang ultrasonik 40 KHz. Untuk mengukur tinggi permukaan air menggunakan sensor ultrasonik digunakan persamaan 2 [17].

$$TPA = H - S \quad (2)$$

Keterangan :

TPA : Tinggi Permukaan Air (mm)
H : Jarak sensor ke dasar panci (mm)
S : Jarak sensor ke permukaan air (mm)

2.6. Tipping Bucket

Penakar Hujan tipping bucket adalah alat otomatis untuk mengukur curah hujan dengan mekanisme berjungkit pada ember ganda [18]. Mekanisme kerjanya dengan mengarahkan tetesan air hujan melalui corong ke pada salah satu ember jungkit hingga terisi penuh, yang kemudian akan menjungkit turun dan saling bergantian pada kedua sisinya. Setiap jungkitan (*tip*) akan mengubah posisi magnet yang terpasang dibawah ember, sehingga sensor hall effect akan mendeteksi medan magnet tersebut sebagai curah hujan [19]. Curah hujan dalam periode waktu tertentu diperoleh dari persamaan 3.

$$CH = n \times r \quad (3)$$

Keterangan :

CH : Curah hujan (mm)
n : Banyak jungkitan (Tip)
r : Resolusi (mm/Tip)

2.7. Mikrokontroler

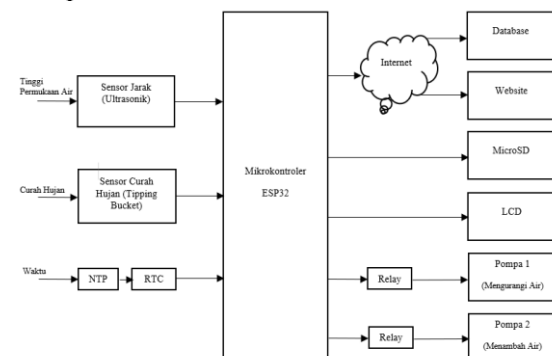
Mikrokontroler melakukan pekerjaan spesifik sesuai program yang ditanamkan menggunakan bahasa pemrograman tertentu [20]. ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis SoC (*System on Chip*) dengan prosesor 32-bit dual core. Modul ini dilengkapi dengan memori flash 4MB, serta mendukung komunikasi nirkabel wifi dan bluetooth. Mendukung berbagai *interface* seperti SPI, I2C, UART, dan PWM untuk mengkonfigurasi berbagai perangkat eksternal, sensor, maupun aktuator dengan ESP32 melalui pin *input/output* yang dimiliki [21].

2.8. Panci Penguapan Kelas A

Panci penguapan kelas A merupakan wadah terbuka berstandar internasional untuk menampung air yang digunakan dalam mengukur penguapan. Panci dipasang pada area terbuka tanpa penghalang dan dengan tanah berumput pendek, dimana panci tersebut diletakkan diatas pondasi agar dibawahnya memiliki rongga untuk sirkulasi udara. Panci ini berbentuk bundar terbuat dari besi, dengan diameter 120,7 cm dan tinggi 25 cm [8].

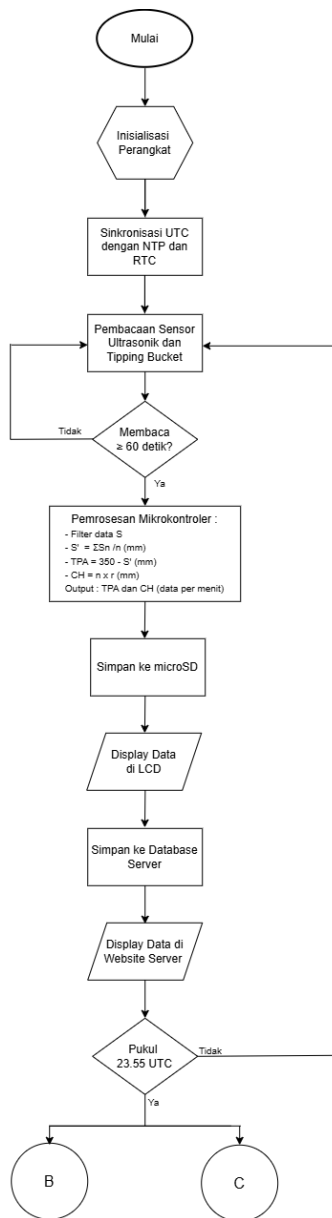
3. METODE PENELITIAN

Sistem yang akan dirancang pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi, ditunjukkan pada gambar 1. Mikrokontroler berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat yang mengkoordinasi seluruh komponen dalam sistem.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Tinggi permukaan air pada panci penguapan diukur menggunakan sensor jarak ultrasonik dan curah hujan diukur menggunakan tipping bucket. Data hasil pengukuran secara lokal disimpan pada kartu *microSD* dan ditampilkan pada LCD. Selain itu juga disimpan ke *database* server dan ditampilkan ke website server melalui jaringan internet. Proses pengkondisian air dilakukan dengan pompa DC yang dikendalikan mikrokontroler melalui relay. Pompa 1 berfungsi untuk mengurangi air, sedangkan pompa 2 memiliki fungsi untuk menambahkan air pada panci penguapan.

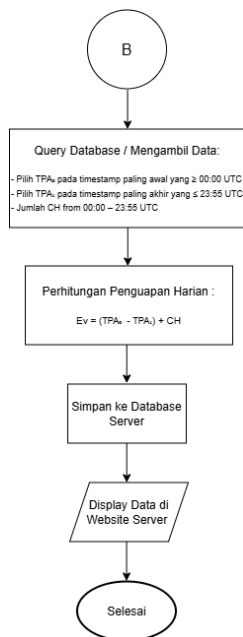


Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Diagram alir adalah sebuah diagram yang menunjukkan alur kerja dari sistem yang dirancang. Diagram alir sistem pada gambar 2 terdiri dari beberapa tahapan kerja yang terdiri dari sebagai berikut.

1. Inisialisasi seluruh perangkat.
2. Sinkronisasi waktu UTC (*Coordinated Universal Time*) menggunakan NTP (*Network Time Protocol*) dengan mengakses server waktu internet dan RTC (*Real Time Clock*).
3. Pembacaan sensor ultrasonik dan tipping bucket selama 1 menit.
4. Data dari sensor tersebut selanjutnya diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang terdiri dari :
 - a. Filter data jarak (S) output sensor ultrasonik dengan tahap; tentukan median data S, filter data outlier yang memiliki nilai simpangan > 3,2 mm dari median.
 - b. Menghitung nilai rata-rata jarak permukaan air (S') selama satu menit, dimana Sn merupakan pembacaan sensor ke-n.
 - c. Mengkonversi menjadi Tinggi Permukaan Air (TPA), dimana 350 mm merupakan tinggi pemasangan sensor dari dasar panci.
 - d. Menghitung akumulasi Curah Hujan (CH), dimana n adalah jumlah tip selama satu menit, dan r merupakan resolusi.
5. Menyimpan data setiap menit untuk tinggi permukaan air dan akumulasi curah hujan pada *microSD*.
6. Menampilkan data permenit tersebut pada LCD.
7. Selanjutnya, data tersebut dikirim dan disimpan ke database server.
8. Menampilkan data permenit pada website server secara *real-time* agar dapat diakses oleh pengguna dari jarak jauh.

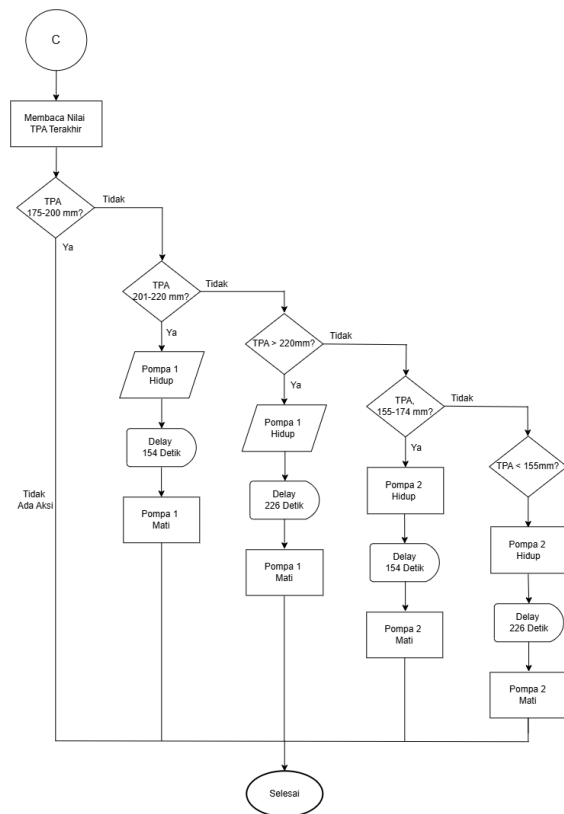
Proses ini akan berlangsung secara terus-menerus dari pukul 00:00 - 23:55 UTC. Jika sudah pukul 23.55 UTC maka akan dilanjutkan ke diagram alir bagian proses B untuk mendapatkan nilai penguapan harian dan bagian proses C untuk melakukan pengkondisian tinggi permukaan air.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Bagian B

Diagram alir untuk mendapatkan nilai penguapan harian ditunjukkan pada gambar 3 proses ini dieksekusi secara otomatis di server pada pukul 23.55 UTC setiap hari yang terdiri dari yaitu

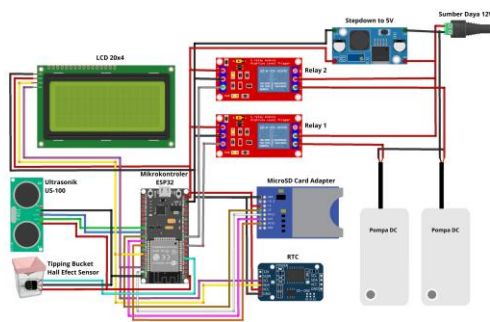
1. Pada tahap *query* database, sistem melakukan operasi pengambilan tiga data yaitu,
 - a. Nilai TPA awal, yaitu data dengan timestamp pada 00.00 UTC atau setelahnya dengan jarak waktu paling minimum.
 - b. Nilai TPA akhir, data pada 23:55 UTC atau sebelumnya yang paling mendekati.
 - c. Data curah hujan harian atau data pada pukul 23.55 UTC atau yang paling mendekati dengan waktu tersebut.
2. Setelah mendapatkan ketiga data tersebut, sistem melanjutkan ke tahap perhitungan penguapan harian sesuai persamaan rumus.
3. Hasil perhitungan penguapan harian kemudian disimpan kembali ke database server.
4. Sistem memperbarui tampilan website server untuk menampilkan nilai penguapan harian.
5. Tahapan selesai.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem Bagian C

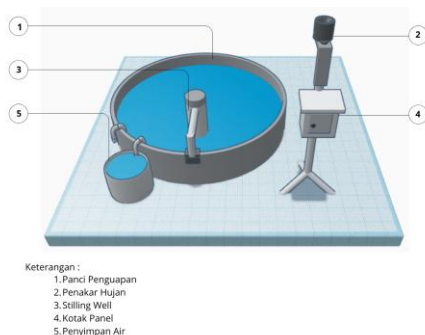
Setelah masuk pukul 23.55 UTC maka proses kerja bagian C dimulai. Pertama, sistem akan membaca nilai TPA terakhir sebagai dasar pengambilan keputusan sistem. Sistem pengkondisian memisahkan ketinggian permukaan air menjadi lima ambang batas untuk pengambilan keputusan, yaitu

1. 175 – 200 mm, merupakan tinggi permukaan air yang ideal, sehingga pompa 1 dan 2 mati dalam ketinggian ini.
2. 201 – 220 mm, pada kondisi ini pompa 1 akan hidup selama 154 detik untuk mengurangi air pada panci hingga ketinggian air akan mencapai kondisi ideal.
3. > 220 mm, kondisi ini menunjukkan ketinggian air yang sangat tinggi sehingga pompa 1 akan beroperasi dengan durasi lebih lama yaitu 226 detik.
4. 155 – 174 mm, pompa 2 yang memiliki fungsi menambahkan air beroperasi selama 154 detik.
5. < 155 mm, pompa 2 akan hidup selama 226 detik untuk menambahkan air pada panci

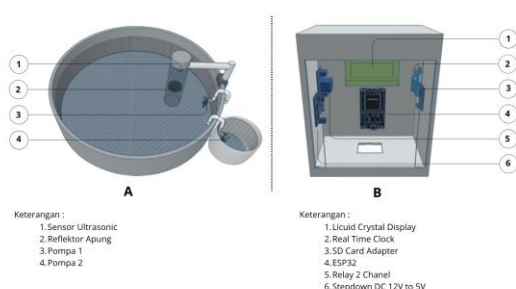


Gambar 5. Diagram Wiring Antar Komponen

Diagram wiring menyajikan konfigurasi koneksi kabel antara komponen, dapat dilihat pada gambar 5. Sumber daya untuk mengoperasikan seluruh sistem ini berasal dari listrik AC jaringan distribusi yang dikonversi oleh adaptor menjadi tegangan 12V DC. Tegangan 12V DC tersebut digunakan untuk menyuplai daya pompa, sekaligus diturunkan tegangannya ke 5V DC menggunakan modul *stepdown* guna menyuplai daya utama bagi mikrokontroler ESP32 serta komponen elektronik lainnya.



Gambar 6. Desain Mekanik Keseluruhan Alat



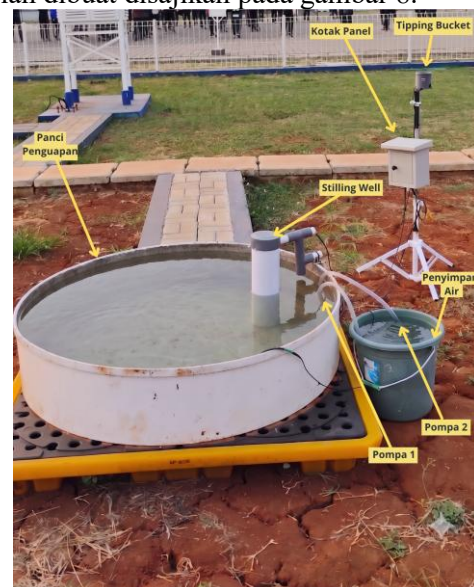
Gambar 7. Desain Mekanik Pada Panci dan Kotak Panel

Gambar 6 menyajikan desain mekanik keseluruhan alat. Pada panci penguapan Class A terdapat still well untuk meredam gangguan gelombang air sehingga sensor ultrasonik yang ada didalamnya mendapat pembacaan yang stabil. Penakar hujan tipping bucket ditempatkan setinggi 120 cm pada tiang yang sama dengan kotak panel. Gambar 7A memperlihatkan desain mekanik bagian panci penguapan, di dalam *stilling well* yang terdapat sensor ultrasonik dan reflektor apung. Sensor ultrasonik dipasang pada ketinggian sekitar 350 mm dari dasar panci penguapan kelas A. Reflektor apung yang memiliki sifat yang solid dan datar berfungsi sebagai bidang pantul gelombang ultrasonik. Selain itu terdapat dua buah pompa untuk mengurangi air pada panci dan menambahkan air panci yang sumber airnya berasal dari penyimpanan air. Gambar 7B menunjukkan desain mekanik bagian dalam kotak panel, yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, 2 channel relay, LCD 20x4, *microSD Card adapter*, RTC dan *Stepdown* DC to 5V.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

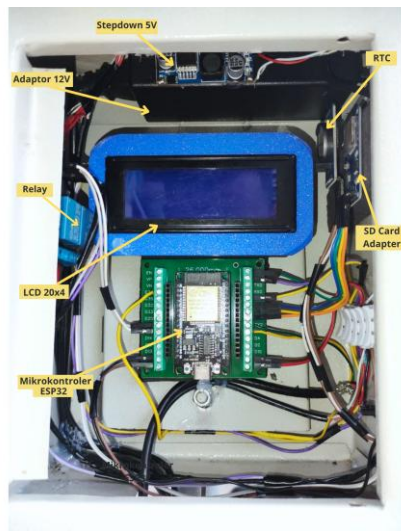
4.1. Implementasi Sistem

Implementasi keseluruhan fisik sistem yang telah dibuat disajikan pada gambar 8.



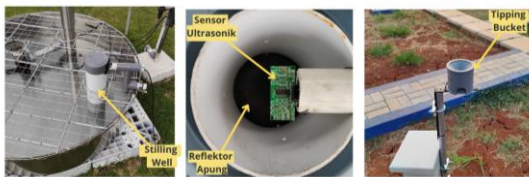
Gambar 8. Implementasi Keseluruhan Sistem

Implementasi rangkaian antar komponen yang telah dibuat ditampilkan pada gambar 9.



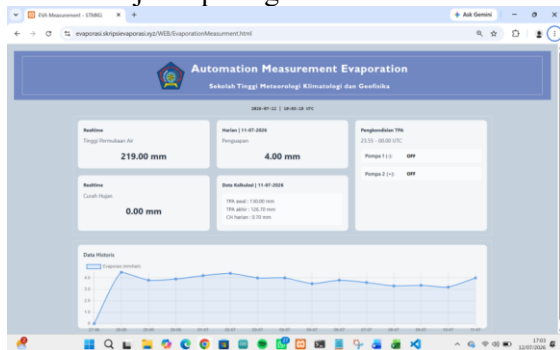
Gambar 9. Implementasi Rangkaian Komponen

Implementasi peletakan sensor ultrasonik dan tipping bucket ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Implementasi Penempatan Sensor

Implementasi tampilan website yang telah dibuat disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Implementasi Website

4.2. Pengujian Sistem

4.2.1. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dengan mengkomparasikan hasil pengukuran jarak oleh sensor ultrasonik (Unit Under Test)

terhadap mistar sebagai standar (Standard). Pengukuran dilakukan pada 5 setpoint jarak acuan tetap yaitu 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm. Proses pengujian dimulai dari setpoint 100 mm berurutan hingga 300 mm, proses tersebut diulangi sebanyak 6 kali.

Tabel 1. Data Pengujian Sensor Ultrasonik

STD	UUT	Error	STD	UUT	Error
mm	mm	mm	mm	mm	mm
100	99	-1	200	201	1
100	99	-1	200	201	1
100	101	1	200	201	1
100	104	4	250	257	7
100	104	4	250	253	3
100	100	0	250	253	3
150	159	9	250	253	3
150	154	4	250	251	1
150	155	5	250	253	3
150	154	4	300	295	-5
150	155	5	300	296	-4
150	154	4	300	296	-4
200	201	1	300	296	-4
200	201	1	300	295	-5
200	201	1	300	295	-5

Hasil analisis statistik pada tabel 1 menunjukkan nilai mean error sebesar +1,23 mm, artinya rata-rata hasil pengukuran sensor ultrasonik cenderung melebihi jarak sebenarnya. Sedangkan untuk Mean absolute error berada pada nilai 3,17 mm yang menunjukkan simpangan rata-rata terhadap standar. Walaupun sensor cenderung *overestimate*, tetapi adjustment tidak dilakukan karena hasil pengukuran oleh sensor yang tidak cukup konsisten. Sehingga hasil dari pengujian ini hanya digunakan sebagai filter dalam proses konversi jarak terukur ke nilai TPA, sesuai gambar 2.

4.2.2. Pengujian Tipping Bucket

Pengujian *tipping bucket* dilakukan dengan menggunakan gelas ukur sebagai volume acuan atau *standard*. Sebanyak 3 setpoint digunakan yaitu 50, 75, 100 mL, yang masing-masing dilakukan pengulangan 5 kali. Proses pengujian diawali dengan menakar volume air sesuai setpoint yang ditentukan, selanjutnya air yang

sudah tertakar dimasukkan kedalam botol yang tutupnya sudah dilubangi kecil. Air yang ada didalam botol diteteskan perlahan hingga habis kedalam tipping bucket. Perlu diketahui bahwa berdasarkan spesifikasi tipping bucket memiliki resolusi 0,35 mm dan jari-jari penampang 3,6 cm. Persamaan 4 digunakan untuk mengkonversi STD dari satuan mL ke Tip.

$$n = \frac{V}{A \times r} \times 10 \quad (4)$$

Keterangan :

r : Resolusi tipping bucket (*mm/Tip*)

V : Volume air pengujian (mL)

n : Jumlah jungkitan (Tip)

A : Luas penampang (cm^2)

Tabel 2. Data Pengujian Tipping Bucket

STD		UUT		Error	
mL	Tip	mL	Tip	mL	Tip
50	35,1	52,69	37	2,69	1,9
	35,1	51,27	36	1,27	0,9
	35,1	51,27	36	1,27	0,9
	35,1	51,27	36	1,27	0,9
	35,1	52,69	37	2,69	1,9
75	52,7	76,9	54	1,9	1,3
	52,7	81,18	57	6,18	4,3
	52,7	79,75	56	4,75	3,3
	52,7	76,9	54	1,9	1,3
	52,7	79,75	56	4,75	3,3
100	70,2	105,39	74	5,39	3,8
	70,2	106,81	75	6,81	4,8
	70,2	105,39	74	5,39	3,8
	70,2	103,96	73	3,96	2,8
	70,2	105,39	74	5,39	3,8

Hasil analisis statistik dari pengujian diperoleh nilai ME dan MAE dengan nilai yang sama yaitu 3,7 mL dan 2,6 Tip. Nilai UUT konsisten mengukur lebih besar dari *standard*. Sehingga memungkinkan untuk dilakukan *adjustment* dengan menentukan ulang nilai resolusi tipping bucket yang sebenarnya, berdasarkan data pengujian.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Resolusi

Setpoint	Rata-rata	Resolusi	Resolusi rata-rata
mL	Tip	<i>mm/Tip</i>	<i>mm/Tip</i>
50	36,4	0,337	0,33
75	55,4	0,333	
100	74	0,332	

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai resolusi *tipping bucket* yaitu 0,33 mm/Tip. Nilai resolusi ini akan digunakan dalam operasional pengukuran oleh sistem yang dirancang.

4.2.3. Pengujian Sistem Pengkondisian Tinggi Permukaan Air

Pengujian sistem pengkondisian tinggi permukaan air dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) ketinggian air yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan pada pukul 23.55 UTC dengan 5 hari yang berbeda.

Tabel 4. Acuan Sistem Pengkondisian

Threshold TPA (mm)	Pompa 1		Pompa 2	
	Status	Durasi (s)	Status	Durasi (s)
201 - 220	Hidup	154	Mati	-
> 220	Hidup	226	Mati	-
175 - 200	Mati	-	Mati	-
155 - 174	Mati	-	Hidup	154
<155	Mati	-	Hidup	226

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Pengkondisian

Tanggal	TPA (mm)	Pompa 1		Pompa 2	
		Status	Durasi (s)	Status	Durasi (s)
13/06/2026	216	Hidup	154	Mati	-
14/06/2026	225,2	Hidup	226	Mati	-
15/06/2026	163	Mati	-	Hidup	154
16/06/2026	67	Mati	-	Hidup	226
17/06/2026	191	Mati	-	Mati	-

Tabel 4 merupakan acuan logika kendali sistem pengkondisian air yang benar sesuai

dengan ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian yang disajikan pada tabel 5, menunjukkan bahwa sistem pengkondisian air dapat berjalan dengan persentase kesesuaian 100% terhadap acuan yang ditentukan. Seluruh proses pengurangan atau penambahan air berlangsung sesuai dengan jadwal dan durasi operasi. Sehingga sistem mampu melakukan pengkondisian tinggi permukaan air pada panci penguapan secara otomatis untuk mencapai rentang ketinggian air standar (175 – 200 mm), sebelum dimulainya periode pengukuran penguapan harian.

4.2.4. Pengujian Lapangan Sistem

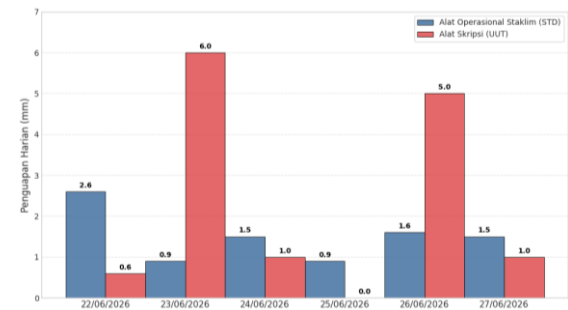
Pengujian lapangan sistem memiliki tujuan utama untuk mengevaluasi dan mengetahui akurasi pengukuran dari setiap parameter yang diukur oleh sistem yang telah dirancang. Proses pengujian dilakukan melalui metode komparasi terhadap seluruh parameter yang diukur oleh sistem yaitu nilai penguapan harian, tinggi permukaan air, dan curah hujan.



Gambar 12. Pengujian Lapangan Sistem

Stasiun Klimatologi Banten dipilih menjadi lokasi pengujian lapangan pada penelitian ini, dikarenakan telah menggunakan *Automatic Weather Station Digital*. Terutama dalam proses pengamatan penguapan menggunakan sensor otomatis untuk mengukur parameter ketinggian air panci dan curah hujan. Keberadaan alat operasional digital tersebut memungkinkan komparasi dapat dilakukan secara lebih proporsional. Pengujian lapangan dilakukan pada 22 juni – 27 juni 2026 berturut-turut selama 24 jam. Alat yang dirancang atau

UUT (*Unit Under Test*) dipasang pada panci penguapan kelas A, berdampingan dengan alat operasional Stasiun Klimatologi Banten yang berfungsi sebagai STD (*Standard*).



Gambar 13. Perbandingan Penguapan Harian

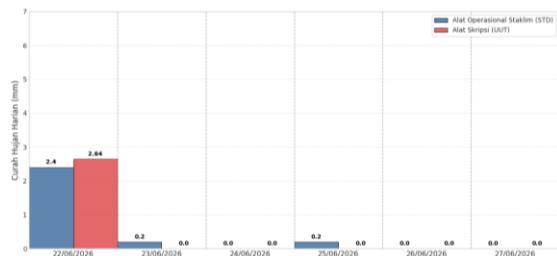
Gambar 13 yang menyajikan hasil komparasi pengukuran nilai penguapan harian antara alat rancangan (UUT) dengan alat operasional standar (STD). Secara keseluruhan, sistem yang dirancang mampu beroperasi dalam mengukur penguapan harian secara otomatis. Hasil analisis statistik memperoleh nilai *Mean Error* (ME) sebesar +0,76 mm dan *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 2,06 mm. Terdapat perbedaan nilai penguapan yang signifikan pada tanggal 23 dan 26 Juni, merupakan penyebab utama besarnya nilai MAE. Untuk memahami lebih lanjut maka diperlukan untuk mengetahui hasil pengujian parameter tinggi permukaan air dan curah hujan yang merupakan parameter dasar dalam mendapatkan nilai penguapan harian.



Gambar 14. Perbandingan Tinggi Permukaan Air

Gambar 14 menyajikan hasil komparasi nilai pengukuran tinggi permukaan air setiap menit antara sistem yang dirancang (UUT) dengan alat operasional standar (STD). Diperoleh hasil analisis statistik menunjukkan nilai *Mean Error* (ME) sebesar -1,7 mm. Nilai ME yang negatif ini mengindikasikan bahwa UUT memiliki kecenderungan memberikan hasil pengukuran

yang lebih rendah dibandingkan dengan STD, namun tidak konsisten. Nilai *Mean Absolute Error* (MAE) yang diperoleh adalah sebesar 3,25 mm, yang menunjukkan simpangan rata-rata pengukuran UUT terhadap STD.



Gambar 15. Perbandingan Curah Hujan Harian

Gambar 15 menunjukkan hasil komparasi pengukuran curah hujan antara penakar hujan *tipping bucket* rancangan (UUT) dengan alat operasional (STD) dalam rentang 6 hari yaitu 22 - 27 Juni 2026. Secara keseluruhan, sistem yang dirancang memiliki akurasi yang baik dalam mengukur curah hujan. Hal tersebut didasarkan oleh nilai *Mean Error* (ME) yang senilai -0,027 mm dan *Mean Absolute Error* (MAE) dengan nilai 0,107 mm. Namun keterbatasan alat yang dirancang terlihat pada tanggal 23 dan 25 Juni, dimana STD mengukur curah hujan sangat ringan sebesar 0,2 mm sedangkan UUT mencatatkan nilai 0 mm. Secara teknis, perbedaan ini disebabkan oleh resolusi penakar hujan *tipping bucket* yang dirancang adalah 0,33 mm sedangkan alat standar memiliki resolusi 0,2 mm. Sehingga volume air hujan yang masuk belum mencapai ambang batas minimum untuk menjungkitkan *bucket* atau ember.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian terhadap sistem diperoleh beberapa kesimpulan berikut.

1. Sistem pengukuran penguapan berbasis Internet of Things yang mengintegrasikan sensor ultrasonik untuk mengukur tinggi permukaan air panci dan tipping bucket untuk mengukur curah hujan berhasil diimplementasikan. Data pengukuran disimpan pada database, serta dapat dipantau melalui website secara real-time. Melalui integrasi tersebut, sistem dapat melakukan

pengukuran penguapan harian secara otomatis.

2. Sistem pengkondisian tinggi permukaan air pada panci penguapan diproses berdasarkan lima rentang ambang batas untuk menentukan hidup atau mati dan durasi operasi pompa secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan persentase kesesuaian 100% terhadap jadwal dan logika kendali yang dirancang. Sehingga rentang ketinggian air yang standar dapat dipenuhi sebelum pengukuran penguapan dimulai.
3. Pengujian lapangan dilakukan dengan mengomparasikan sistem yang dirancang terhadap alat operasional di Stasiun Klimatologi Banten. Dari perbandingan hasil pengukuran penguapan harian, diperoleh nilai Mean Error (ME) sebesar +0,76 mm dan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 2,06 mm.

Saran yang dapat diberikan oleh peneliti untuk pengembangan lebih lanjut, sebagai berikut.

1. Mempertimbangkan untuk menggunakan sensor ultrasonik dengan frekuensi operasi yang lebih tinggi daripada sensor US-100 (40 kHz) untuk meningkatkan akurasi.
2. Mengevaluasi desain *stilling well* agar lebih tahan terhadap kondisi lingkungan.
3. Menambahkan catu daya panel surya sehingga sistem dapat beroperasi secara mandiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta kontribusi selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Dey, A. Aldama Campino, dan K. Döös, "A complete view of the atmospheric hydrologic cycle," *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, vol. 25, no. December, hal. 1–16, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5194/hess-2021-509>
- [2] WMO, *Guide to Instruments and Methods of*

- Observation*, vol. I, no. 8. 2023.
- [3] T. Wati, A. Sopaheluwakan, dan Fatkhuroyan, "Comparison pan evaporation data with global land-surface evaporation GLEAM in Java and Bali Island Indonesia," *Indones. J. Geogr.*, vol. 50, no. 1, hal. 87–96, 2018, doi: 10.22146/ijg.30926.
 - [4] R. L. Pramudito, "RANCANG BANGUN PENGUKUR EVAPORASI DIGITAL MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK URM14 PADA PANCI EVAPORIMETER," *Skripsi*, 2025.
 - [5] K. Ain, A. Rahmatillah, dan V. R. Seran, "Design of automatic water level measuring instrument IoT based on open pan evaporimeter," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2314, no. December, 2020, doi: 10.1063/5.0034950.
 - [6] J. Mulyono, *RANCANG BANGUN PENGENDALI KELEBIHAN AIR PADA PANCI PENGUPAN BERBASIS TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IoT)*. 2025.
 - [7] Y. Sarapang, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN LEVEL AIR OTOMATIS PADA PANCI PENGUPAN BERBASIS ARDUINO UNO," *Skripsi*, 2025.
 - [8] BMKG, *PENGAMATAN DAN PENGELOLAAN DATA IKLIM DI LINGKUNGAN BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA*. PERATURAN KEPALA BMKG NO 4, 2016.
 - [9] T. Kumagai, "Transpiration in Forest Ecosystems," in *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*, D. F. Levia, D. Carlyle-Moses, dan T. Tanaka, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, hal. 389–406. doi: 10.1007/978-94-007-1363-5_19.
 - [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2821:2011 -- Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi Potensial dengan Panci Penguapan Tipe A," Jakarta, Indonesia, 2011.
 - [11] A. Syahfitri, "Internet of Things (IoT), Sejarah , Teknologi , dan Penerapannya," 2025.
 - [12] R. M. Ridho Alamsyah, Eddy Ryansyah, Andari Yasinta Permana, "FUZZY DENGAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS BERBASIS ESP8266," *JITET*, vol. 12, no. 2, hal. 862–868, 2024.
 - [13] M. Lombardi dan F. Pascale, "Internet of Things: A General Overview between Architectures , Protocols and Applications," 2021.
 - [14] S. R. Raut, A. Wadhwa, I. Chaudhari, dan R. Lahane, "Automatic Braking System for Forward Collision Avoidance," vol. 9, no. 4, hal. 166–184, 2021.
 - [15] A. Amrullah, "Perbandingan Tingkat Akurasi Pengukuran Ketinggian Air," *J. Infomedia Tek. Inform. Multimed. Jar.*, vol. 7, no. 1, hal. 1–5, 2022.
 - [16] V. Kushwaha dan S. Bojewar, "A Survey of Ultrasonic Sensors and their Applications," *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 8, no. 11, hal. 116–122, 2019, doi: 10.17148/IJARCCE.2019.81120.
 - [17] C. Gençoğlu, S. Gençoğlu, dan S. Usta, "Measurement of Water Depth in a Class A Pan Using Ultrasonic Transducer and Programmable Logic Control (PLC)," *J. Tekirdag Agric. Fac.*, vol. 20, no. 2, hal. 343–352, 2023, doi: 10.33462/jotaf.1106319.
 - [18] I. IRNAWATI, Muzakkir Pangri, Nur Hidayat, Ibnu Subrata Ajid, N. J. Maipauw, dan Ismail Sangadji, "Pengenalan Instrumen Manual Dan Digital Untuk Mendukung Layanan Prakiraan Cuaca Di Taman Alat Bmkg Wilayah I Deo Sorong," *Abdimas Papua J. Community Serv.*, vol. 7, no. 2, hal. 105–117, 2025, doi: 10.33506/pjcs.v7i2.4633.
 - [19] E. Adhari, A. Agung, dan N. Gunawan, "Design and Manufacture of Rainfall Measuring Instruments Based on Android Smartphone and ATmega328P Microcontroller Using Hall Effect Sensor," vol. 25, no. 9, hal. 179–185, 2023, doi: 10.9734/JERR/2023/v25i9991.
 - [20] H. A. Dharmawan, *Mikrokontroler: konsep dasar dan praktis*. Universitas Brawijaya Press, 2017.
 - [21] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, dan O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023.