

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak era Olimpiade modern, sistem *timing* olahraga renang telah berkembang dari stopwatch manual hingga sensor *touchpad* (papan sentuh elektronik di dinding kolam) dan sistem foto-*finish* (kamera berkecepatan tinggi) dengan akurasi hingga 1/1000 detik [1]. Badan regulasi internasional World Aquatics menetapkan bahwa hasil resmi dicatat hingga 0,01 detik di kompetisi resmi [2]. Perangkat *timing* berkinerja tinggi semacam ini berharga mahal, tidak praktis, dan membutuhkan waktu *setup* yang lama, sehingga tidak terjangkau bagi banyak penyelenggara kompetisi skala kecil [3, 4]. Di Indonesia, kondisi serupa ditemukan pada kompetisi olahraga tingkat junior. Pelatih dan atlet junior masih mengandalkan stopwatch manual karena sistem *timing* otomatis yang akurat hanya terjangkau bagi atlet elit dan kompetisi internasional [5]. Keterbatasan biaya dan persiapan ini mendorong kebutuhan solusi yang lebih portabel dan mudah dipasang [3].

Solusi nirkabel komersial untuk *timing* olahraga memang tersedia, namun umumnya bersifat tertutup (*proprietary*), dirancang untuk satu cabang olahraga tertentu, berbiaya tinggi, dan banyak mengandalkan GPS (*Global Positioning System*) atau Bluetooth yang rentan mengalami masalah konektivitas di lingkungan lapangan terbuka [6]. Protokol komunikasi nirkabel yang lazim digunakan pun memiliki keterbatasan tersendiri, baik dari sisi kebutuhan infrastruktur jaringan maupun jangkauan efektif, sehingga tidak selalu dapat diterapkan di berbagai lokasi kompetisi [7, 8]. Sebaliknya, ESP-NOW yang dikembangkan oleh Espressif merupakan protokol komunikasi nirkabel yang beroperasi tanpa infrastruktur jaringan tambahan dan memiliki jangkauan yang memadai [7], sehingga sesuai untuk berbagai ukuran *venue* kompetisi. Penerapannya telah dibuktikan pada berbagai sistem IoT (*Internet of Things*), mulai dari pemantauan lingkungan industri hingga transmisi data kesehatan atlet secara langsung, mengindikasikan kesesuaiannya dengan kebutuhan sistem yang memerlukan respons cepat [9, 10].

Upaya pengembangan sistem *timing* berbasis mikrokontroler nirkabel berbiaya rendah telah dilakukan oleh sejumlah peneliti, salah satunya sistem *timing* atlet berbasis Arduino dengan sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) dan modul

transceiver nirkabel [4]. Di sisi lain, ESP-NOW juga telah diterapkan pada domain yang lebih luas. Penerapannya mencakup pemantauan denyut jantung atlet [10], akuisisi sinyal otot *multi-node* [11], pemantauan kehadiran pekerja di lingkungan industri [12], dan evaluasi teknik sinkronisasi waktu antar perangkat ESP32 [13]. Berbeda dengan sistem berkabel yang memiliki referensi waktu terpusat, setiap *node* nirkabel beroperasi dengan osilator kristal independen sehingga koordinasi waktu antar *node* memerlukan mekanisme sinkronisasi tersendiri [14]. Sejauh kajian literatur yang ditelusuri, belum ditemukan penelitian yang secara bersamaan menerapkan ESP-NOW pada sistem *timing* perlombaan renang *multi-lane* dengan evaluasi empiris di berbagai kondisi RFI (*Radio Frequency Interference*). Penelitian ini mengisi *gap* tersebut dengan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem *timing multi-lane* nirkabel berbasis ESP32-WROOM-32U dan ESP-NOW pada kondisi pengujian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem *timing multi-lane* nirkabel berbasis ESP-NOW dengan *node-node* yang tersinkronisasi waktu secara akurat?
2. Bagaimana performa protokol ESP-NOW pada berbagai jarak dan kondisi RFI di *venue* kolam renang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem *timing multi-lane* nirkabel berbasis ESP32 dan ESP-NOW dengan *node-node* yang tersinkronisasi waktu secara akurat.
2. Mengukur *Packet Delivery Rate* (PDR), *retry rate* (tingkat pengiriman ulang), *latency* (selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan paket), *jitter* (variasi *latency*), dan deviasi sinkronisasi antar Lane sistem pada tiga kondisi RFI (rendah, sedang, dan tinggi) dan dua variasi jarak antar *node* di *venue* kolam renang.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian sistem dilakukan di *venue* kolam renang pada tiga kondisi, yaitu kondisi sepi, kondisi normal, dan kondisi ramai saat *event* perlombaan. Pengujian dilakukan pada dua variasi jarak antar *node*, yaitu ~ 60 m dan ~ 30 m.
2. Jumlah Lane terbanyak yang diuji adalah 2 Lane (pengembangan *firmware* mendukung hingga 8 Lane).
3. Sistem tidak mengukur atau mengoreksi *reaction time* operator, sehingga waktu tempuh yang tercatat memuat *reaction time* tersebut.
4. Klasifikasi RFI didasarkan pada jumlah jaringan nirkabel aktif di lokasi pengujian menggunakan aplikasi WiFi Analyzer di Android.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Memberikan referensi implementasi sistem *timing* perlombaan renang nirkabel berbasis ESP32.
2. Menghasilkan data performa protokol ESP-NOW pada perlombaan renang di tiga kondisi RFI pada dua variasi jarak.
3. Menjadi dasar pengembangan sistem *timing* yang lebih lengkap.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut.

1. Bab 1 PENDAHULUAN
Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA
Memaparkan penelitian terdahulu, landasan teori protokol ESP-NOW, metode sinkronisasi waktu RBS, modul ESP32-WROOM-32U, dan parameter pengukuran performa sistem.

3. Bab 3 METODOLOGI

Menjelaskan metodologi penelitian, analisis sistem, perancangan arsitektur *multi-node* dan antarmuka.

4. Bab 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil implementasi, data hasil pengujian, dan analisis performa sistem pada setiap skenario RFI.

5. Bab 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Menyajikan kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian dan saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang.

