

BAB II

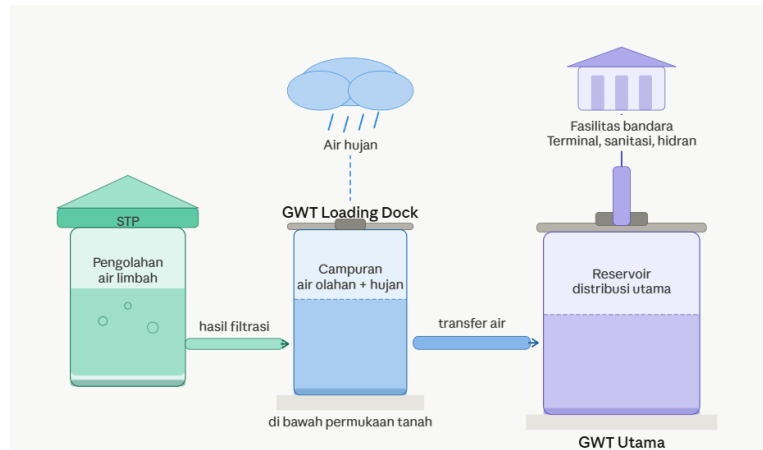
TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. *Ground Water Tank* (GWT)

Ground Water Tank (GWT) merupakan tangki penyimpan air yang dibangun di bawah permukaan tanah, dirancang untuk menjamin ketersediaan air bersih secara berkelanjutan pada berbagai jenis bangunan maupun fasilitas publik. Dalam konteks sistem distribusi air, Sari & Noerhayati (2024) menggambarkan GWT sebagai simpul awal yang menampung seluruh pasokan air dari sumber eksternal sebelum dialirkan lebih lanjut melalui pompa menuju jaringan distribusi gedung. Letak tangki yang tertanam di dalam tanah memberikan kestabilan suhu secara alami, sehingga pertumbuhan mikroorganisme akibat fluktuasi panas dapat ditekan, sekaligus menjaga tangki dari pengaruh kondisi lingkungan luar.

Di lingkungan bandara, fungsi GWT tidak sebatas menyediakan air untuk keperluan sanitasi terminal semata, tangki ini juga menjadi tumpuan bagi sistem pengisian air pesawat dan hidran kebakaran yang harus siap beroperasi kapan pun dibutuhkan. Pola konsumsi air di bandara yang terus berfluktuasi mengikuti jadwal penerbangan, ditambah tuntutan operasional tanpa henti selama 24 jam, menjadikan GWT bandara jauh lebih kompleks dibandingkan GWT pada gedung konvensional (Pambudi dkk., 2019). Dalam kondisi seperti ini, gangguan sekecil apa pun pada sistem penyimpanan air dapat merambat dan mengganggu seluruh rantai distribusi di bandara.



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
(Sumber: Data pribadi, 2026)

Pemeliharaan GWT secara berkala merupakan kewajiban yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan, yang menetapkan bahwa sarana penyimpanan air bersih harus dibersihkan dan diperiksa kondisinya minimal enam bulan sekali. Kegiatan pemeliharaan rutin mencakup pembersihan dinding dan lantai tangki dari lumut, sedimen, dan biofilm, pengecekan kondisi fisik struktur tangki terhadap kemungkinan retak atau rembesan, pemeriksaan dan pengujian kondisi pipa serta fitting, serta pengujian kualitas air yang meliputi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi (Kemenkes, 2023).

Pemeliharaan yang tidak dilakukan secara konsisten berpotensi menyebabkan kontaminasi air yang tersimpan, yang pada fasilitas publik berskala bandara dapat berdampak langsung pada kesehatan ribuan pengguna setiap harinya. Pada sistem konvensional, seluruh kegiatan ini masih bergantung pada pelaksanaan manual oleh petugas sehingga rentan terhadap human error, khususnya pada fasilitas yang beroperasi 24 jam seperti bandara.

Tingginya tuntutan operasional tersebut semestinya diimbangi dengan sistem pemantauan yang sepadan. Namun pada praktiknya, pengelolaan GWT di banyak fasilitas bandara masih bertumpu pada inspeksi manual yang dilakukan secara berkala, sementara kondisi aktual tangki dapat berubah kapan saja tanpa dapat diprediksi baik menyangkut ketinggian air maupun mutu airnya (Putra dkk., 2023).

Celah inilah yang memungkinkan berbagai permasalahan teknis berkembang tanpa terdeteksi lebih awal. Permasalahan pertama adalah *overflow*, yakni kondisi di mana air meluap keluar karena laju pengisian melampaui kapasitas tangki. Rindra dkk. (2021) menjelaskan bahwa kejadian ini umumnya dipicu oleh kegagalan sistem pelampung konvensional yang tidak mampu menyampaikan informasi level air secara aktual kepada operator, sehingga tidak ada tanda peringatan sebelum tangki benar-benar penuh.

Permasalahan kedua adalah *dry run pump*, yaitu kondisi pompa yang tetap beroperasi meski volume air di dalam tangki sudah tidak mencukupi. Tanpa air sebagai media pelumas dan pendingin, komponen internal pompa mengalami tekanan termal yang berlebihan. Feriadi dkk. (2025) mencatat bahwa kondisi ini menjadi penyebab utama kerusakan mechanical seal dan bearing pada pompa sentrifugal akibat lonjakan suhu yang tidak terkendali.

Permasalahan ketiga menyangkut penurunan kualitas air di dalam tangki. Anugrah dkk. (2024) menemukan bahwa air yang tersimpan dalam wadah tertutup sekalipun mengalami degradasi kualitas secara bertahap seiring berjalannya waktu, yang mengindikasikan bahwa pemeriksaan sesekali tidak cukup untuk memastikan air yang didistribusikan selalu dalam kondisi layak konsumsi.

Ketiga permasalahan ini pada dasarnya berakar dari satu kelemahan yang sama: absennya pemantauan yang berjalan secara terus-menerus. Oleh karena itu, GWT bandara memerlukan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat mengawasi kondisi tangki secara *real-time* dan mengeksekusi respons otomatis begitu terdeteksi penyimpangan bukan sekadar solusi efisiensi, melainkan kebutuhan mendasar bagi fasilitas yang tidak memiliki toleransi terhadap gangguan operasional (Putra et al., 2023).

2. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu bertukar data dan menjalankan fungsi tertentu secara otomatis tanpa interaksi manusia secara langsung. Dalam implementasinya, IoT memanfaatkan sensor sebagai alat untuk mengumpulkan data dari lingkungan, kemudian data tersebut dikirimkan melalui jaringan komunikasi menuju sistem pemrosesan untuk dianalisis dan ditampilkan kepada pengguna. Dengan adanya integrasi antara perangkat keras, jaringan, dan sistem informasi, IoT mampu menciptakan sistem yang tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga pengendalian secara otomatis berdasarkan kondisi yang terdeteksi (Bagaskoro, 2024). Serta mendukung peningkatan efisiensi operasional melalui pemanfaatan data secara *real-time* (Hartanto dkk., 2024).



Gambar II. 2 *Internet of Things*
(Sumber: [freepik.com](https://www.freepik.com))

Perkembangan IoT di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan, terutama dalam mendukung sistem monitoring dan otomatisasi di berbagai sektor. Teknologi ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat karena didukung oleh data yang diperoleh secara berkelanjutan. Selain itu, IoT juga mampu menyimpan data historis yang dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut, seperti *predictive maintenance* guna meningkatkan keandalan sistem (Ramadhan & Annisa, 2024). Penerapan IoT juga banyak digunakan dalam sistem otomatisasi berbasis sensor untuk meningkatkan efektivitas kerja sistem (Yudo Setyawan & Marjunus, 2024) serta optimalisasi pengelolaan data dalam berbagai bidang (Ariani, 2025). Dalam penelitian ini, IoT digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem monitoring dan otomatisasi transfer air pada *Ground Water Tank* (GWT), di mana data dari sensor digunakan untuk mengendalikan pompa secara otomatis serta memantau kondisi air secara jarak jauh.

3. Mikrokontroler *ESP32*

Mikrokontroler ESP32 merupakan salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) karena telah dilengkapi dengan fitur komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi dan

Bluetooth dalam satu modul. Kemampuan ini memungkinkan ESP32 untuk terhubung langsung ke jaringan tanpa memerlukan perangkat tambahan, sehingga lebih efisien dalam perancangan sistem berbasis IoT. Selain itu, ESP32 juga memiliki sejumlah pin *General Purpose Input Output* (GPIO) yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator, sehingga mendukung pengembangan sistem monitoring dan kontrol otomatis secara fleksibel (Fawaid dkk., 2025).



Gambar II. 3 Mikrokontroler ESP32
(Sumber: pi.ezlo.com)

Dari sisi performa, ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan data yang cukup tinggi serta mampu bekerja secara *real-time* dalam menjalankan beberapa tugas sekaligus, seperti membaca data sensor, mengirimkan data ke server, dan mengendalikan perangkat output. Hal ini menjadikan ESP32 sangat sesuai digunakan sebagai pusat kendali dalam sistem IoT. Beberapa penelitian di Indonesia juga menunjukkan bahwa ESP32 mampu digunakan dalam sistem otomatisasi dan monitoring jarak jauh, seperti pengaturan ventilasi berbasis sensor yang dapat merespon kondisi lingkungan secara cepat dan efisien (Erwanto dkk., 2025), serta pengendalian perangkat listrik berbasis IoT yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi (Wenno dkk., 2025).

4. Sensor *Ultrasonik HC-SR04*

Sensor *ultrasonik* HC-SR04 merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek tanpa kontak langsung dengan memanfaatkan gelombang suara berfrekuensi tinggi. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke permukaan objek, kemudian gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dan diterima oleh sensor. Waktu tempuh gelombang dari pemancar ke objek dan kembali ke penerima digunakan untuk menentukan jarak antara sensor dan objek. Dalam pengukuran ketinggian air, sensor ultrasonik HC-SR04 ditempatkan di atas permukaan air untuk mengukur jarak ke permukaan air, sehingga dapat diketahui tinggi atau level air dalam suatu tangki (Hasanah & Hafni, 2025).

Prinsip kerja sensor ultrasonik HC-SR04 dikenal sebagai metode *time of flight*, yaitu menghitung waktu perjalanan gelombang suara dari sensor ke permukaan air dan kembali lagi. Semakin dekat jarak permukaan air dengan sensor, maka waktu pantulan gelombang akan semakin cepat. Data jarak tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai ketinggian air dengan memperhitungkan tinggi total tangki. Penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 dalam sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) terbukti mampu memberikan data ketinggian air secara real-time serta mendukung sistem kontrol otomatis seperti pengaktifan pompa air berdasarkan batas tertentu (Az-Zikri dkk., 2025).



Gambar II. 4 *Sensor Ultrasonik HC-SR04*
(Sumber: arduinoindonesia.id)

Dalam pengukuran ketinggian air, sensor HC-SR04 ditempatkan secara vertikal di bagian atas tangki dengan posisi menghadap ke bawah ke arah permukaan air. Sensor tidak mengukur ketinggian air secara langsung, melainkan mengukur jarak dari posisi sensor ke permukaan air. Nilai ketinggian air kemudian diperoleh melalui konversi dengan memperhitungkan tinggi total tangki, menggunakan persamaan:

$$\text{Tinggi Air} = \text{Jarak Sensor ke Dasar} - \text{Jarak Terbaca Sensor}$$

Hasil konversi ini kemudian ditampilkan pada *dashboard* sebagai informasi level air secara *real-time*. Penggunaan sensor HC-SR04 dalam sistem monitoring berbasis IoT terbukti mampu memberikan data ketinggian air secara *real-time* serta mendukung sistem kontrol otomatis pada tangki penampungan air (Az-Zikri dkk., 2025).

Data ketinggian air yang diperoleh dari sensor HC-SR04 berfungsi sebagai informasi pendukung bagi operator sebelum memulai proses transfer air. Informasi level air yang ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard* memungkinkan operator mengetahui kondisi aktual GWT sumber maupun GWT tujuan, sehingga dapat menentukan jumlah volume air yang akan dikirim secara lebih terukur. Pendekatan ini menempatkan sensor HC-SR04 sebagai media monitoring yang memperkuat pengambilan keputusan operasional, bukan sebagai satu-

satunya parameter kontrol sistem. Integrasi sensor ultrasonik dengan platform IoT memungkinkan data ketinggian diakses secara jarak jauh sehingga operator tidak perlu hadir langsung di lokasi tangki untuk mengetahui kondisinya.

Pada tangki berbentuk persegi panjang dengan dimensi yang diketahui, data ketinggian air yang terbaca oleh sensor HC-SR04 dapat dikonversikan langsung menjadi estimasi volume air di dalam tangki. Konversi ini menggunakan persamaan dasar volume bangun persegi panjang:

$$V = p \times l \times h$$

di mana V adalah volume air (cm^3), p adalah panjang tangki (cm), l adalah lebar tangki (cm), dan h adalah ketinggian air yang terbaca sensor (cm). Nilai volume dalam cm^3 selanjutnya dikonversi ke satuan liter dengan membaginya dengan 1.000, sehingga setiap perubahan ketinggian 1 cm yang terdeteksi sensor dapat langsung diketahui setara dengan berapa liter air di dalam tangki. Penelitian yang mengintegrasikan sensor HC-SR04 dengan ESP32 membuktikan bahwa nilai ketinggian yang terbaca sensor meningkat secara linier seiring bertambahnya volume air, sehingga konversi ini dapat diandalkan sebagai estimasi volume secara *real-time* (Ikhsan dkk., 2026).

Selain fungsi *monitoring* informatif, sensor HC-SR04 pada penelitian ini juga berperan sebagai pengaman sistem (*safety cut-off*) dengan mendeteksi kondisi level air yang telah melampaui atau melewati batas yang ditetapkan. Terdapat dua kondisi batas yang menjadi acuan penghentian pompa secara otomatis. Pertama, apabila ketinggian air pada GWT tujuan terdeteksi telah mencapai batas atas yang telah diprogram, sistem secara otomatis akan menonaktifkan pompa untuk mencegah terjadinya kondisi *overflow*. Kedua, apabila ketinggian air pada GWT sumber terdeteksi telah mencapai batas bawah yang

ditetapkan, sistem juga secara otomatis menghentikan pompa meskipun target volume transfer belum tercapai, guna mencegah kondisi *dry-running* yang dapat merusak komponen mekanik pompa akibat beroperasi tanpa air (Feriadi dkk., 2025).

Dalam penerapannya, perlu diperhatikan bahwa sensor HC-SR04 memiliki *blind zone* atau zona buta pada jarak di bawah 2 cm dari sensor, sehingga pemasangan harus mempertimbangkan jarak minimum antara sensor dan permukaan air tertinggi agar pembacaan tetap valid. Selain itu, permukaan air yang bergelombang dapat mempengaruhi pantulan gelombang ultrasonik sehingga disarankan pengukuran dilakukan pada kondisi aliran yang relatif stabil (Amrullah, 2022).

5. Sensor pH

Sensor pH merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi *ion hidrogen* (H^+). Nilai pH menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas air, karena dapat mempengaruhi reaksi kimia, kestabilan lingkungan, serta kelayakan air untuk digunakan dalam berbagai kebutuhan. Dalam sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT), pengukuran pH digunakan sebagai indikator utama dalam pemantauan kualitas air secara berkelanjutan (Arifin dkk., 2025).

Prinsip kerja sensor pH didasarkan pada perbedaan potensial listrik yang terjadi antara elektroda pH dan elektroda referensi ketika sensor dicelupkan ke dalam larutan. Elektroda kaca pada sensor akan bereaksi terhadap konsentrasi ion hidrogen, kemudian menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan nilai pH larutan. Sinyal tersebut selanjutnya diolah oleh mikrokontroler menjadi data digital yang dapat ditampilkan atau dikirim ke sistem monitoring. Metode ini memungkinkan pengukuran pH dilakukan secara berkelanjutan dan

real-time, sehingga sangat mendukung sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) (Hariyadi dkk., 2020).



Gambar II. 5 Sensor pH
(sumber: guideofgreece.com)

6. Sensor *Turbidity*

Sensor *turbidity* merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air berdasarkan jumlah partikel tersuspensi di dalamnya. Kekeruhan air menunjukkan seberapa banyak zat padat seperti lumpur, pasir halus, atau bahan organik yang terdapat dalam air, yang dapat mempengaruhi kualitas dan kelayakan air untuk digunakan. Semakin tinggi tingkat kekeruhan, maka semakin rendah kualitas air tersebut. Oleh karena itu, parameter *turbidity* menjadi salah satu indikator penting dalam sistem monitoring kualitas air, khususnya pada sistem distribusi seperti *Ground Water Tank* (GWT) (Anshori dkk., 2023).



Gambar II. 6 Sensor *Turbidity*
(Sumber: en.hwlibre.com)

Prinsip kerja sensor turbidity didasarkan pada metode penyebaran cahaya (*light scattering*). Sensor akan memancarkan cahaya ke dalam air, kemudian cahaya tersebut akan dipantulkan atau disebarkan oleh partikel yang terdapat dalam air. Intensitas cahaya yang diterima oleh sensor akan berbeda tergantung pada tingkat kekeruhan air. Semakin banyak partikel yang terdapat dalam air, maka semakin besar penyebaran cahaya yang terjadi. Nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi satuan kekeruhan, biasanya dalam *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU), dan dapat dibaca oleh mikrokontroler untuk ditampilkan atau dikirim ke sistem monitoring (Harahap dkk., 2023).

Dalam penerapannya, sensor turbidity banyak digunakan dalam sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) karena mampu memberikan data secara *real-time* dan berkelanjutan. Integrasi sensor turbidity dengan mikrokontroler seperti *ESP32* memungkinkan data kekeruhan air dipantau secara jarak jauh melalui platform *cloud*. Selain itu, data yang diperoleh juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, seperti pengolahan air atau pengendalian sistem distribusi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan (Arifin dkk., 2025).

7. Flow Sensor

Sensor aliran (*flow sensor*) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur laju aliran fluida, seperti air, yang mengalir dalam suatu sistem perpipaan. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi jumlah aliran yang melewati suatu titik dalam satuan waktu tertentu, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui debit maupun volume air secara akurat. Dalam sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), flow sensor berperan penting dalam memberikan data kuantitas air secara *real-time* yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian sistem (Muamaroh & Christanto, 2024).



Gambar II. 7 Flow sensor
(sumber: circuitdesigner.com)

Prinsip kerja *flow sensor* umumnya menggunakan mekanisme turbin atau rotor yang akan berputar ketika dialiri air. Kecepatan putaran rotor tersebut sebanding dengan laju aliran air yang melewati sensor. Putaran ini kemudian diubah menjadi sinyal pulsa listrik yang akan dibaca oleh mikrokontroler. Semakin besar aliran air, maka semakin tinggi frekuensi pulsa yang dihasilkan. Data tersebut selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai debit dan volume air yang ditransfer. Dengan kemampuan ini, flow sensor banyak digunakan dalam sistem monitoring dan kontrol otomatis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mengurangi kesalahan akibat estimasi manual (Latar dkk., 2025).

8. Data Historis dan *Predictive Maintenance*

Data historis merupakan kumpulan data yang diperoleh dari hasil pencatatan aktivitas sistem dalam periode waktu tertentu. Dalam sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), data ini dikumpulkan melalui sensor yang bekerja secara berkelanjutan untuk memantau kondisi operasional perangkat. Data tersebut kemudian disimpan dalam sistem basis data atau *cloud* sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Pemanfaatan data historis memungkinkan sistem untuk mengenali pola operasi serta perubahan kondisi yang terjadi dari waktu ke waktu, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Anggraeni dkk., 2025).

Konsep *predictive maintenance* merupakan metode pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan analisis data historis dan data *real-time* untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kerusakan sebelum sistem mengalami kegagalan. Dalam pendekatan ini, data sensor seperti getaran, suhu, dan parameter operasional lainnya dikumpulkan dan dianalisis untuk mendeteksi kondisi abnormal secara dini. Hal ini memungkinkan tindakan perawatan dilakukan lebih awal sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem (Erdani dkk., 2025).

Dalam penerapannya, integrasi IoT dan *predictive maintenance* memungkinkan sistem memantau kondisi peralatan secara berkelanjutan. Data operasional yang dikumpulkan secara berkelanjutan dapat digunakan untuk menganalisis tren kinerja serta mengidentifikasi potensi gangguan sejak dini. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan dalam pemeliharaan yang lebih efektif dan terencana (Hafidhoh dkk., 2024).

Pemaparan konsep *predictive maintenance* dalam penelitian ini disajikan sebagai referensi teoritis dan wawasan pengembangan penelitian ini kedepannya, bukan sebagai bagian dari lingkup penelitian yang dilaksanakan. Sebagaimana telah ditetapkan dalam batasan masalah pada Bab I, pemanfaatan data historis dalam penelitian ini dibatasi hanya sebagai media pencatatan operasional tanpa mengimplementasikan metode *predictive maintenance* secara mendalam. Dengan demikian, teori *predictive maintenance* yang dipaparkan pada sub-bab ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran awal mengenai potensi pengembangan sistem di masa mendatang, khususnya dalam memanfaatkan data historis operasional yang telah tersimpan pada sistem untuk keperluan analisis prediktif yang lebih lanjut.

B. Penelitian yang Relevan

Dalam tahap perencanaan dan pengembangan, penulis melakukan penelaahan terhadap berbagai penelitian sebelumnya. Kajian ini digunakan sebagai landasan pertimbangan dalam penyusunan tugas akhir.

Tabel II. 1 Penelitian Yang Relevan

No	Penelitian, Tahun, Judul	Metode Penelitian	Hasil penelitian	Perbedaan
1	Penelitian (Yuliaminuddin dkk., 2021) yang berjudul “ <i>Prototype Sistem Kontrol dan Monitoring pada Tangki Air Berbasis Internet of Things</i> ”.	Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan eksperimen perancangan <i>prototype</i> .	Sama-sama menggunakan water flow sensor dan relay untuk kontrol pompa air otomatis berbasis IoT. Sama-sama menggunakan pendekatan metode eksperimen (R&D) dengan	Penelitian ini mengontrol pompa berbasis level ketinggian (sensor ultrasonik), sedangkan penelitian yang dikembangkan menggunakan flow sensor sebagai basis kontrol volume air terukur.

			perancangan <i>prototype</i>. Monitoring dilakukan secara real-time melalui perangkat mobile.	Tidak memiliki sensor kualitas air (pH maupun turbiditas). Hanya satu tangki; tidak ada mekanisme transfer antar-GWT. Tidak ada penyimpanan data historis operasional untuk predictive maintenance.
2	Penelitian (Reza dkk., 2023) yang berjudul “Monitoring Tangki Air Berbasis Internet of Things”	Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan perancangan dan implementasi sistem berbasis IoT.	Penelitian ini bertujuan membuat sistem pemantauan air secara real time serta mengetahui jumlah air di dalam tangki air menggunakan IoT, dengan objek penelitian yaitu gedung bertingkat seperti hotel, perkantoran, dan tempat industri. Sensor Ultrasonik HC-SR04 berfungsi sebagai pengukur ketinggian air dan dikirim ke NodeMCU, lalu hasilnya ditampilkan pada aplikasi Blynk. NodeMCU	Sensor yang digunakan hanya ultrasonik HC-SR04 (berbasis level/ketinggian), tidak dilengkapi dengan flow sensor berbasis volume terukur. Tidak ada sensor kualitas air (pH maupun turbiditas). Tidak ada fitur transfer antar-GWT. Tidak ada data historis operasional maupun predictive maintenance.

			juga memberi nilai kepada pompa air DC dan mampu memberikan notifikasi kepada pengguna apabila ketinggian air sudah mencapai batas tertentu.	
3	Penelitian (Eriyanto dkk., 2023) yang berjudul “Rancang Bangun Alat Monitoring Pengisian Air Otomatis Berbasis IoT”	Rancang bangun (perancangan dan realisasi perangkat keras dan lunak) dengan pengujian fungsional sistem.	Penelitian ini membuat rancang bangun alat monitoring ketinggian air, volume air yang diisi ke tandon, dan aliran air yang dikeluarkan. Pengukuran ketinggian dan volume menggunakan sensor ultrasonik, sedangkan sensor aliran air digunakan untuk mendeteksi aliran air secara jarak jauh melalui IoT. Alat monitoring menggunakan smartphone dan aplikasi Blynk dengan indikator level air, aliran air, dan volume air.	Flow sensor hanya digunakan untuk monitoring debit keluar (informatif), bukan sebagai trigger kontrol pompa berbasis volume. Tidak ada sensor kualitas air (pH dan turbiditas). Mekanisme kontrol masih semi-manual; tidak ada otomatisasi penuh transfer antar-GWT. Tidak ada penyimpanan data historis untuk predictive maintenance.

4	Penelitian (Hapsari dkk., 2024) yang berjudul “Sistem Monitoring Ketinggian dan Kualitas Air Tandon Berbasis IoT”.	Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan eksperimen perancangan <i>prototype</i> dan pengujian langsung pada perangkat.	Penelitian menggunakan sensor float water level, sensor turbidity, dan mikrokontroler ESP32 DevKit. Aplikasi Blynk digunakan untuk mengontrol pompa air (menghidupkan dan mematikan) serta memonitoring ketinggian dan kualitas air secara real-time menggunakan smartphone.	Sensor level menggunakan float water level (mekanik), bukan flow sensor berbasis volume dinamis. Parameter kualitas air hanya turbiditas; tidak ada sensor pH. Kontrol pompa berbasis level float, bukan volume terukur. Tidak ada transfer antar-GWT. Tidak ada database historis operasional untuk predictive maintenance. Skala aplikasi masih tangki rumahan, bukan infrastruktur bandara internasional.
5	Penelitian (Manurung dkk., 2022) yang berjudul Pemanfaatan ESP32 Sebagai Sistem Pemantauan Kualitas Air Keran Siap Minum Secara Real-Time Menggunakan Aplikasi	Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan eksperimen perancangan <i>prototype</i> dan pengujian sistem menggunakan sampel kalibrasi terukur serta analisis Quality of Service (QoS) jaringan	Penelitian menggunakan sensor Analog pH meter v2, Suhu DS18B20, dan Turbidity SEN0189 untuk mendeteksi nilai pH, suhu, dan kekeruhan air. Google Firebase, MIT App Inventor, dan WireShark digunakan sebagai	Fungsi sistem hanya monitoring kualitas air secara pasif; tidak ada kontrol aktuator (pompa maupun valve). Tidak ada flow sensor untuk pengukuran volume air. Tidak ada fitur transfer antar-GWT. Platform cloud menggunakan Google Firebase,

			pendukung teknologi IoT serta pemantau QoS. Pengujian menggunakan 3 sampel berbeda dengan cairan kalibrasi pH 4,9; 7,5; dan 8,8. Pengujian QoS dilakukan untuk mengetahui performa jaringan sistem	bukan database historis untuk predictive maintenance.
6	Penelitian (Dida & Watiasih, 2022) yang berjudul “Aplikasi Teknologi IoT pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tandon Air”.	Perancangan sistem dengan metode kontrol fuzzy logic tipe Mamdani dan pengujian eksperimen pada <i>prototype</i> tandon air.	Penelitian menggunakan sensor waterflow sebagai pembaca debit air, sensor ultrasonik sebagai pembaca level air, dan sensor TDS untuk mendeteksi kekeruhan air pada tandon, dihubungkan dengan Arduino ATmega 2560. Metode fuzzy logic tipe Mamdani digunakan untuk mengontrol pengisian air dalam tandon dengan aturan tingkat ketinggian dan kekeruhan air	Metode kontrol fuzzy logic Mamdani; penelitian yang dikembangkan menggunakan kontrol deterministik berbasis volume terukur. Mikrokontroler Arduino ATmega 2560 tidak memiliki WiFi bawaan; ESP32 lebih efisien dan terintegrasi. Sensor kualitas menggunakan TDS (tidak langsung); penelitian ini menggunakan turbiditas NTU dan pH secara langsung. Tidak ada transfer antar-GWT maupun

			yang dikontrol dan dimonitor menggunakan teknologi IoT pada smartphone	penyimpanan data historis. Dashboard hanya monitoring smartphone; tidak ada dashboard komputer web.
7	Penelitian (Muamaroh & Christanto, 2024) yang berjudul “Pengukur Penggunaan Air Otomatis Menggunakan Water Flow Sensor YF-S201 dan NodeMCU ESP8266 Berbasis IoT”.	Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan pendekatan perancangan <i>prototype</i> smart meter berbasis IoT dan pengujian akurasi pengukuran.	Penelitian ini menggunakan Water Flow Sensor YF-S201 untuk mengukur penggunaan air secara otomatis, Monitoring penggunaan air berbasis IoT secara real-time. Data dikirimkan ke cloud server untuk pemantauan jarak jauh.	Fokus pada pengukuran konsumsi air rumah tangga (smart meter), bukan sistem transfer antar tangki. Tidak ada sensor kualitas air (pH maupun turbiditas). Tidak ada kontrol aktuator pompa/valve secara otomatis. Tidak ada penyimpanan data historis untuk predictive maintenance.

(Sumber: Data pribadi, 2026)