

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis prototipe sistem monitoring level tangki solar berbasis ESP32 menggunakan komunikasi LoRa dan notifikasi Telegram, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Sensor ultrasonik HC-SR04 mampu membaca jarak permukaan cairan dengan rata-rata akurasi 93,45%. Sensor menunjukkan kinerja yang baik pada rentang tinggi cairan 0 cm hingga 24 cm, namun akurasi menurun pada level sangat tinggi akibat pengaruh *dead zone* sensor yang terletak pada jarak kurang dari 2-3 cm.
2. Perhitungan volume cairan menggunakan rumus *frustum* parsial menghasilkan rata-rata akurasi 90,87% terhadap pengukuran manual menggunakan gelas ukur. Selisih volume yang terjadi dipengaruhi oleh toleransi bentuk fisik tangki, ketelitian pengukuran manual, serta perbedaan antara bentuk tangki aktual dan model *frustum* ideal.
3. Komunikasi LoRa SX1278 pada frekuensi 433 MHz berhasil mentransmisikan data dari node *transmitter* ke node *receiver* pada jarak pengujian, yaitu 100 meter hingga 600 meter, dengan nilai RSSI berkisar antara -78 dBm hingga -116 dBm. Pada jarak 700 meter tidak terdapat pembaruan data, sehingga jarak maksimum yang berhasil dicapai pada kondisi pengujian adalah 600 meter.
4. Notifikasi Telegram berhasil terkirim pada setiap perubahan status dan perubahan nilai level tangki selama koneksi *Wi-Fi* tersedia. Data monitoring juga berhasil tersimpan secara otomatis ke Google Spreadsheet pada setiap paket data yang diterima. Sistem tetap mampu menjalankan fungsi lokal berupa LED dan *buzzer* meskipun koneksi internet tidak tersedia.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan akurasi pembacaan level pada kondisi tinggi, dapat dilakukan dengan penggantian sensor ultrasonik HC-SR04 dengan sensor yang memiliki *dead zone* lebih kecil atau menggunakan sensor yang lebih sesuai untuk aplikasi bahan bakar, seperti sensor level kapasitif atau sensor radar. Hal ini akan mengurangi *error* yang terjadi pada kondisi level mendekati penuh.
2. Untuk memperluas jangkauan komunikasi, dapat digunakan modul LoRa dengan daya pancar yang lebih tinggi atau antena directional. Selain itu, penambahan node relay dapat dipertimbangkan apabila sistem diterapkan pada area yang memiliki banyak penghalang atau jarak transmisi yang lebih jauh.
3. Mengatasi ketergantungan pada koneksi internet, dapat ditambahkan kemampuan penyimpanan data lokal menggunakan modul SD card atau memori flash pada node *receiver*. Data yang tersimpan secara lokal dapat kemudian diunggah ke *cloud* secara berkala apabila koneksi internet tersedia.
4. Penerapan pada skala industri, perlu dilakukan penggantian komponen dengan perangkat bersertifikasi industri, penambahan fitur keamanan siber pada komunikasi data, serta penyesuaian terhadap standar keselamatan lingkungan berbahaya seperti ATEX. Prototipe ini dapat dijadikan dasar pengembangan sistem monitoring tangki bahan bakar yang lebih lengkap dan andal pada penelitian selanjutnya.
5. Penambahan fitur tampilan data secara visual seperti *dashboard* web atau aplikasi mobile dapat meningkatkan kemudahan penggunaan sistem dan memungkinkan pemantauan level tangki secara lebih intuitif oleh operator.