

BAB IV

KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan evaluasi pengujian pada sistem Smart Patch Repair Cathodic Protection (SPRCP) yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang menjawab rumusan masalah sebagai berikut :

1. **Keberhasilan Arsitektur Perangkat Keras dan Antarmuka Lokal:** Perancangan arsitektur fisik menggunakan modul ADC eksternal ADS1115 beresolusi 16-bit dan aktuator Relay 8-Channel terbukti berhasil mengeksekusi metode Instant-Off secara presisi untuk mengeliminasi bias IR Drop. Selain itu, implementasi Local UI menggunakan layar OLED dan navigasi tombol fisik sukses memberikan fleksibilitas otonom bagi peneliti untuk melakukan konfigurasi parameter benda uji secara langsung di area laboratorium basah tanpa ketergantungan pada perangkat laptop.
2. **Stabilitas Firmware dan Operasional Zero-Downtime:** Sistem berhasil mengatasi masalah WiFi Zombie dan memori penuh melalui penerapan arsitektur multitasking FreeRTOS pada ESP32 Dual-Core dan injeksi filter kapasitor ganda serta PSU 5V 6A. Hasil Stress Test selama 168 jam (7x24 jam) membuktikan bahwa mekanisme Self-Healing Network melalui interupsi Watchdog Timer mampu mengeksekusi pemulihan mandiri (hard reboot) secara otonom. Sistem terbukti memiliki tingkat uptime 100% dan mampu mensinkronisasikan ulang stempel waktu via NTP Server tanpa merusak urutan matriks data eksperimental.
3. **Optimalisasi Distributed Database dan Komputasi Dashboard:** Penggunaan infrastruktur Firebase Realtime Database dengan skema NoSQL JSON Tree (6 node independen) berhasil menghilangkan overhead latensi dan memblokir duplikasi data secara otonom melalui node completion_map. Di sisi interaksi klien, Web Dashboard React.js berhasil menerapkan metode Client-Side Rendering (CSR) yang mengeksekusi

kalkulasi elektrokimia (Rumus Nernst dan Rapat Arus) serta konversi ekspor fail .xlsx (SheetJS) secara instan di sisi peramban, secara absolut menghilangkan beban komputasi peladen backend.

4.2.Saran

Meskipun sistem instrumentasi SPRCP ini telah beroperasi penuh dan memenuhi standar pengujian laboratorium, terdapat beberapa ruang pengembangan (future work) pada iterasi rekayasa selanjutnya untuk mencapai skala industrial :

1. **Pengembangan Printed Circuit Board (PCB) Kustom:** Pada iterasi hardware selanjutnya, disarankan untuk merancang dan mencetak sirkuit ke dalam bentuk kustom PCB fabrikasi industrial. Hal ini untuk menggantikan penggunaan kabel jumper sepenuhnya, meminimalkan risiko induksi noise elektromagnetik (crosstalk), dan meningkatkan durabilitas alat terhadap getaran mekanis.
2. **Migrasi Modul Komunikasi ke Seluler (NB-IoT / GSM):** Saat ini, sistem masih bergantung pada jangkauan router Wi-Fi laboratorium. Untuk pengujian lapangan terbuka (outdoor field testing) pada jembatan atau dermaga, disarankan mengintegrasikan modul komunikasi seluler seperti SIM7000 (LTE-M/NB-IoT) agar sistem dapat sepenuhnya independen dari infrastruktur jaringan lokal.
3. **Integrasi Machine Learning untuk Prediksi Degradasi:** Rekam jejak dataset time-series berfrekuensi tinggi yang dihasilkan sistem ini memiliki potensi analitik lanjutan. Pada pengembangan software ke depan, disarankan mengintegrasikan model Machine Learning ringan (seperti TensorFlow.js) pada antarmuka klien untuk memberikan fitur predictive maintenance yang mampu memproyeksikan estimasi sisa umur struktur beton berdasarkan tren kurva polarisasi.