

**PERANCANGAN *PROTOTYPE* SISTEM IoT UNTUK
MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA
GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA**

TUGAS AKHIR



Oleh:

LALU AGUM WIDYA GUNA

NIT. 56192210013

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG**

2026

**PERANCANGAN *PROTOTYPE* SISTEM IoT UNTUK
MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA
GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA**

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat lulus pendidikan

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Sarjana Terapan

Oleh:

LALU AGUM WIDYA GUNA

NIT. 56192210013



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
POLITEKNIK PENERBANGAN PALEMBANG**

2026

ABSTRAK

PERANCANGAN *PROTOTYPE* SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA

Oleh:

LALU AGUM WIDYA GUNA

NIT: 56192210013

Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara

Program Sarjana Terapan

Sistem distribusi air di *Ground Water Tank* (GWT) I Gusti Ngurah Rai International Airport masih dilakukan secara manual sehingga menyebabkan rendahnya efisiensi operasional, potensi *human error*, serta belum tersedianya pemantauan volume dan kualitas air secara *real-time*. Kondisi tersebut mengakibatkan proses transfer air memerlukan perpindahan petugas antara ruang kendali dan lokasi GWT untuk pengoperasian pompa serta pemeriksaan volume air. Penelitian ini bertujuan merancang *prototype* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk *monitoring* dan otomatisasi transfer air antar GWT. Metode yang digunakan adalah metode *prototype* dengan tahapan *communication*, *quick plan*, *modeling* *quick design*, *construction of prototype*, serta *deployment*, *delivery*, and *feedback*. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mengintegrasikan *flow sensor* YF-S201 untuk pengukuran volume, sensor HC-SR04 untuk pemantauan ketinggian air dan mekanisme *safety cut-off*, serta sensor pH dan *turbidity* untuk pemantauan kualitas air. Seluruh data ditampilkan pada *dashboard* berbasis web yang dilengkapi mode Auto dan Manual, pengaturan parameter, serta fitur riwayat pengisian yang dapat diunduh dalam format PDF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh komponen berhasil terintegrasi dan berfungsi sesuai rancangan. *Flow sensor* mampu mengukur volume transfer dengan selisih yang sangat kecil terhadap target, sensor pH dan *turbidity* memantau kualitas air secara konsisten, sedangkan sensor HC-SR04 berhasil mencegah kondisi *overflow* dan *dry-running*. Sistem mampu mengendalikan pompa secara otomatis berdasarkan target volume dan kondisi tangki, serta memperoleh tingkat keberhasilan pengujian sebesar 96,67%. Dengan demikian, *prototype* yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi, keandalan, dan efektivitas *monitoring* distribusi air di lingkungan bandar udara.

Kata kunci: *Internet of Things*, *Ground Water Tank*, *monitoring*, otomatisasi, kualitas air, distribusi air.

ABSTRACT

PERANCANGAN *PROTOTYPE* SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA

by:

LALU AGUM WIDYA GUNA

NIT: 56192210013

*Program Study of Airport Engineering Technology
Applied Bachelor's Program*

The water distribution system at the Ground Water Tank (GWT) of I Gusti Ngurah Rai International Airport is still operated manually, resulting in low operational efficiency, potential human error, and the absence of real-time monitoring of water volume and quality. This condition requires operators to move between the control room and the GWT location to operate the pump and verify the transferred water volume. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based prototype for monitoring and automating water transfer between GWTs. The research employed the prototype method consisting of the stages of communication, quick plan, modeling quick design, construction of prototype, and deployment, delivery, and feedback. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrated with a YF-S201 flow sensor for volume measurement, an HC-SR04 sensor for water level monitoring and safety cut-off protection, and pH and turbidity sensors for real-time water quality monitoring. All sensor data are displayed on a web-based dashboard equipped with Auto and Manual modes, parameter settings, and a filling history feature that can be exported in PDF format. The results indicate that all system components were successfully integrated and functioned as intended. The flow sensor measured the transferred water volume with minimal deviation from the target, while the pH and turbidity sensors consistently monitored water quality. The HC-SR04 sensor effectively prevented overflow and dry-running conditions. Overall, the system achieved a testing success rate of 96.67%, demonstrating its capability to improve the efficiency, reliability, and effectiveness of water distribution monitoring in the airport environment.

Keywords: *Internet of Things, Ground Water Tank, monitoring, automation, water quality, water distribution*

PENGESAHAN PEMBIMBING

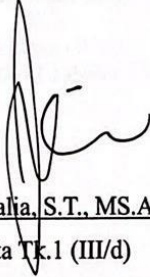
Tugas Akhir: "PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA" telah diperiksa dan disetujui untuk diuji sebagai salah satu syarat lulus pendidikan Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-3, Politeknik Penerbangan Palembang – Palembang.



Nama : LALU AGUM WIDYA GUNA

NIT : 56192210013

PEMBIMBING I



Direstu Amalia, S.T., MS.ASM.

Penata Tk.1 (III/d)

NIP. 19831213 201012 2 003

PEMBIMBING II



Iwansyah Putra, S.S., M.Pd.

Penata (III/c)

NIP. 19840513 201902 1 001

KETUA PROGRAM STUDI



Ir. M. INDRA MARTADINATA, S.ST., M.Si.

Pembina (IV/a)

NIP. 19810306 200212 1 001



Dipindai dengan CamScanner

PENGESAHAN PENGUJI

Tugas Akhir : “PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan Angkatan ke-3, Politeknik Penerbangan Palembang - Palembang. Tugas akhir ini telah dinyatakan LULUS Program Sarjana Terapan pada tanggal 30 Juni 2026.

KETUA



Ir. DWI CANDRA YUNIAR, S.H., S.ST.,

M.Si.

Pembina (IV/a)

NIP. 19760612 199803 1 001

SEKRETARIS

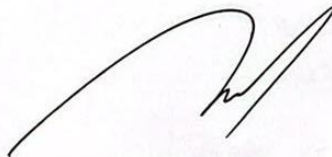


Ir. DIRESTU AMALIA, S.T., MS.ASM.

Penata Tk.1 (III/d)

NIP. 19831213 201012 2 003

ANGGOTA



MINULYA ESKA NUGRAHA, M.Pd.

Penata (III/c)

NIP. 19880308 202012 1 006

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lalu Agum Widya Guna

NIT : 56192210013

Program Studi : Teknologi Rekayasa Bandar Udara Program Sarjana Terapan

Menyatakan bahwa TA berjudul “ PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA” merupakan karya asli saya bukan merupakan hasil plagiarisme. Demikian pernyataan ini, saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar akademik dari Politeknik Penerbangan Palembang.

Palembang, 30 Juni 2026

Yang Membuat Pernyataan



Lalu Agum Widya Guna

NIT. 56192210013

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Program Sarjana Terapan yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Politeknik Penerbangan Palembang, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Politeknik Penerbangan Palembang. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil penelitian Tugas Akhir ini dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia sebagai berikut:

Guna, L. A. W. (2026): PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA, Tugas Akhir Program Sarjana Terapan, Politeknik Penerbangan Palembang.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang.

Dipersembahkan kepada
Ayahanda Lalu Armayadi & Ibunda Baiq wilyati

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur, penulis ucapkan terima kasih kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, perlindungan, dan hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM IoT UNTUK MONITORING DAN OTOMATISASI TRANSFER PADA GROUND WATER TANK DI BANDAR UDARA”** tepat pada waktunya. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, peneliti ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan limpahan berkah, rahmat, serta perlindungan-Nya dalam melaksanakan seluruh aktivitas di Politeknik Penerbangan Palembang.
2. Kedua orang tua saya, Lalu Armayadi dan Baiq Wilyati, yang telah memberikan dukungan serta doa tiada henti kepada penulis, sehingga penyusunan Tugas Akhir dapat berjalan dengan lancar.
3. Bapak Dr. Capt. Ahmad Hariri, S.T., S.Si.T., M.Si. selaku Direktur Politeknik Penerbangan Palembang yang telah memberikan dukungan akademik selama proses perkuliahan
4. Bapak Ir. M. Indra Martadinata, S.S.T., M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Bandar Udara Politeknik Penerbangan Palembang yang telah memberikan saran, panduan dan dukungan akademik selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Direstu Amalia, S.T., MS.ASM. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan masukan dan kritik yang sangat konstruktif demi kemajuan pelaksanaan penelitian.
6. Bapak Iwansyah Putra, S.S., M.Pd. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasihat selama proses penelitian ini.
7. Bapak Inggih Nugroho dan Gerry harmeizar selaku *Supervisor* kami di Bandar Udara International I Gusti Ngurah Rai Bali yang telah memberikan bantuan dan dukungan langsung selama pelaksanaan penelitian di lapangan.

8. Seluruh sivitas akademika Politeknik Penerbangan Palembang, mulai dari jajaran dosen, staf pengajar, hingga tim administrasi, yang telah tulus membagikan ilmu, wawasan, serta bimbingan berharga, sekaligus memberikan dukungan moral baik secara langsung maupun tidak langsung hingga Tugas Akhir ini selesai.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan bagi penulis demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di dunia penerbangan.

Palembang, 30 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan



Lalu Agum Widya Guna
NIT. 56192210013

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PENGESAHAN PEMBIMBING	v
PENGESAHAN PENGUJI	vi
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	vii
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Batasan Masalah.....	8
D. Tujuan Penelitian.....	9
E. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
A. Teori Penunjang	11
B. Penelitian yang Relevan.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
A. Metode Penelitian.....	31
B. Prosedur Penelitian.....	32
1. <i>Communication</i>	32
2. Quick plan	36
3. Modeling Quick Design	37
4. Construction of Prototype	37
5. Deployment, Delivery, and Feedback	38
C. Teknik Analisis Data	38
D. Jadwal Pelaksanaan	40

BAB IV HASIL & PEMBAHASAN	41
A. HASIL	41
1. <i>Communication</i>	41
2. <i>Quick Plan</i>	46
3. <i>Modelling Quick Design</i>	48
4. <i>Construction of Prototype</i>	59
5. <i>Deployment, Delivery, and Feedback</i>	68
B. PEMBAHASAN	77
BAB V KESIMPULAN & SARAN.....	80
A. KESIMPULAN	80
B. SARAN	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Turnitin	88
Lampiran B Lembar Bimbingan Tugas Akhir.....	90
Lampiran C Lembar Instrumen Observasi	94
Lampiran D Lembar Instrumen Wawancara	95
Lampiran E.Lembar Observasi	96
Lampiran F. Lembar Wawancara	98
Lampiran G. Lembar Validasi Ahli	102
Lampiran H. Dokumentasi Wawancara	106
Lampiran I. Dokumentasi Observasi	107
Lampiran J. Dokumentasi Validasi Ahli.....	109
Lampiran K. Dokumentasi Perakitan Alat	110
Lampiran L.Dokumentasi Pengujian Alat.....	111
Lampiran M. koding pemrograman	113
Lampiran N. Gambar Skematik Diagram	130
Lampiran O Manual Book	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Skema alur distribusi air dari STP dan air hujan menuju GWT Loading Dock dan GWT Utama di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai.....	12
Gambar II. 2 Internet of Things	15
Gambar II. 3 Mikrokontroler ESP32.....	16
Gambar II. 4 Sensor Ultrasonik HC-SR04.....	18
Gambar II. 5 Sensor pH	21
Gambar II. 6 Sensor Turbidity	22
Gambar II. 7 Flow sensor.....	23
Gambar IV. 1 Kondisi Instalasi Rumah Pompa GWT	41
Gambar IV. 2 Peta Jarak Rumah Pompa Ke Ruang Standby Petugas	42
Gambar IV. 3 Peta Jarak Ruang Standby Petugas Ke Meteran Air.....	42
Gambar IV. 4 Proses Pencatatan Volume Air Secara Manual Pada Meteran Air..	43
Gambar IV. 5 Logbook Pencatatan Harian Operasional Transfer Air.....	44
Gambar IV. 6 Diagram Blok Sistem	48
Gambar IV. 7 Flowchart Alur Kerja Sistem	51
Gambar IV. 8 Schematic diagram Prototype.....	54
Gambar IV. 9 Halaman login dashboard monitoring	55
Gambar IV. 10 Tampilan data sensor pada dashboard	56
Gambar IV. 11 Panel Pump Control pada mode Manual	57
Gambar IV. 12 Panel Pump Control pada mode Auto dan Setting Parameter pada Dashboard	57
Gambar IV. 13 Tampilan histori pengisian pada dashboard.....	58
Gambar IV. 14 Rancangan Model Dua Tangki Prototype.....	59
Gambar IV. 15 Hasil perakitan perangkat keras prototype	60
Gambar IV. 16 Program Utama Sistem Pada ESP32	66
Gambar IV. 17 Tampilan Dashboard Monitoring Pada Prototype	68

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Penelitian Yang Relevan	25
Tabel III. 1 Indikator Yang Dikaji	33
Tabel III. 2 Rincian Topik Observasi	34
Tabel III. 3 Narasumber Wawancara	35
Tabel III. 4 Topik Wawancara	35
Tabel III. 5 Jadwal Pelaksanaan	40
Tabel IV. 1 Data Pencatatan Operasional Transfer Air November 2025.....	45
Tabel IV. 2 Tabel Komponen.....	47
Tabel IV. 3 Parameter Kontrol Utama.....	52
Tabel IV. 4 Tabel Konversi Ketinggian Terhadap Volume	53
Tabel IV. 5 Hasil Uji Fungsional Sistem	69
Tabel IV. 6 Hasil Uji konsistensi Pengukuran Terhadap Volume Air.....	71
Tabel IV. 7 Hasil Uji Sensor pH.....	71
Tabel IV. 8 Hasil Uji Sensor Turbidity.....	72
Tabel IV. 9 Hasil Uji Sensor HC-SR04.....	72
Tabel IV. 10 Hasil Uji Otomatisasi Transfer Air	73
Tabel IV. 11 Tampilan Hasil Monitoring Real-Time Pada Dashboard.....	74
Tabel IV. 12 Hasil Rekapitulasi Pengujian Sistem.....	74

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian Pertama kali pada halaman
IoT	<i>Internet of Things</i>	3
GWT	<i>Ground Water Tank</i>	3
STP	<i>Sewage Treatment Plant</i>	3
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>	6
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>	15
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i>	16
R&D	<i>Research and Development</i>	24
LAMBANG		
m ³	Meter Kubik	3
m ³ /jam	Debit Aliran Air	5
pH	Derajat Keasaman	5
°C	Derajat Celsius	15
cm	Sentimeter	18
V	Volume	18
cm ³	Sentimeter Kubik	19
L	Liter	19
H ⁺	<i>Ion Hidrogen</i>	20
%	Persentase	25

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya penting yang mendukung keberlangsungan berbagai aktivitas manusia, baik dalam sektor domestik, industri, maupun fasilitas publik berskala besar seperti bandar udara. Pada sistem operasional bandara, air digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti sanitasi fasilitas terminal, operasional gedung, pemeliharaan lingkungan, sistem pendingin, hingga berbagai layanan penunjang lainnya. Oleh karena itu, pengelolaan sistem distribusi air menjadi komponen penting dalam menjaga keberlanjutan operasional bandara. Sistem distribusi air yang tidak terkelola dengan baik berpotensi menimbulkan pemborosan sumber daya serta menurunkan efisiensi operasional. Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali merupakan salah satu infrastruktur penerbangan tersibuk di Indonesia. Berdasarkan data resmi PT Angkasa Pura Indonesia, sepanjang tahun 2025 bandara ini melayani sebanyak 24.125.161 penumpang, dengan komposisi 63 persen penumpang internasional dan 37 persen penumpang domestik, atau setara dengan rata-rata 66.000 penumpang per hari. Tingginya volume aktivitas tersebut secara langsung meningkatkan kebutuhan utilitas air yang harus dikelola secara andal dan efisien.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, berbagai sektor infrastruktur mulai menerapkan konsep *smart infrastructure* untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sistem utilitas. Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pengumpulan, pengolahan, dan pertukaran data secara otomatis dan *real-time*. Dalam sistem pengelolaan air, teknologi ini memungkinkan proses pemantauan kondisi air, pengukuran volume distribusi, serta pengendalian operasional sistem dilakukan secara lebih akurat dibandingkan metode konvensional yang masih bergantung pada pengoperasian

manual (Sugiharto dkk., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh (Yani Maulita & Hermansyah Sembiring, 2024) membuktikan bahwa sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan sensor pH, TDS, dan *turbidity* mampu mengukur parameter kualitas air secara *real-time* dengan deviasi maksimum sebesar $\pm 0,5\%$ dibandingkan hasil laboratorium, menunjukkan kelaikan teknis sistem IoT untuk penerapan di lingkungan nyata.

Pemanfaatan IoT dalam sistem *monitoring* dan kontrol air telah banyak dikembangkan oleh penulis Indonesia. (Bu'u dkk., 2023) mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT menggunakan sensor pH dan *turbidity* yang terintegrasi dengan platform Blynk, dan menyimpulkan bahwa sistem mampu memantau perubahan kondisi air secara *real-time* melalui *smartphone*. Sementara itu, (Imansyah & Widiastuti, 2022) mengembangkan sistem kontrol dan *monitoring* penggunaan air berbasis IoT menggunakan modul ESP8266 yang mampu mengendalikan pompa dari jarak jauh. Lebih jauh, (Muamaroh & Christanto, 2024) mengembangkan sistem pengukur penggunaan air otomatis berbasis IoT menggunakan Water Flow Sensor YF-S201 dan NodeMCU ESP8266 yang mampu memantau debit air secara *real-time* dan mengendalikan aliran air secara otomatis, dengan akurasi sistem mencapai 83,3%.

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air maupun sistem kontrol pompa berbasis IoT, sebagian besar penelitian tersebut masih bersifat parsial dengan fokus hanya pada salah satu aspek saja (Jan dkk., 2022). Integrasi antara kontrol otomatis berbasis volume air yang diukur menggunakan *flow sensor* dengan *monitoring* kualitas air secara bersamaan dalam satu sistem terintegrasi pada konteks transfer air antar tangki skala besar belum banyak dikaji dalam literatur yang ada (Jan dkk., 2022). Padahal, pada sistem utilitas air berskala besar, proses distribusi air memerlukan sistem kontrol yang mampu mengatur aliran air secara akurat untuk menghindari kelebihan maupun kekurangan pasokan.

Integrasi sensor dengan sistem kontrol otomatis memungkinkan proses distribusi air dilakukan secara lebih efisien serta mengurangi ketergantungan pada pengoperasian manual (Latar dkk., 2025). Penelitian terkini oleh (Pradipta dkk., 2026) yang mengembangkan sistem kontrol pompa adaptif berbasis IoT menegaskan bahwa sistem kontrol pompa konvensional yang tidak memiliki manajemen berbasis data terbukti tidak efisien dan rentan terhadap *human error* operasional yang sulit dideteksi maupun dicegah tanpa dukungan real-time.

Kondisi tersebut juga dapat ditemukan pada sistem distribusi air di I Gusti Ngurah Rai International Airport. Untuk memenuhi kebutuhan air operasional, bandara memanfaatkan *Ground Water Tank* (GWT) sebagai reservoir utama yang berfungsi menampung dan mendistribusikan air ke berbagai fasilitas. Air yang berada pada *GWT Loading Dock* merupakan gabungan dari air tampungan hujan serta air hasil pengolahan dari *Sewage Treatment Plant* (STP). Air tersebut kemudian dipompa menuju GWT utama berkapasitas 500 m³ sebelum didistribusikan ke berbagai fasilitas operasional bandara.

Namun, berdasarkan hasil observasi lapangan, proses transfer air dari *GWT Loading Dock* menuju GWT utama masih dilakukan secara manual. Pengoperasian pompa serta pembukaan dan penutupan *valve* dilakukan langsung oleh petugas di rumah pompa, sementara penentuan jumlah air yang dikirim masih didasarkan pada estimasi durasi waktu pengoperasian pompa, tanpa pengukuran volume secara *real-time*. Kondisi ini secara langsung menempatkan seluruh kendali operasional pada penilaian subjektif petugas, sehingga potensi terjadinya *human error* menjadi tidak terhindarkan.

Kendala utama yang memperparah kondisi ini terdapat pada dua aspek operasional yang saling berkaitan. Pertama, petugas yang bertugas mengoperasikan pompa berada di ruang standby yang berjarak sekitar 90 meter dari unit pompa, sehingga tidak dapat memantau kondisi operasional pompa secara langsung. Kedua, petugas yang bertugas memverifikasi volume air dan kondisi GWT tujuan harus menempuh jarak sekitar 250 meter dari ruang kontrol

menuju lokasi meteran air, sehingga pengecekan tidak dapat dilakukan secara continue selama proses transfer berlangsung. Kedua kondisi ini secara struktural menciptakan *keterbatasan pemantauan operasional* yang menjadi akar dari terjadinya human error berulang, karena keputusan operasional diambil tanpa visibilitas langsung terhadap kondisi sistem yang sedang berjalan.

Kondisi ini meningkatkan beban kerja petugas secara fisik sekaligus membuka peluang terjadinya kesalahan operasional (*human error*) dalam pencatatan dan estimasi volume air yang didistribusikan. Mengingat frekuensi pengiriman air yang mencapai rata-rata 18 hari per bulan berdasarkan data operasional yang tercatat, setiap ketidaktepatan estimasi berpotensi terakumulasi menjadi kesalahan operasional yang berulang secara sistematis setiap bulannya.

Ketergantungan pada perkiraan operator tanpa didukung data yang terukur secara *real-time* dapat menimbulkan dampak nyata terhadap operasional sistem. Berdasarkan keterangan petugas di lapangan, pernah terjadi kondisi di mana GWT tujuan telah mencapai kapasitas maksimum sementara pompa masih beroperasi selama 10 jam (pukul 22.00–08.00), melebihi durasi normal transfer yang seharusnya berlangsung kurang dari 9 jam. Kejadian ini merupakan bentuk nyata dari *human error* operasional pompa tidak dihentikan tepat waktu semata-mata karena tidak ada sistem yang memberikan informasi kondisi GWT secara real-time kepada petugas. Akibatnya, sebagian air terbuang karena keterlambatan penghentian pompa yang tidak terdeteksi secara *real-time*.

Kondisi sebaliknya juga berisiko terjadi. Apabila estimasi waktu pengoperasian pompa lebih singkat dari yang dibutuhkan, GWT sumber dapat mencapai batas minimum lebih cepat dari yang diperhitungkan sehingga berpotensi merusak komponen mekanik pompa akibat *dry-running*. Kejadian-kejadian tersebut menunjukkan adanya risiko inefisiensi pemanfaatan air serta pemborosan sumber daya akibat sistem distribusi yang masih bergantung pada operasi manual.

Permasalahan tersebut terkonfirmasi melalui data operasional berupa Laporan Pencatatan Meter Air dan Penggunaan Air Bersih bulan November 2025 yang diperoleh dari unit teknik I Gusti Ngurah Rai International Airport. Berdasarkan data tersebut, selama periode satu bulan tercatat total volume air yang ditransfer sebesar 2.616 m³ melalui 18 hari pengiriman aktif dari total 30 hari kalender, dengan rata-rata volume pengiriman sebesar 145,3 m³ per hari aktif. Berdasarkan data operasional yang sama, debit rata-rata pompa pada sistem transfer GWT *Loading Dock* diperoleh sebesar $\pm 60,6$ m³/jam. Menggunakan debit tersebut sebagai acuan estimasi, kelebihan operasi pompa selama ± 1 jam pada kejadian *overflow* yang pernah dilaporkan diperkirakan menyebabkan air terbang sebesar ± 60 m³, atau setara dengan 12% dari kapasitas GWT tujuan sebesar 500 m³.

Nilai ini merupakan perkiraan berdasarkan asumsi debit operasional rata-rata, mengingat tanggal pasti kejadian tidak tercatat dalam sistem dokumentasi yang ada. Ketidadaan pencatatan waktu kejadian ini sendiri merupakan bukti konkret dari keterbatasan sistem manual *human error* tidak hanya terjadi pada tahap operasional, tetapi juga pada tahap dokumentasi, sehingga dampak kesalahan tidak dapat ditelusuri maupun dipelajari untuk mencegah pengulangan di masa mendatang. kondisi yang semakin menegaskan urgensi kebutuhan sistem pencatatan dan *monitoring* otomatis berbasis *real-time*. Temuan ini membuktikan bahwa sistem distribusi air yang masih mengandalkan estimasi waktu dan pencatatan manual tidak mampu mencegah maupun mendokumentasikan terjadinya pemborosan sumber daya air secara terukur.

Selain permasalahan kuantitas air, sistem yang berjalan saat ini juga belum dilengkapi dengan pemantauan kualitas air secara *real-time*. Padahal air pada GWT *Loading Dock* merupakan campuran antara air tampungan hujan dan air hasil pengolahan dari *Sewage Treatment Plant* (STP), sehingga diperlukan pengawasan kualitas air sebelum didistribusikan. Parameter yang umum digunakan adalah pH dan tingkat kekeruhan (*turbidity*).

Pemantauan kedua parameter tersebut mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan, yang menetapkan bahwa air yang layak digunakan harus memiliki nilai pH pada rentang 6,5–8,5 serta tingkat kekeruhan maksimum 3 NTU (Kemenkes, 2023). Tanpa sistem pemantauan *real-time*, kepatuhan terhadap standar ini tidak dapat diverifikasi secara berkelanjutan, terutama mengingat karakteristik sumber air yang merupakan campuran yang berpotensi mengalami fluktuasi kualitas secara tiba-tiba.

Penelitian oleh (Fathin dkk., 2024) membuktikan bahwa sensor *turbidity* berbasis Arduino mampu mendeteksi perubahan kekeruhan air secara akurat pada tangki penampungan, sehingga mendukung penerapan sistem *monitoring* berkelanjutan sebagai pengganti pengecekan manual yang kurang efektif. Lebih jauh, pencatatan data parameter kualitas air secara historis dan berkelanjutan menjadi fondasi penting bagi pengambilan keputusan berbasis data dalam pengelolaan sistem distribusi air. (Essamlali dkk., 2024) menyatakan bahwa data yang dikumpulkan melalui sensor IoT dapat dianalisis untuk menghasilkan wawasan prediktif mengenai kondisi kualitas air, termasuk parameter *turbidity* dan pH, yang berperan krusial dalam mengantisipasi potensi penurunan kualitas air sebelum melampaui batas standar yang ditetapkan. Pendekatan ini menjadi landasan konsep pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*) yang diintegrasikan dalam sistem yang dikembangkan pada penelitian ini.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian yang telah ada, dapat ditegaskan bahwa kesenjangan penelitian (*research gap*) dalam studi ini terletak pada belum adanya penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan otomatisasi *transfer* air berbasis volume terukur secara *real-time*, pemantauan kualitas air secara berkelanjutan, serta kontrol dan *monitoring* jarak jauh dalam satu sistem *Internet of Things* (IoT) terintegrasi pada konteks transfer air antar *Ground Water Tank* (GWT) di bandar udara. Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya masih berfokus pada salah satu aspek secara terpisah, seperti *monitoring* kualitas air, pengukuran debit air, atau kontrol pompa, sehingga

belum sepenuhnya menjawab kebutuhan sistem distribusi air berskala besar yang menuntut akurasi, keberlanjutan, dan keandalan operasional secara simultan.

Urgensi penelitian ini terletak pada kondisi eksisting sistem distribusi air di I Gusti Ngurah Rai International Airport yang masih dilakukan secara manual, bergantung pada estimasi operator, serta belum didukung oleh data volume dan kualitas air secara *real-time*. Kondisi tersebut telah menimbulkan risiko operasional yang nyata, mulai dari potensi *overflow*, risiko *dry-running* pada pompa, keterbatasan visibilitas petugas terhadap kondisi lapangan, hingga pemborosan air yang secara kuantitatif terindikasi dapat mencapai sekitar 60 m³ hanya akibat keterlambatan penghentian pompa selama satu jam. Di sisi lain, belum adanya pemantauan kualitas air secara berkelanjutan juga menyebabkan kepatuhan terhadap standar pH dan kekeruhan air belum dapat diverifikasi secara continue. Dengan demikian, kebutuhan akan sistem otomatisasi dan *monitoring* berbasis IoT pada penelitian ini bukan hanya penting secara akademik, tetapi juga mendesak secara operasional.

Adapun kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada perancangan *prototype* sistem yang mengintegrasikan pengukuran volume air menggunakan *flow sensor*, pemantauan kualitas air menggunakan sensor pH dan sensor kekeruhan (*turbidity*), pengendalian pompa otomatis berbasis volume terukur, serta *monitoring* dan kontrol jarak jauh melalui *dashboard* dalam satu sistem terintegrasi. Kebaruan lainnya terletak pada penerapan sistem tersebut pada konteks utilitas air bandar udara yang memiliki karakteristik operasional spesifik, yaitu volume transfer besar, frekuensi operasi tinggi, dan tuntutan keandalan sistem yang tinggi. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan penyimpanan data historis operasional yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengembangan pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*).

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan *prototype* sistem otomatisasi dan *monitoring* transfer air antar *Ground Water Tank* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi terhadap permasalahan distribusi air yang masih dilakukan secara manual di I Gusti Ngurah Rai International Airport. Dari sisi mekanikal, sistem ini mengubah mekanisme kerja pompa dan *valve* yang sebelumnya berbasis estimasi waktu menjadi sistem yang dikendalikan secara otomatis berbasis volume air terukur menggunakan sensor aliran (*flow sensor*). Dari sisi IoT, *prototype* ini menghadirkan sistem *monitoring* dan kontrol jarak jauh yang bersifat *real-time*, mengintegrasikan sensor aliran, sensor pH, dan sensor kekeruhan (*turbidity*) ke dalam satu platform yang dapat diakses melalui *dashboard* berbasis perangkat komputer maupun telepon genggam. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan penyimpanan data historis operasional yang dapat digunakan sebagai dokumentasi dan evaluasi kinerja sistem serta mendukung pengembangan metode *predictive maintenance* di masa mendatang.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang *prototype* sistem IoT pada *Ground Water Tank* di bandara?
2. Bagaimana integrasi sensor pH, *turbidity*, serta kontrol pompa otomatis dengan *flow sensor* dalam sistem IoT untuk memantau air secara *real time*?
3. Bagaimana kinerja *prototype* sistem dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan proses *transfer* air pada *Ground Water Tank* di bandara?

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan dan pengujian *prototype* sistem otomatisasi transfer air antar *Ground Water Tank* (GWT) berbasis *Internet*

of Things (IoT) dalam skala laboratorium, tanpa melakukan implementasi pada skala operasional penuh di lapangan.

2. Pengendalian pompa hanya dilakukan secara otomatis berdasarkan volume air yang terukur menggunakan *flow sensor*, tanpa mempertimbangkan variabel kontrol lain seperti tekanan atau kecepatan aliran.
3. Parameter yang dipantau terbatas pada kuantitas air (volume) serta kualitas air berupa pH dan tingkat kekeruhan (*turbidity*) secara *real-time*, tanpa mencakup parameter kualitas air lainnya.
4. Penyimpanan data *historis* operasional hanya digunakan sebagai dasar pemantauan dan analisis awal, tanpa membahas metode *predictive maintenance* secara mendalam.
5. Penelitian ini tidak mencakup analisis ekonomi, perhitungan biaya implementasi, maupun kajian perbandingan terhadap sistem distribusi air konvensional yang sudah ada.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang *prototype* sistem IoT pada Ground Water Tank di bandara.
2. Mengintegrasikan sensor pH, *turbidity*, serta kontrol pompa otomatis dengan *flow sensor* dalam sistem IoT untuk memantau air secara *real time*.
3. Mengevaluasi kinerja *prototype* sistem dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan proses *transfer* air pada Ground Water Tank di bandara.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak sebagai berikut:

1. Bagi Pihak Bandara

Penelitian ini menghasilkan *prototype* sistem yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem distribusi air yang lebih efisien dan andal di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai. Implementasi sistem berbasis IoT ini berpotensi mengurangi risiko *overflow* dan *dry-running*

pompa, meminimalkan pemborosan air, serta mendukung pengelolaan utilitas air yang lebih akuntabel dan berbasis data.

2. Bagi Petugas Operasional Lapangan

Sistem yang dirancang dapat mengurangi beban kerja petugas yang selama ini harus melakukan pemantauan dan pencatatan secara manual, di mana petugas pompa bertugas pada ruang *standby* yang berjarak sekitar 90 meter dari unit pompa, sementara petugas verifikasi volume harus menempuh jarak sekitar 250 meter menuju lokasi meteran air. Dengan adanya *dashboard* monitoring *real-time* seluruh proses pemantauan dan pengendalian transfer air dapat dilakukan dari jarak jauh tanpa harus hadir langsung di lokasi.

3. Bagi Institusi Pendidikan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi institusi pendidikan sebagai bahan referensi dan pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sistem otomatisasi dan *Internet of Things* (IoT). Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai contoh implementasi nyata dalam pengembangan sistem berbasis teknologi yang aplikatif di dunia industri. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai sumber pembelajaran dan rujukan bagi mahasiswa dalam menyusun tugas akhir atau penelitian lanjutan yang berkaitan dengan sistem monitoring, otomasi, dan pengelolaan sumber daya air.

4. Bagi Penulis

Penelitian ini memberikan pengalaman langsung dalam merancang dan mengimplementasikan sistem IoT berbasis *prototype* pada konteks infrastruktur nyata, serta mengembangkan kompetensi di bidang sistem kendali otomatis, monitoring sensor, dan integrasi platform IoT yang relevan dengan kebutuhan industri.