Implementasi Progressive Web App sebagai Antarmuka Monitoring Kualitas Air Irigasi Berbasis Internet of Things

Yaddast Nur Qomariyah
S1 Teknik Komputer
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
yaddastnurq@student.telkomuniversity.ac.id

Ihsan Mu'tashim
S1 Teknik Komputer
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ihsanm@student.telkomuniversity.ac.id

Agung Rizki Pangestu
S1 Teknik Komputer
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
broagung@student.telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Pemantauan kualitas air irigasi masih banyak dilakukan melalui pemeriksaan langsung, sehingga perubahan kondisi air tidak selalu dapat diketahui secara cepat. Penelitian ini mengimplementasikan *Progressive Web App* IrigasiKu sebagai antarmuka untuk menampilkan data pH, suhu, dan *Total Dissolved Solids* dari sistem *Internet of Things* secara *real-time*. Aplikasi dikembangkan menggunakan React.js dan Vite, dengan Zustand untuk pengelolaan state serta Firebase Authentication dan Realtime Database untuk autentikasi dan sinkronisasi data. Fitur utama meliputi *onboarding*, dashboard status Aman-Waspada-Bahaya, indikator konektivitas, riwayat pemantauan, notifikasi, pengaturan, dan ekspor data ke Microsoft Excel. Evaluasi dilakukan melalui *black-box testing* terhadap sembilan fungsi utama dan *User Acceptance Testing* menggunakan 16 pernyataan kepada 13 responden. Seluruh *test case* memperoleh status berhasil. UAT menghasilkan rata-rata skor 4,34 dari skala 5; sebanyak 188 dari 208 respons item berada pada skor 4 atau 5, dan 12 responden menilai aplikasi baik atau sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi dapat digunakan sebagai prototipe antarmuka pemantauan awal, dengan pengembangan lanjutan diperlukan pada responsivitas, navigasi, informasi parameter, dan dukungan saat koneksi terputus.**

Kata kunci: black-box testing, Internet of Things, kualitas air irigasi, monitoring real-time, Progressive Web App, User Acceptance Testing

I. PENDAHULUAN

Kualitas air irigasi merupakan salah satu faktor yang memengaruhi keberlanjutan kegiatan pertanian. Perubahan pH, suhu, daya hantar listrik, dan kandungan zat terlarut dapat menjadi indikator awal perubahan kondisi sumber air yang digunakan untuk mengairi lahan. Evaluasi di beberapa wilayah pertanian menunjukkan bahwa parameter air irigasi dapat berubah antarwaktu dan antarlokasi, sehingga pengawasan berkala diperlukan untuk mendukung keputusan penggunaan air [1], [2].

Pada praktik lapangan, pemantauan masih sering dilakukan dengan mendatangi sungai atau saluran irigasi dan mengamati kondisi air secara langsung. Cara ini sederhana, tetapi memerlukan waktu dan tenaga, terutama ketika lahan tersebar pada beberapa titik. Pemeriksaan manual juga tidak menghasilkan rekaman terstruktur yang dapat digunakan untuk melihat tren perubahan kualitas air, sementara perubahan pencemaran dapat terjadi di luar waktu pemeriksaan. Kondisi tersebut memperlihatkan kebutuhan terhadap sistem yang dapat menyampaikan informasi secara kontinu tanpa mengharuskan pengguna selalu berada di lokasi.

Internet of Things (IoT) memungkinkan sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, layanan cloud, dan antarmuka pengguna diintegrasikan menjadi satu alur pemantauan. Penelitian sebelumnya telah menerapkan jaringan sensor untuk memantau kualitas air irigasi [3], aplikasi Android pada sistem pertanian hidroponik [4], serta sistem IoT untuk pemantauan sungai secara real-time [5]. Sistem lain menggabungkan sensor kualitas air dengan komunikasi jarak jauh agar data dapat diterima secara kontinu [6], [7]. Hasil tersebut memperkuat potensi IoT, tetapi fokus beberapa penelitian masih berada pada akuisisi dan transmisi data, sedangkan kebutuhan pengalaman pengguna, penanganan gangguan koneksi, riwayat, dan evaluasi penerimaan antarmuka belum selalu dilaporkan secara lengkap.

TABEL 1
Posisi Penelitian Terhadap Penelitian Terkait

Penelitian	Konteks dan Platform	Parameter/Fungsi Utama	Posisi terhadap IrigasiKu
Kien dkk. [3]	Jaringan sensor; kualitas air irigasi	Pemantauan parameter air secara nirkabel	Menegaskan kebutuhan data real-time; fitur aplikasi pengguna tidak menjadi fokus utama.
Rachim dkk. [4]	Android; hidroponik sistem wick	Kualitas air dan kelembapan tanaman	Akses bergerak tersedia, tetapi konteks dan alur pengguna berbeda dari pemantauan saluran irigasi.
Mat Nuri dkk. [5]	IoT; Sungai Melaka	Pemantauan kualitas air sungai secara real-time	Memperlihatkan kelayakan IoT untuk sungai; evaluasi PWA dan riwayat-ekspor tidak menjadi fokus.
Setiawati dan Fitriyani [7]	ESP32; monitoring real-time	TDS dan penyajian data IoT	Parameter lebih terbatas dan tidak dilaporkan memiliki paket fitur autentikasi, onboarding, ekspor, serta UAT.
Penelitian ini	PWA lintas perangkat; air irigasi	pH, suhu, TDS, status, riwayat, ekspor, konektivitas	Menitikberatkan implementasi dan evaluasi application layer melalui black-box testing serta UAT.

Ketersediaan data sensor tidak otomatis menghasilkan informasi yang mudah digunakan. Pengguna memerlukan penjelasan kondisi air dalam bentuk ringkas, misalnya nilai parameter, status aman atau peringatan, waktu pembaruan terakhir, riwayat, serta informasi ketika perangkat berhenti mengirim data. Tanpa penanda konektivitas, data lama berpotensi ditafsirkan sebagai kondisi terkini. Antarmuka juga harus dapat digunakan pada perangkat yang umum dimiliki calon pengguna, tidak menambah prosedur instalasi yang kompleks, dan tetap menjaga akses pengguna melalui mekanisme autentikasi.

Progressive Web App (PWA) menjadi pendekatan yang relevan karena menggunakan teknologi web tetapi dapat memberikan pengalaman menyerupai aplikasi bergerak. PWA dapat diakses melalui browser, menggunakan

antarmuka responsif, dan ditambahkan ke layar utama tanpa distribusi melalui toko aplikasi. Implementasi PWA pada sistem IoT telah menunjukkan bahwa satu basis kode dapat mengintegrasikan data perangkat, layanan, dan visualisasi pada berbagai ukuran layar [8]. Meski demikian, dukungan offline pada PWA bergantung pada rancangan aplikasi; aplikasi pemantauan *real-time* tetap memerlukan strategi khusus agar pengguna mengetahui perbedaan antara data aktif dan data terakhir.

IrigasiKu dikembangkan sebagai prototipe sistem monitoring kualitas air irigasi berbasis IoT dengan parameter pH, suhu air, dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Penelitian ini berfokus pada lapisan aplikasi yang menerjemahkan data dari *service layer* menjadi informasi operasional. Aplikasi menyediakan autentikasi, onboarding pengguna baru, dashboard status, kartu parameter, riwayat, ekspor laporan, pengaturan notifikasi, indikator koneksi internet, serta indikator perangkat monitoring. Perangkat sensor, komunikasi MQTT, dan penyimpanan cloud dibahas sebagai sumber data pendukung, bukan sebagai objek evaluasi utama artikel.

Tujuan penelitian adalah mengimplementasikan PWA IrigasiKu sebagai antarmuka pemantauan kualitas air irigasi berbasis IoT dan mengevaluasi kesesuaian fungsi serta penerimaan awal pengguna. Evaluasi dilakukan melalui pengujian sinkronisasi *real-time*, kondisi offline, kompatibilitas perangkat, *black-box testing*, dan *User Acceptance Testing* (UAT). Kontribusi penelitian terletak pada integrasi visualisasi *real-time*, klasifikasi status berbasis aturan, penyampaian status konektivitas, pengelolaan riwayat, dan evaluasi pengguna dalam satu prototipe aplikasi yang ditujukan untuk konteks pertanian.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things dan Monitoring Real-Time

Internet of Things merupakan pendekatan yang menghubungkan objek fisik, jaringan, layanan pengolahan, dan aplikasi agar data dapat dipertukarkan secara otomatis. Pada sistem monitoring kualitas air, sensor berada pada lapisan persepsi, jaringan mengirimkan hasil pengukuran, layanan cloud menyimpan dan mendistribusikan data, sedangkan lapisan aplikasi menampilkan informasi kepada pengguna. Protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) banyak digunakan pada komunikasi machine-to-machine karena model *publish/subscribe* memisahkan pengirim dan penerima serta mendukung pesan berukuran ringan [9].

Karakteristik *real-time* pada penelitian ini berarti aplikasi menerima perubahan data dan memperbarui komponen antarmuka tanpa pemuatan ulang halaman secara manual. Implementasi *realtime* database pada aplikasi IoT dapat menyinkronkan perubahan data server menuju antarmuka pengguna [10]. Mekanisme tersebut penting agar nilai pH, suhu, dan TDS yang dilihat pengguna mengikuti pembaruan dari perangkat lapangan, sekaligus memungkinkan aplikasi menyimpan data historis untuk peninjauan berikutnya.

B. Progressive Web App dan Arsitektur Aplikasi

Progressive Web App adalah aplikasi web yang memanfaatkan kemampuan browser modern untuk memberikan pengalaman menyerupai aplikasi perangkat bergerak. PWA dapat menggunakan manifest, ikon, antarmuka responsif, dan mekanisme instalasi ke layar utama. Dalam integrasi IoT, pendekatan ini memungkinkan satu application layer menyajikan data perangkat tanpa harus memelihara basis kode Android dan iOS secara terpisah [8].

Arsitektur frontend yang modular memisahkan halaman, komponen antarmuka, layanan komunikasi, dan pengelolaan *state*. Pemisahan tersebut mendukung *separation of concerns* karena autentikasi, sinkronisasi data, visualisasi, serta navigasi dapat dikembangkan dan diuji melalui fungsi yang berbeda. Pada aplikasi IrigasiKu, React.js digunakan untuk membentuk komponen, Vite untuk proses build, React Router untuk pengaturan rute, dan Zustand untuk *state global.*

C. Sinkronisasi Data, Autentikasi, dan Pengelolaan State

Firebase Realtime Database berperan sebagai layanan sinkronisasi data antara *service layer* dan aplikasi. Ketika nilai sensor atau riwayat berubah, aplikasi menerima pembaruan melalui *listener* dan mendistribusikannya ke komponen dashboard. Firebase Authentication digunakan untuk memverifikasi akun sebelum akses ke halaman monitoring diberikan. Pemisahan antara autentikasi dan aliran data membantu menjaga rute aplikasi tetap terstruktur dan mencegah halaman utama dibuka sebelum sesi pengguna valid.

Zustand menyimpan data sensor, riwayat, status koneksi, pengaturan notifikasi, identitas perangkat, serta sesi pengguna sebagai *single source of truth*. Pengelolaan state terpusat mengurangi pengulangan pengambilan data pada setiap komponen dan menjaga konsistensi nilai yang ditampilkan pada dashboard, riwayat, serta halaman pengaturan. *Middleware persist* digunakan untuk menyimpan state tertentu pada *local storage* sehingga preferensi pengguna dapat dipertahankan setelah halaman dimuat ulang.

D. Klasifikasi Status Kualitas Air

Nilai sensor perlu diterjemahkan menjadi informasi yang dapat segera dipahami pengguna. IrigasiKu menggunakan *rule engine* untuk mengklasifikasikan setiap parameter ke dalam status Normal, Waspada, atau Bahaya. Rentang parameter mengacu pada kebutuhan sistem dan referensi kualitas air untuk pertanian [11]. Status agregat dashboard ditentukan melalui prinsip kondisi terburuk: keberadaan satu parameter Bahaya menghasilkan status sistem Bahaya; apabila tidak ada Bahaya tetapi terdapat Waspada, status sistem menjadi Waspada; sedangkan seluruh parameter normal menghasilkan status Aman.

E. Black-Box Testing dan User Acceptance Testing

Black-box testing mengevaluasi perilaku perangkat lunak berdasarkan masukan, kondisi eksekusi, dan keluaran tanpa meninjau struktur internal program [12]. Skenario diturunkan dari kebutuhan fungsi, kemudian hasil aktual dibandingkan dengan hasil yang diharapkan. ISTQB menempatkan pengujian berbasis spesifikasi sebagai pendekatan untuk memeriksa kesesuaian perilaku sistem terhadap kebutuhan yang ditetapkan [13].

User Acceptance Testing digunakan untuk mengetahui apakah fungsi dan antarmuka dapat diterima oleh pengguna yang dituju [14]. Data kuesioner berskala Likert dapat diringkas menggunakan frekuensi, persentase, dan rata-rata secara deskriptif, tetapi interpretasinya perlu dibatasi pada kelompok responden dan instrumen yang digunakan [15].

Instrumen penelitian ini terdiri atas 16 pernyataan, sehingga hasilnya tidak dihitung *sebagai System Usability Scale* (SUS), yang memiliki sepuluh pernyataan baku dan tata hitung tersendiri [16].

III. METODE

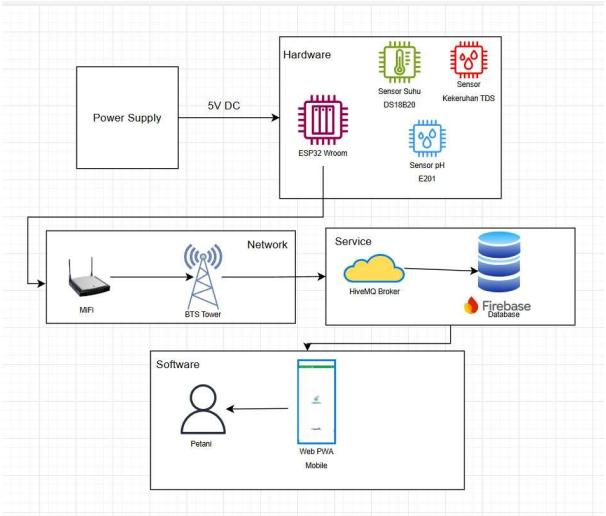
A. Ruang Lingkup dan Tahapan Pengembangan

Objek penelitian adalah subsistem aplikasi PWA IrigasiKu. Data aplikasi berasal dari perangkat monitoring yang mengukur pH, suhu air, dan TDS, kemudian dikirim melalui jaringan dan disimpan pada layanan cloud. Pengujian akurasi sensor, desain PCB, casing, konsumsi daya, serta kapasitas cloud tidak dianalisis sebagai hasil utama artikel. Pembatasan tersebut menjaga fokus penelitian pada perancangan *application layer* dan interaksi pengguna.

Tahapan pengembangan terdiri atas analisis kebutuhan, perancangan alur, implementasi antarmuka, integrasi layanan data, pengujian internal, dan pengujian penerimaan pengguna. Analisis kebutuhan dilakukan berdasarkan proses pemantauan mitra dan spesifikasi sistem, terutama kebutuhan melihat kondisi air tanpa mendatangi titik sensor secara berulang. Perancangan mencakup autentikasi, onboarding, dashboard, riwayat, pengaturan, klasifikasi status, serta penanganan gangguan koneksi. Setelah implementasi dan integrasi selesai, fungsi diuji secara internal sebelum aplikasi diberikan kepada responden UAT.

B. Arsitektur Sistem dan Aliran Data

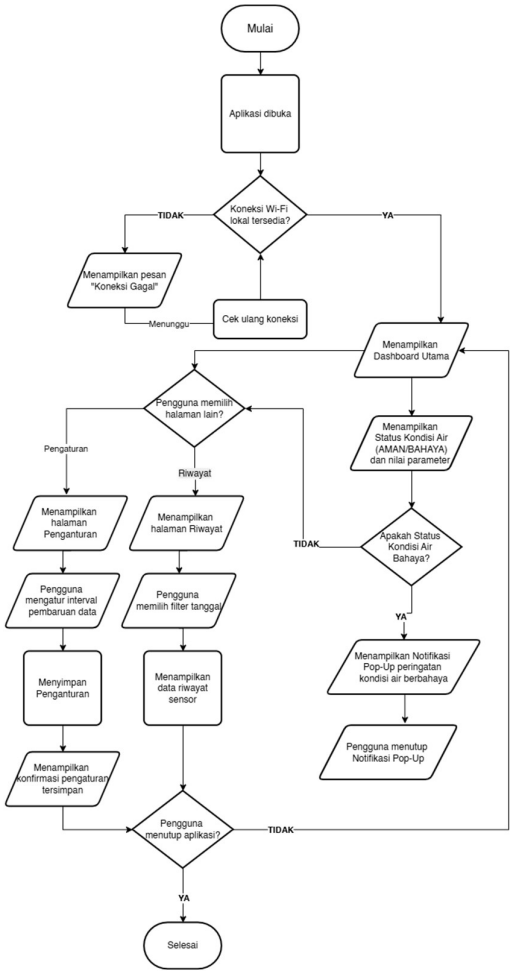
Aliran data dimulai dari sensor pH, suhu, dan TDS yang dibaca oleh ESP32. Data dipublikasikan melalui MQTT menuju layanan cloud dan diteruskan ke Firebase Realtime Database. PWA IrigasiKu memasang listener untuk menerima nilai terbaru serta riwayat, kemudian menempatkannya pada *state global*. Komponen antarmuka membaca state tersebut untuk menampilkan nilai numerik, grafik, status, peringatan, waktu pembaruan, dan konektivitas kepada pengguna. Arsitektur ringkas ditunjukkan pada Gambar 1.



GAMBAR 1
Arsitektur aliran data menuju PWA IrigasiKu

C. Perancangan Alur Aplikasi

Aplikasi dimulai dengan pemeriksaan koneksi internet pada perangkat pengguna. Jika koneksi tidak tersedia, banner offline ditampilkan. Ketika koneksi tersedia, sistem memeriksa sesi autentikasi. Pengguna yang belum masuk diarahkan ke halaman login, sedangkan akun baru diarahkan ke *onboarding* sebelum mengakses dashboard. Setelah dashboard aktif, fungsi sinkronisasi data dijalankan dan aplikasi memantau status perangkat lapangan. Nilai sensor diproses oleh *rule engine*, lalu aplikasi menampilkan status dan terus memperbarui informasi sampai sesi ditutup. Alur tersebut dirangkum pada Gambar 2.



GAMBAR 2
Alur operasional PWA IrigasiKu

Ketika aplikasi dibuka, sistem memeriksa konektivitas melalui navigator.onLine dan memvalidasi sesi. Pengguna yang belum terautentikasi diarahkan ke halaman login. Pengguna baru diarahkan ke onboarding sebelum membuka dashboard. Setelah dashboard aktif, fungsi startSensorStream() memulai sinkronisasi data dan status koneksi perangkat dipantau melalui state isConnected.

Klasifikasi nilai dilakukan oleh fungsi getWaterStatus(). pH 6,5-8,4 dikategorikan normal; pH 5,0 hingga kurang dari 6,5 atau lebih dari 8,4 hingga 9,0 dikategorikan Waspada; nilai di bawah 5,0 atau di atas 9,0 dikategorikan Bahaya. Suhu 20-35 °C dikategorikan normal, 15 hingga kurang dari 20 °C atau lebih dari 35 hingga 40 °C dikategorikan Waspada, sedangkan nilai di luar rentang tersebut dikategorikan Bahaya. TDS sampai 450 ppm dikategorikan bersih, lebih dari 450 sampai 2.000 ppm dikategorikan Waspada, dan lebih dari 2.000 ppm dikategorikan Bahaya. Status agregat mengikuti kondisi dengan tingkat risiko tertinggi.

D. Implementasi Teknologi dan Fitur

Aplikasi dikembangkan dengan pendekatan berbasis komponen. Halaman utama terdiri atas autentikasi, *onboarding*, dashboard, riwayat, dan pengaturan. Komponen reusable digunakan untuk kartu status, kartu sensor, banner koneksi, grafik, navigasi, dan notifikasi. Teknologi utama ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2
Teknologi Utama Aplikasi

Teknologi	Fungsi
React.js dan Vite	Komponen antarmuka dan proses build aplikasi.
React Router	Proteksi serta perpindahan rute halaman.
Zustand	State sensor, riwayat, koneksi, pengaturan, dan sesi.
Firebase Authentication	Verifikasi akun Google dan nomor telepon.
Firebase Realtime Database	Sinkronisasi nilai sensor dan riwayat secara real-time.
Recharts dan XLSX	Visualisasi grafik dan ekspor laporan .xlsx.
Vite Plugin PWA	Manifest dan dukungan instalasi PWA.

E. Implementasi Klasifikasi Status

Rule engine getWaterStatus() menerima jenis parameter dan nilai numerik. Setiap nilai dibandingkan dengan ambang implementasi, lalu fungsi mengembalikan label, warna teks, dan warna latar. Nilai pH di bawah 5,0 atau di atas 9,0 diklasifikasikan Bahaya, sedangkan pH 5,0-6,5 atau 8,4-9,0 diklasifikasikan Waspada. Suhu di bawah 15 °C atau di atas 40 °C masuk kategori Bahaya, sedangkan 15-20 °C atau 35-40 °C masuk Waspada. TDS di atas 2000 ppm diklasifikasikan Bahaya dan nilai di atas 450 sampai 2000 ppm diklasifikasikan Waspada. Rentang tersebut digunakan sebagai logika tampilan prototipe dan perlu disesuaikan kembali apabila sistem diterapkan pada jenis tanaman atau regulasi operasional yang berbeda.

F. Skenario Pengujian Aplikasi

Pengujian internal mencakup empat kelompok. Pertama, pengujian sinkronisasi memeriksa pembaruan pH, suhu, dan TDS tanpa *page reload*. Kedua, pengujian kondisi offline mematikan internet perangkat, mengaktifkannya kembali, dan menghentikan aliran data ESP32. Ketiga, pengujian kompatibilitas menjalankan aplikasi melalui Chrome Android pada empat perangkat. Keempat, black-box testing menggunakan sembilan *test case* yang mewakili konektivitas, akses, *onboarding*, sinkronisasi, status perangkat, peringatan parameter, ekspor, dan logout.

Status Berhasil diberikan apabila hasil aktual sesuai dengan hasil yang diharapkan. Temuan tata letak tetap dicatat walaupun fungsi utama berjalan, sehingga keberhasilan fungsional tidak digunakan untuk menyimpulkan bahwa antarmuka bebas masalah. Pendekatan ini memisahkan *defect* yang menggagalkan fungsi dari kendala usability dan responsivitas yang membutuhkan tindak lanjut.

G. Pelaksanaan UAT dan Analisis Data

UAT melibatkan 13 responden yang memiliki keterkaitan dengan kegiatan pertanian: satu perwakilan mitra, tiga petani, lima mahasiswa pertanian, dan empat keluarga atau kerabat petani. Enam responden berusia di bawah 30 tahun, lima berusia 30-40 tahun, satu berusia 41-50 tahun, dan satu berusia 51-60 tahun. Dua responden pernah memakai aplikasi pertanian, sedangkan 11 belum pernah menggunakan aplikasi sejenis.

Instrumen terdiri atas wawancara terstruktur dengan perwakilan mitra dan kuesioner 16 pernyataan berskala 1-5. Aspek yang dinilai meliputi kemudahan penggunaan, navigasi, keterbacaan, pemahaman status, pembaruan data, manfaat riwayat, manfaat peringatan, dan kesediaan menggunakan aplikasi. Data diolah dengan distribusi frekuensi, persentase respons, serta rata-rata aritmetika.

$$Rata - rata\ Skor = \frac{Total\ Skor}{Jumlah\ Seluruh\ Respon} \quad (1)$$

$$Rata - rata\ Skor = \frac{902}{208}$$

$$Rata - rata\ Skor = 4.34$$

$$Jumlah\ Respons\ Skor\ 4\ dan\ 5 = 97 + 91 \quad (2)$$

$$Jumlah\ Respons\ Skor\ 4\ dan\ 5 = 188\ respons\ item$$

$$Persentase\ Skor\ 4\ dan\ 5 = \frac{188}{208} \times 100\% = 90.38\%$$

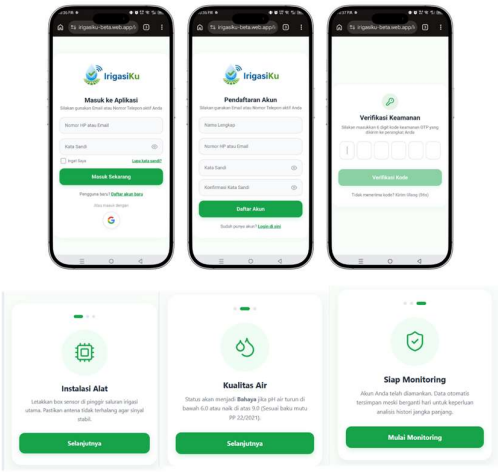
Nilai 4,34 digunakan sebagai ringkasan deskriptif seluruh respons item, bukan sebagai skor SUS. Persentase 90,38% juga merupakan proporsi respons item pada skor 4 dan 5, bukan persentase responden yang menerima aplikasi dan bukan batas kelayakan sistem.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Autentikasi dan Onboarding

Halaman autentikasi menjadi gerbang akses menuju dashboard. Firebase Authentication menangani login melalui akun Google dan verifikasi nomor telepon, sedangkan proteksi rute mengarahkan pengguna tanpa sesi valid kembali ke halaman login. State isLoggedIn digunakan untuk mengontrol sesi dan navigasi. Apabila metadata akun menunjukkan pengguna baru, aplikasi menjalankan onboarding sebelum dashboard dibuka.

Onboarding terdiri atas tiga tahap yang menjelaskan pemasangan node sensor, interpretasi awal kualitas air, serta kesiapan monitoring dan penyimpanan data. Mekanisme multi-step tersebut menutup kesenjangan informasi awal, terutama bagi pengguna yang belum pernah menggunakan aplikasi pertanian. Tampilan autentikasi dan *onboarding* ditunjukkan pada Gambar 3.

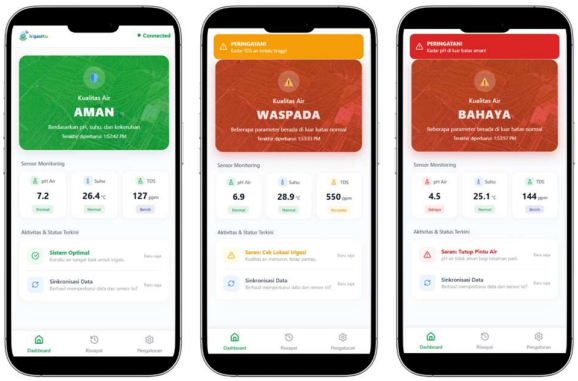


GAMBAR 3
Antarmuka Autentikasi dan Onboarding Pengguna Baru

B. Dashboard, Riwayat, dan Pengelolaan Sesi

Dashboard menampilkan status agregat, nilai pH, suhu, TDS, waktu pembaruan terakhir, status sinkronisasi, dan rekomendasi tindakan. Status Aman, Waspada, dan Bahaya dibedakan melalui label dan warna. Kombinasi label serta warna dipilih agar kondisi tidak bergantung pada warna saja. Ketika satu parameter masuk kategori Bahaya, status agregat mengambil prioritas Bahaya; jika tidak terdapat Bahaya tetapi terdapat Waspada, status agregat menjadi Waspada.

Hasil implementasi tiga kondisi dashboard ditunjukkan pada Gambar 4. Penyajian status agregat membantu pengguna memperoleh ringkasan cepat, sedangkan kartu parameter mempertahankan detail numerik yang diperlukan untuk menilai penyebab perubahan status. Pada kondisi perangkat offline, visual dashboard diredupkan dan data terakhir dipertahankan agar pengguna tetap memperoleh konteks tanpa menganggap data tersebut sebagai pembaruan aktif.

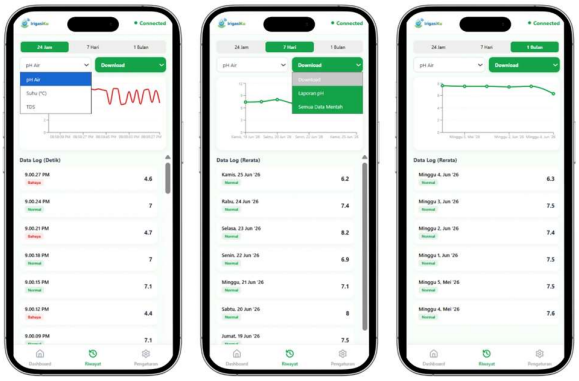


GAMBAR 4
Antarmuka dashboard pada kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya

.

Halaman Riwayat menyajikan data berdasarkan rentang 24 jam, tujuh hari, dan satu bulan. Pengguna dapat memilih parameter, melihat grafik serta log kronologis, kemudian mengekspor data ke Microsoft Excel. Implementasi ini menambah fungsi dokumentasi yang tidak tersedia pada pemeriksaan visual manual dan dapat digunakan untuk meninjau waktu terjadinya perubahan parameter.

Halaman Pengaturan menyediakan kendali notifikasi dan fungsi logout. Proses logout menghapus sesi, menghentikan stream sinkronisasi, dan mengarahkan pengguna kembali ke halaman autentikasi. Penghentian stream penting agar listener tidak terus berjalan setelah sesi penggunaan berakhir.



GAMBAR 5
Antarmuka Riwayat dan Pilihan Ekspor Laporan

C. Sinkronisasi Real-Time dan Penanganan Koneksi

Pengujian sinkronisasi menunjukkan bahwa perubahan nilai pH, suhu, dan TDS diperbarui pada dashboard tanpa page reload. Ketika internet perangkat dimatikan, aplikasi menampilkan banner offline. Setelah koneksi kembali aktif, sinkronisasi berjalan kembali. Ketika ESP32 tidak mengirim data, aplikasi menampilkan status perangkat offline dan mempertahankan data terakhir. Informasi gangguan ditunjukkan pada Gambar 6.



GAMBAR 6
Banner Gangguan Internet dan Koneksi Perangkat

Penanganan tersebut mengurangi risiko pengguna menafsirkan data lama sebagai data aktif. Namun, fitur ini belum setara dengan operasi penuh tanpa jaringan. Aplikasi belum menyimpan pembaruan sensor baru ketika koneksi perangkat lapangan terputus dan belum memiliki antrean lokal untuk dikirim ulang. Dukungan offline pada versi ini terbatas pada penyampaian status, pemeliharaan data terakhir, dan pemulihan sinkronisasi ketika koneksi tersedia.

D. Hasil Pengujian Kompatibilitas

Aplikasi diuji melalui Chrome Android pada empat perangkat dengan versi sistem operasi yang berbeda. Seluruh perangkat menampilkan fungsi utama secara optimal dan tidak mengalami crash selama skenario pengujian. Hasil tersebut memberikan indikasi kompatibilitas awal pada Android 9 sampai Android 15, tetapi belum mencakup browser lain, iOS, tablet, aksesibilitas, konsumsi data, dan penggunaan jangka panjang.

TABEL 3
Hasil Pengujian Kompatibilitas

Perangkat	Android	Browser	Hasil
Infinix Zero 30 4G	14	Chrome Android	Optimal
Samsung Galaxy A04s	12	Chrome Android	Optimal
Xiaomi Redmi Note	15	Chrome Android	Optimal
OPPO A12	9	Chrome Android	Optimal

E. Hasil Black-Box Testing dan Alpha Testing

Seluruh sembilan *test case* memperoleh status Berhasil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa alur fungsi yang diuji dapat memberikan keluaran sesuai rancangan, tetapi tidak membuktikan aplikasi bebas *defect.* Rekapitulasi fungsi ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL 4
Rekapitulasi Black-Box Testing

No.	Fungsi yang Diuji	Hasil Utama	Status
1	Deteksi konektivitas internet	Banner offline muncul ketika internet dimatikan.	Berhasil
2	Proteksi rute navigasi	Akses tanpa login diarahkan ke halaman login.	Berhasil
3	Validasi pengguna baru	Akun baru diarahkan ke onboarding.	Berhasil
4	Sinkronisasi data real-time	pH, suhu, dan TDS diperbarui tanpa reload.	Berhasil
5	Monitoring koneksi perangkat	Status perangkat offline ditampilkan.	Berhasil
6	Peringatan parameter pH	Status Bahaya tampil saat pH kritis.	Berhasil
7	Peringatan suhu dan TDS	Status peringatan tampil saat ambang terlewati.	Berhasil
8	Ekspor riwayat data	Laporan .xlsx berhasil diunduh.	Berhasil
9	Logout dan terminasi sesi	Sesi dihentikan dan halaman login tampil.	Berhasil

Alpha testing menemukan empat kendala antarmuka. Navbar belum responsif, tombol ekspor menutupi sebagian log, judul halaman menggunakan ruang terlalu besar, dan halaman masih dapat diperbesar pada perangkat Android. Tiga temuan pertama telah ditindaklanjuti melalui navbar tetap di bawah, perubahan tombol ekspor menjadi dropdown, dan penghapusan judul halaman. Pembatasan zoom Android belum selesai. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kesesuaian fungsi perlu dilengkapi evaluasi responsivitas dan pengalaman penggunaan.

TABEL 5
Temuan Dan Tindak Lanjut Alpha Testing

Temuan	Dampak	Tindak Lanjut	Status
Navbar tidak responsif	Sedang	Mengunci navbar di bagian bawah.	Selesai
Tombol ekspor menutupi log	Tinggi	Mengubah tombol menjadi dropdown.	Selesai
Judul halaman memakai ruang besar	Rendah	Menghapus judul halaman.	Selesai
Halaman masih dapat di-zoom	Tinggi	Membatasi zoom pada Android.	Selesai

F. Hasil User Acceptance Testing

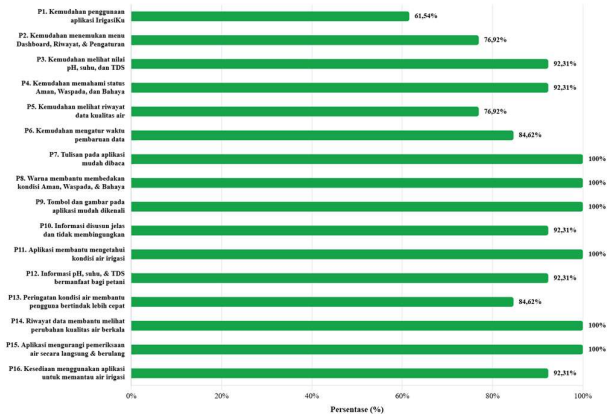
Kuesioner menghasilkan 208 respons item dari 13 responden dan 16 pernyataan. Distribusi terdiri atas 0 respons pada skor 1, satu respons pada skor 2, 19 respons pada skor 3, 97 respons pada skor 4, dan 91 respons pada skor 5. Total skor sebesar 902 menghasilkan rata-rata 4,34. Sebanyak 188 respons atau 90,38% berada pada skor 4 dan 5. Distribusi lengkap disajikan pada Tabel 6.

TABEL 6
Distribusi Skor UAT

Skor	Jumlah Respons	Persentase
1	0	0%
2	1	0,48%
3	19	9,13%
4	97	46,63%
5	91	43,75%
Total	208	100%

Enam pernyataan memperoleh skor 4 atau 5 dari seluruh responden, yaitu keterbacaan tulisan, penggunaan warna untuk membedakan kondisi air, kemudahan mengenali tombol dan gambar, manfaat aplikasi untuk mengetahui kondisi air, manfaat riwayat, serta kemampuan aplikasi mengurangi pemeriksaan langsung dan berulang. Persentase skor 4 dan 5 terendah terdapat pada kemudahan penggunaan secara umum sebesar 61,54%. Kemudahan menemukan menu serta melihat riwayat masing-masing memperoleh 76,92%. Hasil ini menunjukkan bahwa manfaat inti dipahami, tetapi navigasi dan penyajian riwayat masih menjadi friction point.

Penilaian keseluruhan terdiri atas empat responden atau 30,77% yang menilai Sangat Baik, delapan responden atau 61,54% yang menilai Baik, dan satu responden atau 7,69% yang menilai Cukup Baik. Dengan demikian, 12 dari 13 responden memberikan penilaian Baik atau Sangat Baik. Penerimaan tersebut perlu dibaca sebagai indikasi awal karena jumlah responden terbatas dan karakteristiknya beragam.



GAMBAR 7
Persentase Respons Skor 4 Dan 5 Pada Setiap Pernyataan UAT

G. Masukan Pengguna dan Keterbatasan

Masukan terbuka mencakup penambahan lokasi dan cakupan sensor, penjelasan arti pH, suhu, dan TDS beserta tindakan yang dapat dilakukan, pilihan interval riwayat yang lebih panjang, peningkatan kontras warna Waspada dan

Bahaya, serta navigasi bawah yang tetap terlihat ketika halaman digulir. Saran tersebut konsisten dengan penilaian yang lebih rendah pada kemudahan penggunaan umum dan akses riwayat, sehingga prioritas perbaikan tidak hanya berasal dari asumsi pengembang.

Masukan lain meliputi penambahan tinggi air, pH tanah, unsur hara, serta evaluasi aplikasi secara berkala. Parameter tambahan berada di luar ruang lingkup aplikasi saat ini, tetapi memperlihatkan kebutuhan pengembangan ekosistem monitoring yang lebih luas. Untuk lapisan aplikasi, prioritas jangka dekat adalah fixed navigation, informasi lokasi sensor, panel edukasi parameter, interval grafik yang lebih fleksibel, dan peningkatan kontras indikator.

Penelitian memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah responden UAT hanya 13 orang dan terdiri atas pengguna utama serta evaluator pendukung, sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi kepada populasi petani. Instrumen 16 pernyataan bukan SUS baku; oleh karena itu, rata-rata 4,34 tidak dapat dibandingkan langsung dengan kategori skor SUS. Kompatibilitas hanya diuji pada Chrome Android, sedangkan performa iOS, browser lain, aksesibilitas, keamanan aplikasi secara mendalam, konsumsi data, dan penggunaan jangka panjang belum dievaluasi. Aplikasi juga masih bergantung pada internet untuk menerima pembaruan data sensor.

V. KESIMPULAN

Progressive Web App IrigasiKu telah diimplementasikan sebagai antarmuka monitoring kualitas air irigasi berbasis *Internet of Things*. Aplikasi mengelola autentikasi dan *onboarding*, menyinkronkan data pH, suhu, dan TDS secara real-time, mengklasifikasikan kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya, menampilkan status koneksi, menyajikan riwayat, mengekspor laporan, serta mengelola notifikasi dan sesi pengguna. Pengujian sinkronisasi, kondisi offline, dan kompatibilitas menunjukkan fungsi dapat berjalan pada skenario yang ditetapkan. *Black-box testing* menunjukkan seluruh sembilan fungsi utama berhasil, meskipun *alpha testing* masih menemukan kendala responsivitas. UAT terhadap 13 responden menghasilkan rata-rata 4,34 dari skala 5, dengan 188 dari 208 respons item berada pada skor 4 atau 5 dan 12 responden menilai aplikasi Baik atau Sangat Baik. Hasil tersebut memperlihatkan kecenderungan penerimaan positif terhadap prototipe sebagai antarmuka pemantauan awal, bukan bukti efektivitas pada populasi luas. Pengembangan berikutnya perlu diarahkan pada penyimpanan sementara ketika koneksi terputus, *fixed navigation*, informasi lokasi dan arti parameter, pilihan interval riwayat, penyempurnaan responsivitas, serta pengujian dengan pengguna yang lebih representatif dan perangkat yang lebih beragam.

REFERENSI

[1] Badan Pusat Statistik, “Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2022,” BPS, Jakarta, 2022. [Daring]. Tersedia: https://www.bps.go.id/id/publication/2022/11/30/eb06d1c8e37285cac10c3086/statistik-lingkungan-hidup-indonesia-2022.html

[2] A. K. Anita, “Evaluasi Kualitas Air Irigasi di Daerah Garut Berdasarkan pH, EC, Suhu dan Debit Aliran,” J. Teknol. Pangan dan Ilmu Pertan., vol. 6, no. 2, pp. 56-61, 2024, doi: 10.36526/jipang.v6i02.4966.

[3] H. T. Kien, H. A. Minh, and W. Jeungprasopsuk, “Application of Wireless Sensor Network in Monitoring Quality of Irrigation Water,” J. Eng. Technol. Appl. Sci., vol. 6, no. 2, pp. 93-102, Aug. 2024, doi: 10.36079/lamintang.jetas-0602.682.

[4] J. J. D. Rachim, R. Molenaar, and H. Wullur, “Mengaplikasikan Model IoT Pertanian dalam Memantau Kualitas Air dan Kelembaban pada Tanaman Hidroponik Sistem Wick Berbasis Android,” J. Teknol. Pertan., vol. 15, no. 1, pp. 43-54, 2024.

[5] N. R. Mat Nuri, M. I. Fahmy Rosley, M. E. Ayob, S. Mohamad, and N. A. Abu Bakar, “Real-time Water Quality Monitoring System using IoT: Application at Melaka River, Malaysia,” J. Adv. Res. Appl. Mech., vol. 121, no. 1, pp. 66-78, Jul. 2024, doi: 10.37934/aram.121.1.6678.

[6] V. Lakshmikantha, A. Hiriyannagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, and A. A. Anthony, “IoT Based Smart Water Quality Monitoring System,” Global Transitions Proc., vol. 2, no. 2, pp. 181-186, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.062.

[7] P. N. Setiawati and Fitriyani, “Sistem Monitoring Realtime Kualitas Air Berbasis IoT dengan Sensor TDS dan NodeMCU ESP32,” JIKA (Jurnal Inform.), vol. 9, no. 3, pp. 347-354, 2025.

[8] M. Mena, A. Corral, L. Iribarne, and J. Criado, “A Progressive Web Application Based on Microservices Combining Geospatial Data and the Internet of Things,” IEEE Access, vol. 7, pp. 104577-104590, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932196.

[9] B. Mishra and A. Kertész, “The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey,” IEEE Access, vol. 8, pp. 201071-201086, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035849.

[10] E. Swahadika and I. K. Wibowo, “Implementation of Realtime Database for IoT Home Automation and Energy Monitoring Apps based on Android,” in Proc. 2019 International Electronics Symposium, 2019, pp. 170-175, doi: 10.1109/ELECSYM.2019.8901558.

[11] R. S. Ayers and D. W. Westcot, Water Quality for Agriculture. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.

[12] S. Desikan and G. Ramesh, Software Testing: Principles and Practices. New Delhi, India: Pearson, 2011.

[13] International Software Testing Qualifications Board, “ISTQB Certified Tester Foundation Level Syllabus Version 4.0.1,” ISTQB, 2024.

[14] A. Aliyah, N. Hartono, and A. A. Muin, “Penggunaan User Acceptance Testing pada Pengujian Sistem Informasi Pengelolaan Keuangan dan Inventaris Barang,” Switch J. Sains dan Teknol. Inf., vol. 3, no. 2, pp. 42-58, 2025, doi: 10.62951/switch.v3i1.330.

[15] G. M. Sullivan and A. R. Artino Jr., “Analyzing and Interpreting Data From Likert-Type Scales,” J. Grad. Med. Educ., vol. 5, no. 4, pp. 541-542, 2013, doi: 10.4300/JGME-5-4-18.

[16] J. Brooke, “SUS: A Quick and Dirty Usability Scale,” in Usability Evaluation in Industry, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. McClelland, Eds. London, U.K.: Taylor & Francis, 1996, pp. 189-194.