

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang arsitektur *IoT node* berbasis LoRa MySalak V2, guna mengatasi masalah ketahanan daya yang krusial pada versi sebelumnya (V1) dan memastikan keberlanjutan operasional sistem monitoring pertanian salak. Rancang bangun ulang ini dilakukan pada tiga level yaitu perangkat keras, manajemen daya, dan *firmware*. Solusi diaplikasikan dengan berfokus pada teknik *ultra-low-power* seperti *power gating* eksternal dan *clock gating*.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan validasi lapangan yang telah dilakukan, dapat ditarik dua simpulan utama yang menjawab pertanyaan penelitian:

1. Peningkatan Estimasi Masa Pakai Baterai

Rancang bangun *node* V2 terbukti berhasil meningkatkan efisiensi daya dibandingkan *node* V1. Konsumsi daya rata-rata *node* V2 dalam satu siklus operasi normal tercatat sebesar 0.50 mW, yang secara impresif 125.68 kali lebih efisien daripada *node* V1 yang mengonsumsi 62.84 mW. Dalam skenario simulasi hujan yang lebih kompleks, V2 tetap unggul dengan efisiensi 113.17 kali lebih baik.

Keunggulan ini dicapai berkat implementasi arsitektur *true power-off* yang dikontrol oleh *timer* eksternal TPL5111, yang secara total memutus daya pada mikrokontroler dan *peripheral* selama mode *standby*. Konsumsi daya pada fase *standby* V2 (0.1485 mW) adalah 418.58 kali lebih rendah daripada V1 (62.16 mW).

Peningkatan efisiensi yang masif ini menghasilkan estimasi masa pakai baterai secara teoritis yang meningkat dari 17.17 hari (V1) menjadi 2158.33 hari (V2) dalam skenario operasi normal, setara dengan peningkatan lebih dari 126.96 kali lipat.

2. Peningkatan Ketahanan Daya Operasional di Lapangan

Node V2 mampu menunjukkan peningkatan ketahanan daya operasional yang signifikan dibandingkan V1, terutama dalam kondisi lingkungan ber vegetasi lebat.

Dalam pengujian komparatif di lokasi dengan cahaya matahari optimal , uji non-parametrik Mann-Whitney U mengkonfirmasi bahwa V2 secara signifikan mampu mempertahankan tegangan baterai pada level yang jauh lebih tinggi (median 0.9362) dibandingkan V1 (median 0.8647).

Keunggulan V2 menjadi sangat krusial dalam skenario kondisi cahaya yang tidak optimal di bawah naungan vegetasi. Di lokasi ini, *node* V1 mengalami kegagalan daya total (*low voltage cut-off*) dalam waktu 15 hari. Sebaliknya, *node* V2 tetap beroperasi stabil, mempertahankan median tegangan ternormalisasi pada 0.9294. Analisis tren Theil-Sen membuktikan bahwa laju pengurasan daya pada V1 terjadi sekitar 84.5 kali lebih cepat daripada V2 di lokasi yang sama.

Ketahanan V2 ini didukung oleh efektivitas *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dari IC CN3791 dalam memanen daya secara optimal di kondisi cahaya minim, dikombinasikan dengan konsumsi daya operasional yang sangat rendah berkat arsitektur *power gating* dan *offloaded counter* yang baru. Hasil ini memvalidasi bahwa *node* V2 telah mencapai target operasional yang berkelanjutan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diajukan untuk penelitian dan pengembangan sistem selanjutnya:

1. Disarankan untuk mengkaji kembali dan mengadopsi komponen yang lebih modern (dengan mempertimbangkan ketersediaan pasar) dengan tujuan mencapai konsumsi daya yang lebih rendah dan desain yang lebih sederhana. Sebagai contoh, disarankan mengganti sistem *pulse counting* yang diimplementasi pada *node V2* dengan IC *ultra-low-power* seperti ABLIC S-35770. Penggunaan *integrated* IC semacam ini dapat menyederhanakan skematik secara drastis, mengeliminasi komponen yang kompleks, dan menekan konsumsi daya pada *always-on region* ke tingkat yang paling minimal.
2. Dengan menggunakan metode pengujian lapangan yang serupa, peneliti selanjutnya dapat melaksanakan pengujian dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk mengumpulkan *dataset time-series* yang komprehensif. *Dataset* ini kemudian dapat digunakan untuk mengembangkan model prediksi *time-series* atau regresi, seperti Prophet atau LSTM. Model ini akan memprediksi kapan tegangan baterai akan menyentuh batas terendah (*End-of-Life Prediction*), sehingga memberikan informasi bagi *maintainer* untuk menjadwalkan perawatan dan penggantian baterai secara prediktif.