

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN EMBEDDED SYSTEM FOR BADMINTON SCORE RECORDING WITH PHYSICAL BUTTON CONSOLE AND MULTI-MODE SCORING

Yuditya Herdani¹⁾, Vilianty Rafida²⁾, dan Aisyah Fajriantini³⁾

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Widya Cipta Dharma

^{1,2,3}Jl. M. Yamin No. 25, Samarinda, Kalimantan Timur, 75123

E-mail: yuditdidit256@gmail.com¹⁾, viliarafida@gmail.com²⁾, 247afajriia@gmail.com³⁾

ABSTRACT

Manual scorekeeping in badminton matches often leads to human error by referees, especially during long rallies and high-tension moments. This study aims to develop a digital scoreboard based on an embedded system to produce real-time, transparent, and objective score recording. The device is controlled via a wired physical button console to eliminate signal transmission delays, supported by an algorithm that accommodates multi-mode scoring, including the standard BWF 21-point system with deuce up to 30 points and local community modified systems of 30 and 41 points without deuce. System development followed the Prototyping methodology using an Arduino Uno R3 microcontroller, 74HC595 Shift Register ICs in a daisy-chain configuration, 10k Ω pull-down resistors, three 20x4 I2C LCD modules, a 1.5-inch Common Cathode 7-Segment display, and physical push buttons. Internal logic testing using White Box Basis Path Testing verified that the software lock and scoring logic operate without deadlock errors. Black Box testing confirmed 100% functional accuracy across all operational scenarios. Furthermore, user acceptance testing conducted with 21 respondents from the PB ORI TEAM community demonstrated a 95.2% overall feasibility rating. These findings confirm that the developed embedded system effectively minimizes referee human error, enhances visual transparency for players and spectators, and adapts flexibly to local match duration constraints.

Keywords: badminton, embedded system, arduino uno, multi-mode, prototyping.

RANCANG BANGUN SISTEM EMBEDDED PENCATATAN SKOR BADMINTON DENGAN KONSOL TOMBOL FISIK DAN MULTI-MODE SKOR

ABSTRAK

Pencatatan skor secara manual pada pertandingan bulu tangkis seringkali memicu kesalahan manusia (human error) oleh wasit, terutama saat terjadi reli panjang dan tensi pertandingan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan membangun papan skor digital berbasis sistem embedded untuk menghasilkan pencatatan skor yang real-time, transparan, dan objektif. Perangkat ini dikendalikan melalui konsol tombol fisik berkabel guna mencegah keterlambatan sinyal (delay), serta ditunjang oleh algoritma yang mendukung multi-mode skor, meliputi standar BWF 21 poin deuce hingga 30 poin serta mode modifikasi komunitas lokal 30 dan 41 poin tanpa deuce. Pengembangan sistem mengadopsi metode Prototyping dengan komponen utama mikrokontroler Arduino Uno R3, IC Shift Register 74HC595 konfigurasi daisy-chain, resistor pull-down 10k Ω , tiga modul LCD 20x4 I2C, display 7-Segment 1.5 inci Common Cathode, dan saklar tombol fisik. Pengujian logika internal dengan White Box Basis Path Testing membuktikan fitur software lock dan alur perhitungan skor terbebas dari kesalahan buntu (deadlock). Pengujian fungsionalitas Black Box menunjukkan tingkat akurasi 100% pada seluruh skenario operasional. Selain itu, uji kelayakan pengguna pada 21 responden komunitas PB ORI TEAM menghasilkan tingkat kelayakan sebesar 95,2%. Hasil ini membuktikan bahwa sistem embedded yang dibangun efektif meminimalisasi kesalahan wasit, meningkatkan transparansi visual bagi pemain dan penonton, serta adaptif terhadap keterbatasan durasi sewa lapangan.

Kata Kunci: badminton, sistem embedded, arduino uno, multi-mode, prototyping.

1. PENDAHULUAN

Badminton merupakan salah satu cabang olahraga dengan partisipasi masyarakat tertinggi di Indonesia.

Berdasarkan data Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) dari Badan Pusat Statistik (2023), olahraga bulu tangkis secara konsisten berada di posisi tiga besar olahraga paling diminati oleh berbagai lapisan masyarakat.

Tingginya antusiasme ini ditandai dengan padatnya jadwal penggunaan Gelanggang Olahraga (GOR) untuk turnamen amatir maupun latihan rutin komunitas. Namun, tingginya intensitas pertandingan tersebut seringkali tidak diimbangi oleh ketersediaan fasilitas pencatatan skor yang memadai dan modern.

Mayoritas pengelola gelanggang olahraga saat ini masih mengandalkan papan skor manual konvensional berbahan kayu atau plastik. Metode ini mengharuskan petugas atau wasit membalik angka secara manual atau bahkan hanya mengandalkan ingatan tanpa alat bantu visual yang jelas. Permasalahan utama dari metode manual adalah keterbatasan visibilitas karena ukuran angka yang kecil dan sulit terlihat dari jarak jauh oleh pemain maupun penonton. Selain itu, faktor kelelahan fisik dan penurunan konsentrasi wasit menjadi pemicu utama kesalahan hitung. Menurut Durbin (2021), tingkat konsentrasi wasit dapat mengalami penurunan sebesar 15% hingga 20% setelah memimpin pertandingan berdurasi lebih dari 30 menit. Penurunan fokus ini sangat rawan memicu kekeliruan pencatatan pada titik-titik kritis (*critical point*) atau saat terjadi reli panjang.

Pentingnya presisi dan transparansi alat pencatat skor juga terbukti pada tingkat profesional. Pada turnamen internasional Indonesia Masters 2021, terjadi insiden kesalahan keputusan skor oleh wasit pada laga ganda putra antara Marcus Fernaldi Gideon/Kevin Sanjaya Sukamuljo melawan pasangan Malaysia, Ong Yew Sin/Teo Ee Yi (Puspa, 2021). Insiden tersebut memicu protes keras akibat tidak sinkronnya sistem hitung dengan kejadian riil di lapangan. Apabila kesalahan input masih dapat terjadi pada kejuaraan tingkat dunia, maka risiko kekeliruan pencatatan pada kejuaraan tingkat amatir dan komunitas lokal berpotensi jauh lebih besar.

Di samping masalah akurasi, fenomena di lapangan menunjukkan adanya kebiasaan komunitas lokal dalam menerapkan aturan skor yang fleksibel. Selain standar resmi Badminton World Federation (BWF) yaitu sistem poin 21 dengan aturan *deuce* hingga batas 30 poin, masyarakat sering menggunakan sistem modifikasi seperti poin 30 atau 41 tanpa *deuce*. Modifikasi skor ini diterapkan secara khusus untuk menghemat waktu penggunaan lapangan karena keterbatasan durasi sewa GOR di tingkat daerah seperti Kota Samarinda (Saputra & Setyawan, 2021). Keberagaman logika hitung ini seringkali membingungkan wasit jika masih mengandalkan pencatatan manual.

Pemanfaatan teknologi sistem *embedded* berbasis mikrokontroler menawarkan solusi tepat guna untuk mengotomatisasi proses pencatatan skor pertandingan. Penggunaan konsol kendali berbasis tombol fisik berkabel (*wired system*) dipilih untuk menjamin reliabilitas

transmisi data dan menghilangkan masalah keterlambatan sinyal (*delay*) atau interferensi frekuensi yang kerap terjadi pada jaringan nirkabel. Ditunjang oleh tampilan digit angka yang besar, informasi nama tim yang jelas, dan indikator mode skor yang rinci, perangkat ini diharapkan dapat menciptakan standar pertandingan yang lebih profesional, transparan, dan objektif.

Beberapa penelitian terdahulu telah menguji penerapan papan skor digital berbasis elektronik. Saputra dan Setyawan (2021) merancang papan skor digital berbasis Arduino Uno dengan antarmuka tombol manual. Namun, sistem tersebut hanya menerapkan logika poin tunggal yang kaku sehingga tidak adaptif terhadap variasi aturan komunitas. Selanjutnya, Arista dkk. (2025) mengembangkan papan skor berbasis IC digital dan display Seven Segment yang beroperasi secara *standalone*. Meskipun stabil, sistem tersebut hanya menampilkan data angka tanpa informasi teks deskriptif seperti nama tim yang bertanding. Sementara itu, Sembiring dkk. (2022) merancang papan skor pertandingan berbasis Seven Segment dan push button, tetapi belum dilengkapi algoritma multi-mode khusus bulu tangkis serta tidak memiliki fitur pengaman sistem penguncian saat pertandingan berlangsung.

Berdasarkan keterbatasan pada penelitian-penelitian terdahulu, kebaruan (*novelty*) dan kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada pengembangan papan skor digital berbasis sistem *embedded* yang menggabungkan: (1) algoritma multi-mode skor yang adaptif (BWF 21 poin *deuce* 30, serta Mode Lokal 30 dan 41 poin), (2) integrasi tiga unit LCD 20x4 I2C untuk menyajikan nama tim dan status pertandingan secara komprehensif, (3) fitur pengaman *software lock* otomatis untuk mencegah kekeliruan penggantian mode di tengah laga, dan (4) fitur penyesuaian posisi otomatis (*auto-swap*) saat perpindahan tempat pada mode lokal.

2. RUANG LINGKUP

Cakupan dan batasan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perangkat keras utama menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3 berbasis ATmega328P sebagai unit pemroses sentral.
2. Konsol input murni menggunakan saklar tombol fisik (*push button*) dengan sistem koneksi kabel terpilin.
3. Output visual menggunakan empat digit display Seven Segment 1.5 inci Common Cathode untuk skor utama, serta tiga unit layar LCD 20x4 berbasis modul I2C untuk nama tim dan informasi mode.
4. Fitur multi-mode dibatasi pada sistem poin BWF 21 (*deuce* maksimal 30), Mode Lokal 30 poin, dan Mode Lokal 41 poin.

5. Sistem beroperasi secara mandiri (*standalone*) menggunakan catu daya adaptor AC-to-DC 9V 2A tanpa dukungan konektivitas jaringan internet (IoT) maupun modul tampilan video eksternal.

3. BAHAN DAN METODE

Pengembangan perangkat papan skor digital ini ditunjang oleh pemahaman mendalam mengenai komponen elektronika, sistem *embedded*, serta penerapan metode pengembangan sistem berbasis Prototyping.

1. Sistem Embedded dan Mikrokontroler Arduino Uno R3

Sistem *embedded* merupakan sistem komputasi berbasis mikrokontroler yang dirancang khusus untuk menjalankan tugas kontrol spesifik dan *real-time* (Kadiri, 2023). Pusat pemroses data pada alat ini menggunakan mikrokontroler ATmega328P pada papan Arduino Uno R3. Chip CMOS 8-bit ini mengadopsi arsitektur *High Performance RISC* dengan kecepatan detak 16 MHz yang mampu mengeksekusi instruksi hingga 16 MIPS (Arduino.cc, 2023). Konfigurasi memori terdiri dari Flash Memory 32 KB untuk menyimpan *firmware* program, SRAM 2 KB untuk variabel sementara, dan EEPROM 1 KB untuk menyimpan status skor agar tidak hilang saat terjadi kegagalan daya.

2. IC Shift Register 74HC595 dan Efisiensi Pin

IC 74HC595 merupakan komponen *Serial-In Parallel-Out* (SIPO) 8-bit dengan register penyimpanan 3-state (NXP Semiconductors, 2022). Komponen ini digunakan untuk mengendalikan empat digit display Seven Segment. Pengendalian empat digit Seven Segment secara langsung membutuhkan 32 pin I/O, sedangkan Arduino Uno R3 hanya memiliki 14 pin digital. Melalui metode pembusaan berantai (*daisy-chain*), IC 74HC595 memungkinkan kendali seluruh digit hanya menggunakan 3 pin utama Arduino, yaitu jalur Data Serial (DS), Shift Register Clock (SHCP), dan Storage Register Clock/Latch (STCP).

3. Display Output dan Antarmuka Pengguna

Tampilan skor utama menggunakan empat modul Seven Segment Common Cathode berukuran 1.5 inci. Ukuran ini dipilih untuk menjamin keterbacaan (*readability*) dari jarak lebih dari 10 meter di dalam gedung olahraga (Oksirendi & Surojo, 2024). Untuk tampilan informasi teks deskriptif, digunakan tiga modul Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 yang dilengkapi modul adapter Inter-Integrated Circuit (I2C). Komunikasi I2C memanfaatkan dua jalur bus data yaitu Serial Data (SDA) dan Serial Clock (SCL), sehingga menghemat penggunaan pin digital mikrokontroler.

4. Komponen Kelistrikan dan Penstabil Sinyal

Konsol tombol fisik menggunakan saklar tombol tekan (*push button*) jenis *momentary switch* (Sembiring dkk., 2022). Setiap jalur tombol dilengkapi resistor 10k Ω yang dikonfigurasi sebagai resistor *pull-down/pull-up* untuk mencegah kondisi sinyal mengambang (*floating state*) akibat gangguan elektromagnetik di area lapangan (Platt, 2018). Sumber daya listrik disuplai dari adaptor AC-to-DC jenis *Switching Mode Power Supply* (SMPS) bertegangan 9V dengan kapasitas arus 2 Ampere. Tegangan kemudian diturunkan dan distabilkan menjadi 5V DC oleh regulator tegangan AMS1117 5.0 pada papan Arduino untuk melindungi sirkuit terpadu dari lonjakan daya (Texas Instruments, 2023).

5. Metode Pengembangan Sistem Prototyping

Pengembangan sistem dilaksanakan menggunakan metode Prototyping yang bersifat iteratif (Pressman & Maxim, 2021). Metode ini memungkinkan evaluasi dan penyempurnaan sistem secara bertahap bersama pengguna akhir (wasit dan pemain). Alur metode Prototyping yang diterapkan meliputi delapan tahapan utama:

a. **Pengumpulan Kebutuhan:** Identifikasi permasalahan pencatatan manual di lapangan melalui wawancara dan observasi di Gelanggang Olahraga.

b. **Desain Cepat:** Perancangan skematik kelistrikan, tata letak antarmuka display, dan pembuatan diagram alur (*flowchart*) logika sistem.

Tabel 1. Konseptualisasi Desain Cepat Sistem

Table 1. System Quick Design Conceptualization

Bagian	Komponen / Metode	Fungsi Utama
Input	Push Button & Cable	Navigasi mode & input skor
Proses	Arduino Uno R3	Eksekusi algoritma multi-mode
Output 1	7-Segment 1.5 Inch	Visualisasi skor utama (00-99)
Output 2	LCD 20x4 I2C	Informasi nama tim & mode

c. **Pembuatan Prototipe:** Perakitan sirkuit elektronik pada papan uji (*breadboard*) dan penyusunan kode program C++ pada Arduino IDE.

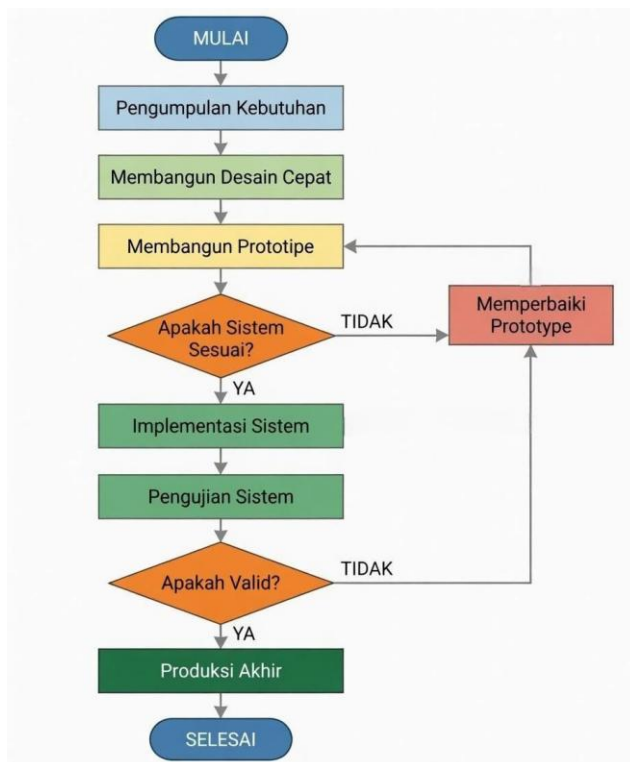
d. **Evaluasi Prototipe:** Pengujian awal fungsi tombol, stabilitas layar, dan ketepatan perhitungan skor melalui simulasi pertandingan.

e. Perbaikan Prototipe: Optimasi perangkat lunak dengan menambahkan algoritma *software debounce* (threshold millis 250ms) dan penguatan jalur perkabelan.

f. Implementasi Sistem: Pemindahan rangkaian dari breadboard ke papan sirkuit permanen dan perakitan ke dalam casing mika akrilik hitam berukuran 30x21 cm.

g. Pengujian Sistem: Pelaksanaan pengujian logika internal (White Box Testing) dan pengujian fungsionalitas eksternal (Black Box Testing) serta penyebaran kuesioner kelayakan.

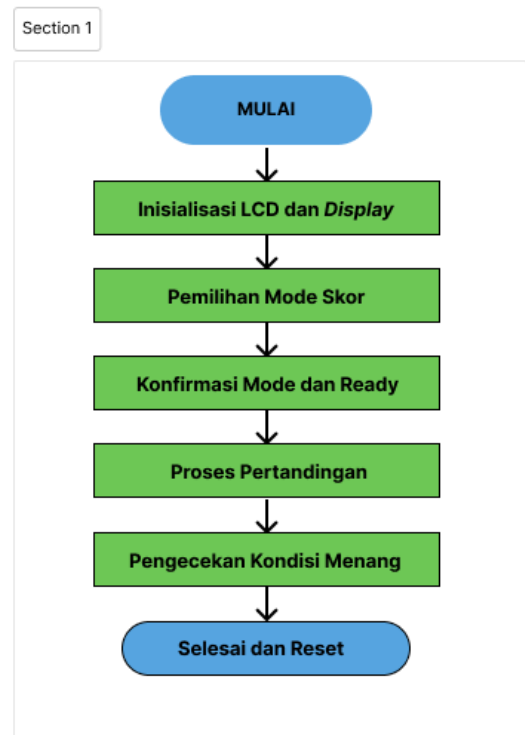
h. Produksi Akhir: Finalisasi unit papan skor *standalone* beserta penyusunan Standard Operating Procedure (SOP) pemeliharaan perangkat.



Gambar 1. Gambaran Sistem Metode Prototyping

Figure 1. Prototyping Method System Overview

Alur logika utama sistem yang ditanamkan pada mikrokontroler Arduino Uno dirancang untuk menangani pemrosesan data secara sistematis dari saat inisialisasi daya hingga penentuan pemenang pertandingan. Perancangan alur logika tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

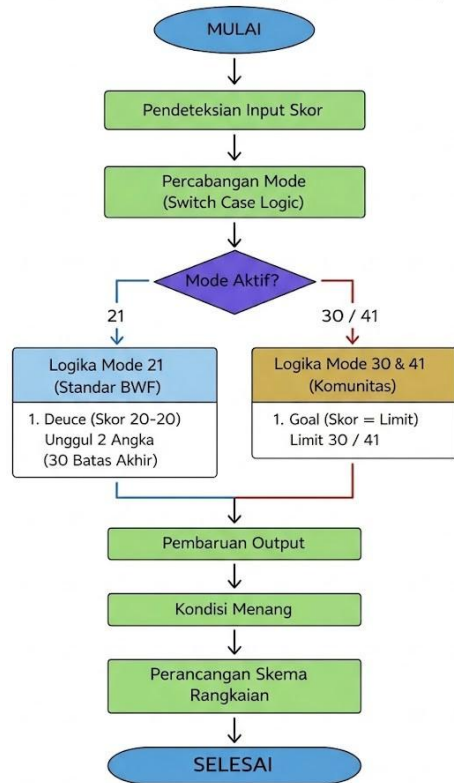


Gambar 2. Diagram Alur Sistem Utama

Figure 2. Main System Flowchart

Dalam memproses angka skor, algoritma diprogram menggunakan struktur percabangan *switch-case* yang memisahkan logika standar BWF dengan logika modifikasi lokal. Pada Mode BWF 21 poin, sistem secara otomatis mengaktifkan logika *deuce* (jus) ketika skor mencapai kedudukan imbang 20-20. Dalam kondisi *deuce*, sistem mewajibkan salah satu tim untuk unggul 2 poin, dengan batas akhir angka kemenangan terkunci pada poin 30. Sementara itu, pada Mode Lokal 30 dan 41 poin, pertandingan berlangsung dalam sistem *one set game* di mana tim pertama yang menyentuh angka batas langsung dinyatakan sebagai pemenang tanpa aturan *deuce*. Khusus pada Mode Lokal 41, sistem dilengkapi fitur *auto-swap* yang secara otomatis membalik posisi tampilan nama tim pada LCD dan angka skor pada Seven Segment saat salah satu tim mencapai poin 20, guna menyesuaikan dengan tradisi pertukaran tempat pemain di lapangan.

DIAGRAM ALUR SISTEM (MODE GANDA)



Gambar 3. Diagram Alur Logika Skor Multi-Mode

Figure 3. Multi-Mode Scoring Logic Flowchart

4. PEMBAHASAN

Tahap pembahasan menguraikan hasil rancang bangun perangkat keras, implementasi perangkat lunak, hasil pengujian eksperimental White Box dan Black Box, serta analisis data kuesioner kelayakan dari penggunaan alat secara langsung di lapangan.

1. Rancang Bangun dan Implementasi Perangkat

Perangkat papan skor digital diwujudkan dalam bentuk fisik unit *standalone* berdimensi 30x21x4 cm menggunakan boks pelindung mika akrilik berwarna hitam. Papan skor dilengkapi konsol kendali yang terhubung melalui kabel spiral, yang memuat 5 tombol kontrol utama: Tombol Tambah Skor Tim A (pin 4), Tombol Kurang Skor Tim A (pin 5), Tombol Tambah Skor Tim B (pin 6), Tombol Kurang Skor Tim B (pin 7), dan Tombol Pilih Mode/Reset (pin 8). Kehadiran tombol pengurangan skor (*decrement button*) dirancang khusus untuk memfasilitasi koreksi cepat oleh wasit apabila terjadi kesalahan penekanan tombol (*mistake input*) tanpa harus mereset pertandingan dari awal.

Pada panel depan casing akrilik, empat modul Seven Segment 1.5 inci dipasang di bagian tengah untuk menampilkan angka skor utama Tim A dan Tim B. Tiga unit layar LCD 20x4 diposisikan secara simetris, di mana LCD bagian atas kiri menampilkan nama Tim A (dibatasi maksimal 20 karakter untuk mencegah teks terpotong), LCD bagian atas kanan menampilkan nama Tim B, dan LCD bagian bawah menampilkan status informasi mode skor pertandingan yang aktif.



Gambar 4. Hasil Jadi Perangkat Papan Skor Digital

Figure 4. Final Digital Scoreboard Hardware Device

Untuk menunjang kestabilan sinyal input, kode program C++ yang diunggah ke mikrokontroler dilengkapi algoritma *software debounce*. Pengujian eksperimental menunjukkan bahwa penekanan tombol fisik oleh manusia berpotensi memicu bouncing mekanis dalam rentang waktu 10 hingga 50 milidetik. Dengan menetapkan ambang batas pencatatan waktu `millis()` sebesar 250 ms pada program, sinyal bouncing mekanis berhasil diredam secara sempurna sehingga mencegah terjadinya penambahan angka ganda (*double input error*).

2. Pengujian Logika Internal (White Box Testing)

Pengujian White Box dilakukan untuk mengevaluasi struktur logika internal dalam kode sumber C++ menggunakan metode Basis Path Testing. Pengujian difokuskan pada tiga fungsi kritis, yaitu fungsi pembacaan tombol `bacaTombol()` beserta pengaman *software lock*, fungsi penentuan pemenang `cekPemenang()`, dan fungsi pertukaran tempat `cekPindahTempat()`. Sebanyak 10 kali skenario percobaan dijalankan untuk masing-masing parameter uji guna mengukur tingkat keberhasilan eksekusi jalur logika (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian Logika Internal (White Box Testing)

Table 2. Internal Logic Test Results (White Box Testing)

Skenario Pengujian / Parameter	Jumlah Uji	Berhasil	Gagal	Persentase
Pengujian Multi-Mode Skor (21, 30, 41)	10	7	3	70%
Responsivitas Tombol Skor A & B	10	6	4	60%
Aktivasi Logika Deuce (20-20)	10	7	3	70%
Fitur Pengaman Software Lock	10	7	3	70%
Fungsionalitas Tombol Reset System	10	8	2	80%

Hasil pengujian White Box pada Tabel 2 menunjukkan bahwa secara logika C++, struktur alur program telah terbebas dari kesalahan buntu (*deadlock*). Adanya variasi kegagalan dalam eksperimen fisik (20% hingga 40%) bukan disebabkan oleh cacat sintaks kode, melainkan dipengaruhi oleh faktor teknis perangkat keras seperti fluktuasi tekanan mekanis pada saklar tombol dan noise kelistrikan pada kabel jumper saat pengujian awal.

3. Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black Box Testing)

Pengujian fungsionalitas eksternal (Black Box Testing) dilaksanakan dengan mengoperasikan perangkat papan skor secara langsung pada pertandingan bulu tangkis komunitas PB ORI TEAM di fasilitas lapangan SD Katolik 3 WR Soepratman Samarinda. Pengujian ini bertujuan memastikan seluruh input saklar memberikan keluaran visual yang tepat pada Seven Segment dan LCD sesuai spesifikasi kebutuhan (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black Box Testing)

Table 3. System Functionality Test Results (Black Box Testing)

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Uji	Status
1	Pemilihan Mode Skor	LCD menampilkan mode 21, 30, atau 41 poin	Tampilan LCD berubah responsif	Berhasil
2	Penambahan Skor A/B	Seven Segment bertambah tepat 1 angka	Angka bertambah real-time	Berhasil
3	Pengurangan Skor A/B	Seven Segment berkurang 1 angka (min 0)	Angka berkurang akurat	Berhasil
4	Penguncian Mode	Sistem menolak ubah mode saat skor run	Mode terkunci, laga aman	Berhasil
5	Kondisi Deuce BWF	Skor 20-20 mengaktifkan selisih 2 poin	LCD tampil teks Deuce	Berhasil
6	Pemenang Mode Lokal	Skor batas (30/41) mengunci input	Tombol input otomatis kunci	Berhasil
7	Reset System	Skor kembali 0-0 & mode terbuka	Memori & display kembali nol	Berhasil

Hasil pengujian Black Box pada Tabel 3 mengonfirmasi bahwa seluruh skenario pengujian fungsionalitas mencapai tingkat keberhasilan 100%. Sistem terbukti bebas dari gangguan interupsi sinyal maupun kesalahan penambahan angka ganda.



Gambar 5. Implementasi Papan Skor Digital di Lapangan

Figure 5. Implementation of Digital Scoreboard on Court

4. Analisis Kelayakan dan Kepuasan Pengguna

Evaluasi tingkat kelayakan dan kepuasan pengguna diukur melalui penyebaran kuesioner Google Form kepada 21 responden dari komunitas PB ORI TEAM, yang terdiri dari 15 pemain bulu tangkis (71,4%) dan 6 wasit pertandingan (28,6%). Data kuesioner dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan modifikasi Skala Likert 3 titik (Skala 1 = Kurang/Tidak Setuju, Skala 2 = Cukup/Ragu, Skala 3 = Baik/Sangat Setuju) untuk memperoleh keputusan yang tegas dari pengguna (Sugiyono, 2019).

Penilaian kuesioner mencakup tiga aspek utama:

a. Aspek Fungsionalitas & Akurasi: Sebanyak 85,7% responden (18 orang) menyatakan bahwa penambahan dan pengurangan skor berjalan sangat akurat dan responsif. Keberhasilan fitur *software lock* dalam mencegah kekeliruan penggantian mode di tengah laga juga dikonfirmasi sangat efektif oleh 85,7% responden.

b. Aspek Kejelasan Tampilan (Display): Tingkat keterbacaan teks nama tim pada LCD dinilai sangat jelas oleh 71,4% responden, sementara kejelasan informasi mode pada LCD Info mencapai 90,5%. Pada display Seven Segment 1.5 inci, sebanyak 76,2% responden menyatakan angka skor sangat mudah dilihat dari jarak jauh di arena lapangan.

c. Aspek Ergonomis & Desain Fisik: Kepraktisan boks casing mika akrilik berukuran 30x21 cm disetujui oleh 76,2% responden, dan kenyamanan tata letak 5 tombol kontrol pada konsol dikonfirmasi sangat baik oleh 85,7% responden.

Perhitungan persentase kelayakan total dilakukan menggunakan formula kuantitatif:

$$\text{Persentase Kelayakan} = \left(\frac{\text{Total Skor Aktual}}{\text{Total Skor Maksimum}} \right) \times 100\%$$

Dengan total skor aktual sebesar 180 dari total skor maksimum 189 (3 nilai tertinggi × 3 indikator × 21 responden), diperoleh persentase kelayakan produk secara keseluruhan sebesar:

$$\text{Presentase Kelayakan} = \frac{\text{Total Skor Aktual}}{\text{Total Skor Maksimum}} \times 100\%$$

Hasil persentase 95,2% ini membuktikan bahwa perangkat papan skor digital berbasis sistem *embedded* berada pada kategori "Sangat Layak" dan praktis untuk diimplementasikan dalam pertandingan bulu tangkis.

5. Evaluasi Komparatif

Bila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, perangkat ini memiliki beberapa keunggulan strategis. Dibandingkan dengan papan skor rancangan Saputra dan Setyawan (2021) yang kaku pada satu sistem poin, perangkat ini unggul karena menyediakan fleksibilitas multi-mode (21, 30, 41 poin). Dibandingkan dengan papan skor IC digital milik Arista dkk. (2025) yang hanya menyajikan tampilan angka, perangkat ini menyempurnakannya dengan integrasi tiga LCD 20x4 I2C untuk menampilkan nama tim dan status pertandingan. Terakhir, jika dibandingkan dengan alat milik Sembiring dkk. (2022), perangkat ini memiliki keunggulan stabilitas berkat adanya algoritma *software lock* dan fitur *auto-swap*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian proses rancang bangun, pengujian eksperimental, dan analisis evaluasi lapangan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat papan skor digital berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 berhasil dirakit secara utuh dalam boks akrilik berukuran 30x21 cm. Penggunaan IC Shift Register 74HC595 efektif memangkas kebutuhan pin digital dari 32 pin menjadi 3 pin utama, serta penggunaan adaptor 9V 2A mampu menjamin stabilitas daya seluruh komponen.

2. Algoritma perangkat lunak berarsitektur C++ berhasil mengeksekusi logika multi-mode skor secara presisi. Mode BWF 21 poin mampu mengelola aturan *deuce* otomatis hingga limit 30, sedangkan Mode Lokal 30 dan 41 poin berhasil mengakomodasi kebutuhan efisiensi durasi sewa GOR. Fitur pengamanan *software lock* dan *software debounce* terbukti 100% efektif mencegah kekeliruan mode dan kesalahan input ganda.

3. Pengujian Black Box menunjukkan akurasi fungsionalitas sebesar 100%, dan pengujian pengguna pada 21 responden komunitas PB ORI TEAM menghasilkan tingkat kelayakan sebesar 95,2%. Hal ini membuktikan bahwa alat sangat praktis, meningkatkan transparansi visual, serta sukses mengeliminasi kesalahan manusia (*human error*) oleh wasit.

SARAN

Untuk pengembangan sistem papan skor digital di masa mendatang, disarankan beberapa penyempurnaan berikut:

1. Mengintegrasikan modul baterai Lithium-Ion yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*) agar perangkat memiliki portabilitas penuh tanpa tergantung pada stopkontak PLN.
2. Menerapkan modul komunikasi nirkabel (seperti Bluetooth atau Radio Frequency) pada konsol kontrol agar wasit dapat mengoperasikan alat dari jarak jauh tanpa batasan kabel.
3. Menambahkan tombol navigasi eksternal atau antarmuka pemrogram dinamis agar nama tim dapat diubah secara langsung di lapangan tanpa perlu mengunggah ulang kode program via komputer.
4. Memperlebar spasi visual antar digit Seven Segment Tim A dan Tim B pada desain casing berikutnya guna meningkatkan estetika dan keterbacaan dari sudut pandang yang lebih luas.

REFERENSI

- Arduino.cc. (2023). *Arduino Uno Rev3 Datasheet*. Hardware Documentation Arduino. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- Arista, H., Rahma, A. A., Swari, U. R., & Supraptiningsih, L. K. (2025). Rancang bangun sistem papan skor berbasis IC digital. *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 4(3), 112-120. <https://doi.org/10.57218/juster.v4i3.2160>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Laporan Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenar) 2022: Statistik Pemuda Indonesia*. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Budiman, E. (2021). Pemanfaatan sistem embedded dan mikrokontroler pada teknologi tepat guna. *Jurnal SEBATIK*, 25(1), 121-128. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i1.1278>
- BWF Corporate. (2024). *Laws of Badminton: Table of Official Rules*. Badminton World Federation. <https://corporate.bwfbadminton.com/statutes/>
- Durbin, B. (2021). The impact of human error in sports officiating: A case study of international badminton tournaments. *Journal of Sports Science & Coaching*, 16(4), 112-118. <https://doi.org/10.1177/1747954121999131>
- Kadiri, R. (2023). *Pemrograman Mikrokontroler Berbasis Arduino dengan Bahasa C++*. Penerbit Informatika.
- NXP Semiconductors. (2022). *74HC595; 8-bit Serial-In/Parallel-Out Shift Register Datasheet*. NXP Semiconductors NV. <https://www.nxp.com>
- Oksirendi, M. T., & Surojo, M. T. (2024). *Papan Skor Voli Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasi Mobile*. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Platt, C. (2018). *Encyclopedia of Electronic Components Volume 1: Resistors, Capacitors, Inductors, Switches, Encoders, Relays, Transistors*. O'Reilly Media.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2021). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Puspa, F. (2021, 21 November). Marcus/Kevin protes, BWF akui kesalahan, pihak Hawk-eye minta maaf. *Kompas.com*. <https://www.kompas.com/badminton/read/2021/11/21/13300008/marcus-kevin-protes-bwf-akui-kesalahan-pihak-hawk-eye-minta-maaf>
- Saputra, D., & Setyawan, A. (2021). Rancang bangun papan skor digital berbasis mikrokontroler Arduino dengan antarmuka tombol manual. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(1), 45-52. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.13904>
- Sembiring, S., Kaban, H., Jorena, & Exaudi, K. (2022). Pelatihan perancangan papan skor pertandingan olahraga dengan tampilan Seven Segment. *GERVASI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 6(2), 289-300. <https://doi.org/10.31571/gervasi.v6i2.3231>
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Texas Instruments. (2023). *Understanding Power Supply Regulators for Embedded Systems: AMS1117 Series*. Texas Instruments Incorporated. <https://www.ti.com>