

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe sistem pengisian cairan otomatis, meliputi sensor *load cell*, sensor ultrasonik, sistem *interlock*, proteksi, pengisian otomatis, dan monitoring IoT. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan dokumentasi, kemudian dianalisis untuk menilai keberhasilan sistem dalam fungsi pengukuran, pengendalian, proteksi, dan monitoring.

4.1.1 Hasil Perancangan

Pengujian kondisi operasi sistem dilakukan untuk memastikan seluruh tahapan kerja sistem dapat berjalan sesuai dengan logika kontrol yang telah diprogram pada ESP32.

Tabel 4. 1 Status Sistem

No	Kondisi	Input	Hasil
1	<i>Standby</i>	Tangki belum terdeteksi	Sistem <i>standby</i>
2	<i>Ready</i>	<i>Limit switch</i> aktif	Sistem siap pengisian
3	<i>Filling</i>	Tombol <i>start</i> ditekan	Pompa aktif
4	<i>Complete</i>	Berat mencapai target	Pompa berhenti
5	Reset	Tangki dilepas	Sistem kembali <i>standby</i>

Tabel 4. 2 Tampilan LCD

Keterangan	Gambar LCD
Tampilan LCD <i>standby</i>	
Tampilan LCD siap mengisi (<i>interlock</i> aktif)	

Tampilan LCD kondisi pengisian	
Tampilan LCD kondisi pengisian selesai	

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengisian cairan otomatis. Data hasil pengujian dianalisis guna menilai keberhasilan fungsi pengukuran, pengendalian, proteksi, dan monitoring sistem.

4.1.2 Hasil Pengukuran *Load Cell*

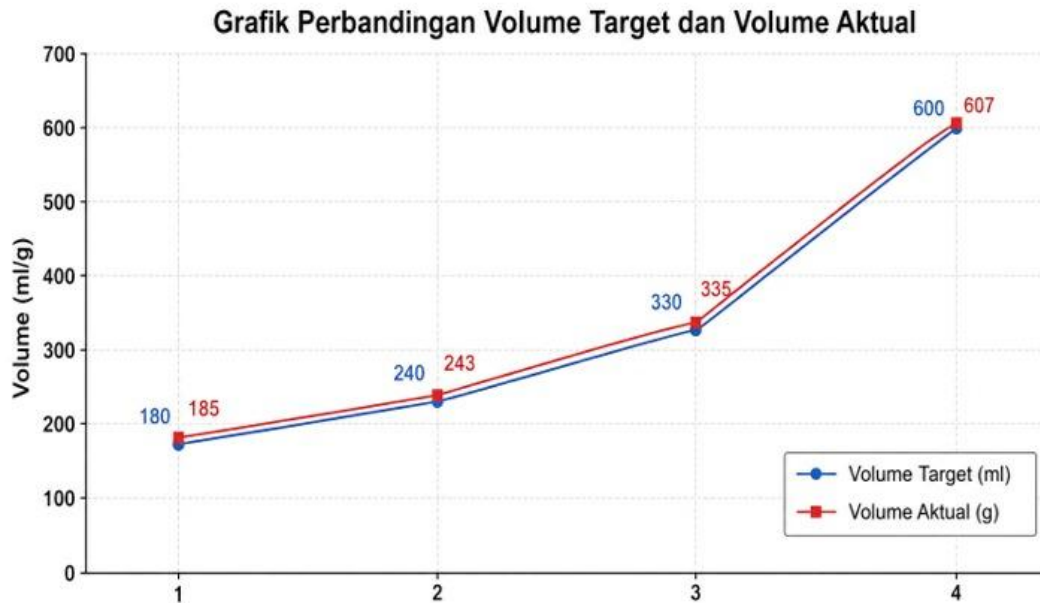
Pengujian sensor berat dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan *load cell* dalam mengukur massa cairan sebagai parameter utama pengisian otomatis. Sensor *load cell* yang terhubung dengan modul HX711 digunakan untuk membaca perubahan massa pada tangki kendaraan selama proses pengisian, kemudian data tersebut diproses oleh ESP32 untuk mengendalikan penghentian pompa secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi massa target pada tangki kendaraan, sedangkan nilai kesalahan dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Error}(100\%) = \frac{\text{volume aktual} - \text{volume target}}{\text{volume target}} \times 100\%$$

Kemudian membandingkan nilai target dengan massa aktual yang terbaca oleh sistem. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran Load cell

Pengujian	Volume Target (ml)	Volume Aktual (g)	Tingkat eror(%)
1	180	185	2,78
2	240	243	1,25
3	330	335	1,52
4	600	607	1,17



Gambar 4. 1 Grafik Pengujian *Load cell*

Berdasarkan Tabel 4.3, diperoleh nilai error rata-rata sebesar 1,68%, yang menunjukkan bahwa *load cell* memiliki akurasi pengukuran yang baik. Error terbesar terjadi pada pengujian pertama, sedangkan error terkecil pada pengujian keempat. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan massa dengan baik melalui perubahan resistansi *strain gauge* yang diperkuat oleh modul HX711 dan diproses oleh ESP32.

$$\text{Rata-rata error} = \frac{2,78\% + 1,25\% + 1,52\% + 1,17\%}{4}$$

$$\text{Rata-rata error} = \frac{6,72\%}{4} = 1,68\%$$

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, diperoleh nilai error 1,68% Nilai tersebut menunjukkan bahwa *load cell* mampu mengukur berat cairan dengan tingkat akurasi yang baik. Error terbesar terjadi pada pengujian pertama, sedangkan error terkecil terjadi pada pengujian keempat.

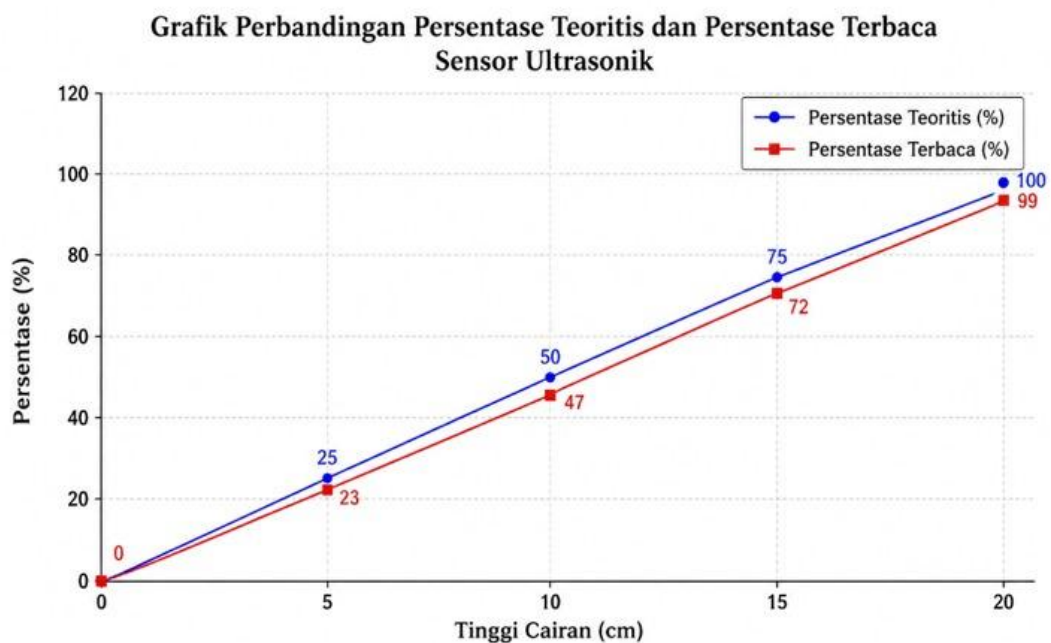
Hasil tersebut sesuai dengan teori *load cell* pada Bab II yang bekerja berdasarkan perubahan resistansi *strain gauge* akibat perubahan beban yang diterima sensor. Perubahan sinyal tersebut kemudian diperkuat oleh modul HX711 dan diproses oleh ESP32 untuk mengendalikan proses pengisian.

4.1.3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam memantau ketinggian cairan pada tangki sumber. Sensor ultrasonik dipasang pada bagian atas jerigen dan digunakan untuk mengukur jarak antara permukaan cairan dengan sensor. Nilai jarak yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi persentase kapasitas tangki dan ditampilkan pada LCD serta aplikasi Blynk sebagai informasi level cairan yang tersedia.

Tabel 4. 4 Pengujian Ultrasonik

Tinggi Cairan (cm)	Persentase Teoritis (%)	Persentase Terbaca (%)
20	100	99
15	75	72
10	50	47
5	25	23
0	0	0



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Ultrasonik

Berdasarkan Tabel 4.4 dan grafik 4.2, sensor ultrasonik mampu mendeteksi perubahan ketinggian cairan pada seluruh variasi pengujian dengan hasil yang mendekati nilai teoritis. Persentase yang ditampilkan sistem menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap kondisi aktual tangki sumber, termasuk saat tangki dalam keadaan kosong. Untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor, dilakukan perhitungan error menggunakan persamaan berikut.

$$Error(\%) = \frac{Persentase\ Teoritis - Persentase\ Terbaca}{Persentase\ Teoritis} \times 100\%$$

Pengujian 1

$$Error = \frac{100 - 99}{100} \times 100\% = 1,00\%$$

Pengujian 2

$$Error = \frac{75 - 72}{75} \times 100\% = 4,00\%$$

Pengujian 3

$$Error = \frac{50 - 47}{50} \times 100\% = 6,00\%$$

Pengujian 4

$$Error = \frac{25 - 23}{25} \times 100\% = 8,00\%$$

Rata-rata error:

$$Error_{rata-rata} = \frac{1 + 4 + 6 + 8}{4}$$

$$Error_{rata-rata} = 4,75\%$$

$$Error_{rata-rata} = \frac{1 + 4 + 6 + 8}{4}$$

$$Error_{rata-rata} = 4,75\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai error yang relatif kecil sehingga masih memenuhi kebutuhan monitoring pada skala prototipe. Perbedaan pembacaan dapat dipengaruhi oleh kondisi permukaan cairan, posisi sensor, pantulan gelombang ultrasonik, serta bentuk wadah yang tidak seragam. Meskipun demikian, nilai yang ditampilkan sistem tetap mengikuti perubahan ketinggian cairan yang sebenarnya.

4.1.4 Hasil pengujian Interlock

Pengujian sistem *interlock* dilakukan untuk memastikan proses pengisian hanya dapat berlangsung saat tangki kendaraan berada pada posisi yang benar. Pengujian dilakukan pada kondisi *limit switch* aktif dan tidak aktif untuk mengamati respons sistem terhadap perintah Start. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Pengujian *Interlock*

Kondisi Limit Switch	Tombol Start	Status Pompa
OFF	Ditekan	Tidak Aktif
ON	Ditekan	Aktif

Berdasarkan Tabel 4.5, sistem *interlock* bekerja sesuai perancangan. Pompa tidak dapat aktif saat *limit switch* OFF dan hanya dapat beroperasi ketika *limit switch* ON. Hal ini menunjukkan bahwa *limit switch* berhasil berfungsi sebagai pengaman untuk memastikan pengisian hanya dilakukan saat tangki berada pada posisi yang benar. Pengujian sistem proteksi dilakukan untuk memastikan sistem mampu merespons kondisi darurat. Pengujian mencakup flame sensor, sensor tegangan, dan *emergency switch* dengan mengamati respons pompa, *buzzer*, LCD, dan aplikasi Blynk. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.6.

4.1.5 Hasil Pengujian Sistem Proteksi

Berdasarkan Tabel 4.6, seluruh fitur proteksi bekerja sesuai perancangan. *Flame* sensor, sensor tegangan, dan *emergency switch* mampu menghentikan pompa serta mengaktifkan alarm saat kondisi darurat terdeteksi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem proteksi dapat mendukung keamanan proses pengisian cairan otomatis dengan memberikan respon dan peringatan secara cepat.

Tabel 4. 6 Pengujian Proteksi

No	Kondisi Pengujian	Respon Sistem	Hasil
1	<i>Emergency Stop</i> ditekan	Pompa berhenti, <i>buzzer</i> aktif, LED <i>emergency</i> menyala	Berhasil
2	<i>Flame</i> sensor mendeteksi api	Pompa berhenti, <i>buzzer</i> aktif, LCD menampilkan peringatan	Berhasil

3	Sensor tegangan aktif	Pompa berhenti, <i>buzzer</i> aktif, LCD menampilkan peringatan	Berhasil
4	Kondisi normal kembali	Sistem dapat di-reset dan kembali ke kondisi <i>standby</i>	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.6, seluruh fitur proteksi mampu memberikan respon sesuai dengan logika yang telah dirancang. Ketika *flame* sensor mendeteksi adanya sumber api, sistem secara otomatis menghentikan pompa, mengaktifkan *buzzer*, dan mengubah status sistem menjadi kondisi *emergency*. Respon tersebut bertujuan untuk mencegah proses pengisian tetap berlangsung ketika terdapat potensi bahaya kebakaran di sekitar area pengisian. Pada pengujian sensor tegangan, sistem juga memberikan respon yang sama. Ketika sensor mendeteksi kondisi tegangan yang telah ditentukan sebagai kondisi bahaya, pompa langsung dihentikan dan alarm diaktifkan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor tegangan dapat digunakan sebagai simulasi sistem proteksi untuk mendeteksi kondisi kelistrikan yang tidak diinginkan selama proses pengisian berlangsung.

Pengujian *emergency switch* dilakukan dengan menekan tombol darurat ketika sistem sedang beroperasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pompa langsung berhenti dan *buzzer* aktif sebagai tanda adanya kondisi darurat. Fungsi ini memberikan kemampuan kepada operator untuk menghentikan seluruh proses pengisian secara manual apabila terjadi gangguan yang memerlukan tindakan segera.

4.1.6 Pengujian Pengisian Otomatis

Pengujian pengisian otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan proses pengisian cairan berdasarkan nilai target yang telah ditentukan. Pada pengujian ini, sensor *load cell* digunakan sebagai parameter utama untuk memantau pertambahan massa cairan selama proses pengisian berlangsung. Ketika massa cairan yang terbaca telah mencapai nilai target, ESP32 akan memberikan perintah untuk menghentikan pompa secara otomatis.

Proses pengujian diawali dengan menempatkan tangki kendaraan pada area pengisian hingga *limit switch* aktif. Setelah tombol *Start* ditekan, pompa mulai

mengalirkan cairan ke dalam tangki kendaraan. Selama proses berlangsung, massa cairan dipantau secara terus-menerus oleh *load cell* hingga mencapai target yang telah ditentukan. Hasil pengujian pengisian otomatis ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil uji pengisian cairan otomatis

Pengujian	Volume Target Pengisian (mL)	Volume Akhir Pengisian (mL)	Selisih (mL)	Error (%)
1	302	302	0	0,00
2	302	298	4	1,32
3	302	303	1	0,33
4	302	303	1	0,33



Gambar 4. 3 Grafik uji pengisian cairan otomatis

$$Error(\%) = \frac{Volume\ target - volume\ aktual}{Volume\ target} \times 100\%$$

Pengujian 1

$$Error = \frac{302 - 302}{302} \times 100\%$$

$$Error = 0\%$$

Pengujian 2

$$Error = \frac{302 - 298}{302} \times 100\%$$

$$Error = 1,32\%$$

Pengujian 3

$$Error = \frac{302 - 303}{302} \times 100\%$$

$$Error = 0,33\%$$

Pengujian 4

$$Error = \frac{302 - 303}{302} \times 100\%$$

$$Error = 0,33\%$$

Rata-rata Error

$$Error_{rata-rata} = \frac{0 + 1,32 + 0,33 + 0,33}{4}$$

$$Error_{rata-rata} = 0,50\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.7, sistem pengisian otomatis mampu mengisi cairan mendekati volume target yang telah ditentukan. Dari empat kali pengujian dengan target pengisian sebesar 302 mL, volume akhir yang diperoleh berada pada rentang 298–303 mL. Selisih terbesar terjadi pada pengujian

kedua sebesar 4 mL, sedangkan pengujian pertama menunjukkan hasil yang sama dengan volume target.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai error berturut-turut sebesar 0%, 1,32%, 0,33%, dan 0,33% dengan rata-rata error sebesar 0,50%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam mengendalikan proses pengisian cairan.

Berdasarkan grafik perbandingan volume target dan volume akhir pengisian, terlihat bahwa hasil pengujian berada sangat dekat dengan nilai target. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* dan sistem kontrol mampu bekerja secara stabil dalam mengendalikan proses pengisian.

Perbedaan volume yang masih terjadi disebabkan oleh aliran cairan yang tidak langsung berhenti saat pompa dimatikan serta adanya sisa cairan di dalam selang. Meskipun demikian, sistem tetap mampu menghentikan proses pengisian secara otomatis dengan tingkat ketelitian yang baik.

Secara keseluruhan, sistem pengisian cairan otomatis telah bekerja sesuai dengan perancangan dan mampu mencapai target pengisian dengan rata-rata error sebesar 0,50%.

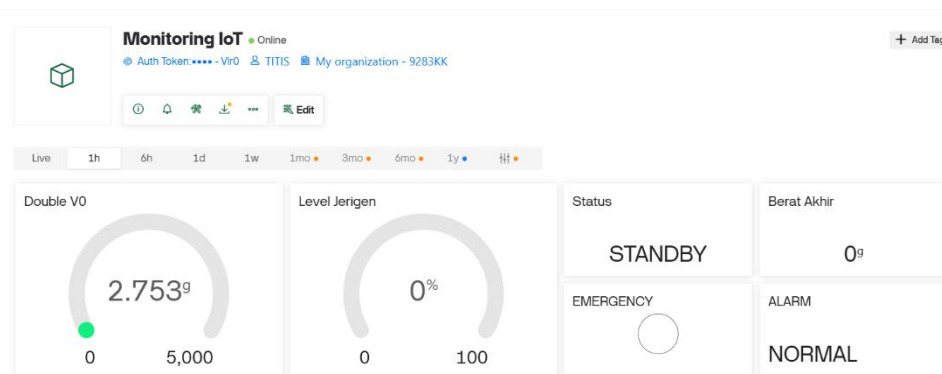
4.1.7 Hasil Monitoring IoT

Pengujian monitoring IoT dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dan status operasi sistem dapat dikirim serta ditampilkan pada aplikasi Blynk secara *real-time*. Monitoring IoT berfungsi sebagai sarana pemantauan jarak jauh sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem tanpa harus berada di dekat prototipe.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan ESP32 ke jaringan internet dan mengamati data yang ditampilkan pada *dashboard* Blynk selama sistem beroperasi. Parameter yang diamati meliputi berat cairan hasil pembacaan *load cell*, persentase cairan pada tangki sumber, serta status operasi sistem. Hasil pengujian monitoring IoT ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Pengujian monitoring IoT

No	Parameter Monitoring	Tampilan pada Blynk	Hasil
1	Berat Cairan	Ditampilkan	Berhasil
2	Persentase Tangki Sumber	Ditampilkan	Berhasil
3	Status Ready	Ditampilkan	Berhasil
4	Status Filling	Ditampilkan	Berhasil
5	Status Complete	Ditampilkan	Berhasil
6	Status Emergency	Ditampilkan	Berhasil

**Gambar 4. 4** Hasil monitoring *dashboard* blynk

Berdasarkan Tabel 4.7 dan gambar 4.4, seluruh parameter monitoring berhasil ditampilkan pada aplikasi Blynk sesuai kondisi sistem. Data berat cairan, level tangki sumber, serta status operasi (*Ready*, *Filling*, *Complete*, dan *Emergency*) dapat dipantau secara *real-time*. Hasil ini menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan Blynk berjalan dengan baik sehingga sistem monitoring IoT berfungsi sesuai perancangan dan mendukung pemantauan jarak jauh secara efektif.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Kinerja Sensor

Sensor berfungsi sebagai sumber data utama pada sistem pengisian cairan otomatis. Pada prototipe ini digunakan *load cell* untuk mengukur massa cairan yang masuk ke tangki kendaraan dan sensor ultrasonik untuk memantau level cairan pada tangki sumber.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *load cell* memiliki rata-rata error sebesar 1,68%, sehingga cukup akurat untuk digunakan sebagai parameter pengendalian pengisian otomatis. Selisih pembacaan yang terjadi dipengaruhi oleh getaran pompa, sensitivitas sensor, dan keterlambatan penghentian aliran cairan, namun hasil pengukuran tetap mendekati nilai sebenarnya.

Sensor ultrasonik menghasilkan rata-rata error sebesar 4,75%. Nilai ini dipengaruhi oleh bentuk wadah, posisi sensor, kondisi permukaan cairan, dan pantulan gelombang ultrasonik. Meskipun demikian, sensor tetap mampu mendeteksi perubahan level cairan sesuai kondisi aktual dan dapat digunakan untuk monitoring tangki sumber.

Secara keseluruhan, kedua sensor bekerja sesuai perancangan. *Load cell* berfungsi sebagai parameter utama pengendalian pengisian, sedangkan sensor ultrasonik mendukung monitoring kapasitas cairan secara *real-time*.

4.2.2 Analisis Kinerja Sistem Otomatis

Sistem otomatis pada prototipe terdiri dari mekanisme *interlock* dan pengisian otomatis yang dikendalikan oleh ESP32 untuk memastikan proses pengisian berlangsung sesuai prosedur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *interlock* bekerja dengan baik, di mana pompa hanya dapat diaktifkan saat *limit switch* mendeteksi keberadaan tangki kendaraan. Mekanisme ini berhasil mencegah pengisian ketika tangki tidak berada pada posisi yang ditentukan.

Pada pengujian pengisian otomatis, sistem mampu mengisi cairan hingga mencapai target tanpa pengawasan terus-menerus. Data massa cairan yang dibaca oleh *load cell* digunakan oleh ESP32 untuk menghentikan pompa secara otomatis saat target tercapai. Meskipun terdapat sedikit selisih antara berat target dan aktual akibat sisa aliran cairan setelah pompa berhenti, tingkat ketelitian sistem tetap baik.

4.2.3 Analisis Kinerja Proteksi dan Monitoring

Sistem proteksi pada prototipe terdiri dari *flame* sensor, sensor tegangan, dan *emergency switch* yang berfungsi mendeteksi kondisi darurat serta menghentikan proses pengisian secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga komponen mampu menghentikan pompa dan mengaktifkan alarm

sesuai kondisi yang disimulasikan, sehingga fungsi keselamatan sistem dapat berjalan dengan baik. Pengujian monitoring IoT juga menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi Blynk berlangsung dengan baik. Parameter seperti berat cairan, level tangki sumber, serta status sistem (*Ready*, *Filling*, *Complete*, dan *Emergency*) berhasil ditampilkan secara *real-time* sesuai kondisi aktual.

4.2.4 Keterbatasan Sistem

Meskipun prototipe telah mampu menjalankan fungsi pengisian otomatis, monitoring IoT, dan sistem proteksi, masih terdapat beberapa keterbatasan. Akurasi sensor ultrasonik dipengaruhi oleh kondisi permukaan cairan, bentuk wadah, dan posisi pemasangan sensor. Selain itu, monitoring IoT bergantung pada ketersediaan jaringan internet sehingga data tidak dapat dikirim ke aplikasi Blynk saat koneksi terganggu. Pada proses pengisian, masih terjadi sedikit kelebihan volume akibat sisa cairan yang mengalir setelah pompa dihentikan. Pengujian juga hanya menggunakan air sebagai media simulasi, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya. Sistem proteksi yang diterapkan masih bersifat prototipe dan belum ditujukan untuk penggunaan langsung pada instalasi industri. Meskipun demikian, seluruh fungsi utama yang dirancang telah berhasil diimplementasikan dan bekerja sesuai tujuan, sehingga prototipe ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran dan pengembangan sistem pengisian cairan otomatis berbasis mikrokontroler dan IoT.