

Otomatisasi Sistem Kontrol dan Interface Alat Musik Tradisional Berbasis Mikrokontroler dengan ESP32

James William Samuel Sitorus¹, Reni Listiana²

^{1,2} Program Studi Teknik Otomasi Industri- Politeknik TEDC Bandung

Jl. Politeknik-Pesantren KM2 Cibabat Cimahi Utara – Cimahi Jawa Barat - Indonesia

william.sitorus7150@gmail.com¹, renilistiana@poltektedc.ac.id²

Abstrak— Penelitian ini mengembangkan sistem otomatisasi kontrol dan antarmuka untuk alat musik tradisional angklung berbasis mikrokontroler ESP32 dan Arduino Mega 2560. Sistem mengintegrasikan aktuator solenoid, driver motor L298N, layar sentuh LCD TFT 3.5 (SPI+CTP), dan komunikasi serial UART untuk menerjemahkan input pengguna menjadi gerakan mekanis angklung. Perancangan perangkat lunak mencakup pemodelan notasi nada dan pengaturan tempo sehingga tiap ketukan dipetakan ke durasi sinyal yang sesuai. Pengujian meliputi akurasi sentuhan, latensi dan sinkronisasi komunikasi ESP32–Arduino, serta respons solenoid terhadap perintah, dengan pengukuran menggunakan contoh lagu dan notasi terstruktur. Hasil menunjukkan touchscreen memetakan input dengan akurat, komunikasi serial stabil dengan tanda sinkronisasi, serta solenoid dapat memainkan nada sesuai tempo dan ketukan. Sistem terbukti modular, mudah dirawat, dan menggunakan komponen umum sehingga memudahkan perbaikan dan pengembangan lanjutan. Implementasi ini mempermudah pemutaran angklung tanpa tenaga pemain langsung dan berfungsi sebagai media pembelajaran praktis modern.

Kata kunci— ESP32, Arduino, LCD TFT, UART, Interface, Angklung

Abstract

This research develops an automation control system and interface for traditional angklung musical instruments based on ESP32 and Arduino Mega 2560 microcontrollers. The system integrates solenoid actuators, L298N motor drivers, a 3.5" TFT LCD touch screen (SPI+CTP), and UART serial communication to translate user input into mechanical movements of the angklung. The software design includes note notation modeling and tempo settings so that each beat is mapped to the appropriate signal duration. Testing includes touch accuracy, ESP32–Arduino communication latency and

synchronization, and solenoid response to commands, with measurements using song samples and structured notation. The results show that the touchscreen accurately maps inputs, serial communication is stable with synchronization signals, and the solenoid can play notes according to tempo and beats. The system is proven to be modular, easy to maintain, and uses common components, facilitating repairs and further development. This implementation facilitates the playing of the angklung without the need for a live player and serves as a modern practical learning medium.

Keywords— ESP32, Arduino, LCD TFT, Interface, Angklung

I. PENDAHULUAN

Dalam era digital saat ini, pengembangan teknologi yang terjadi berkembang begitu pesat dan canggih. Seiring berjalannya waktu, manusia semakin berinovasi untuk mengimplementasikan berbagai teknologi yang digunakan untuk otomatisasi berbagai pekerjaan dalam berbagai bidang. Begitu pun dalam industri musik, peralatan yang digunakan dalam memainkan musik semakin canggih dan dalam memainkan musik itu sendiri hampir tidak ada tenaga manusia yang diperlukan untuk memainkan alat musik tersebut.

Dibalik keuntungan kemudahan pada teknologi yang berkembang pesat saat ini, ada juga kerugian dan kelemahan yang terdapat pada perkembangan teknologi yang pesat saat ini terutama pada industri alat musik tradisional. Semakin canggihnya peralatan musik saat ini, hampir dari setiap orang tidak tahu dari mana sumber dari musik itu sendiri terutama industri alat musik tradisional di Indonesia. Adapun, alat musik tradisional adalah jenis musik yang diperoleh masyarakat secara turun temurun yang kemudian dilestarikan dan dipertahankan oleh masyarakat sekarang sebagai sarana hiburan [1].

Untuk itu, demi keberlangsungan pelestarian dan pengembangan alat musik tradisional di Indonesia, diperlukan adanya kolaborasi antara rekayasa elektronika berbasis mikrokontroler dengan peralatan musik tradisional. Serta, diperlukannya per panduan dari komponen elektronika yang

terkontrol dari mikrokontroler untuk otomatisasi alat musik tradisional.

Pada perancangan sistem ini didasarkan pada konsep kerja robot dimana, istilah “robot” diperkenalkan oleh Karel Čapek dalam drama R.U.R. (1921), yang mengangkat isu sosial-politik tentang eksploitasi tenaga kerja dan identitas nasional Ceko. Drama ini menyoroti otomatisasi, dehumanisasi pekerja, serta dilema etis penciptaan makhluk buatan yang akhirnya memiliki kesadaran. Setelahnya, Isaac Asimov merumuskan Hukum Tiga Robot dan Hukum Nol sebagai fondasi etika robotika modern, meski cerita-ceritanya menunjukkan bahwa kerangka etika tersebut tetap sarat ambiguitas. Baik R.U.R. maupun gagasan Asimov menegaskan pentingnya pendekatan etika yang lebih adaptif dalam menghadapi kompleksitas sosial dan moral perkembangan robotika dan AI saat ini [2] [3] [4].

Lalu, untuk alat musik yang akan dilakukan otomatisasi yakni menggunakan alat musik tradisional angklung dimana, angklung merupakan alat musik tradisional Sunda dari bambu yang menghasilkan bunyi khas saat digoyangkan dan bersifat multitonal. Bukti sejarah menunjukkan angklung telah dikenal sejak zaman Hindu dan memegang peran penting dalam tradisi dan upacara Nusantara. Versi tradisional menggunakan tangga nada pentatonis seperti slendro, pelog, dan madenda dengan varian lokal yang terikat pada konteks ritus dan pertunjukan rakyat. Pada 1938 Daeng Soetigna mengembangkan Angklung Padaeng ber-tangga nada diatonis, memungkinkan permainan musik Barat dan kolaborasi orkestra. Angklung Padaeng tersusun menjadi angklung melodi dan akompanimen melodi mencakup rentang nada yang lebar (sekitar G3–C6) sementara akompanimen menyajikan harmoni melalui beberapa tabung. Transformasi dari sistem pentatonis ke diatonis menunjukkan adaptasi budaya yang mengubah angklung dari alat lokal menjadi instrumen bernilai kompetitif di kancah nasional dan internasional [5].

Adapun komponen yang digunakan dalam pembuatan robot angklung ini, yakni.

A. Power Supply

Secara sederhana, pengertian sebuah komponen yang digunakan untuk memasok atau menyediakan daya listrik ke sebuah atau lebih perangkat. *Power supply* saat ini telah dirancang sedemikian rupa untuk mampu mengubah bahan dasar energi semisal energi matahari, angin, hingga kimia menjadi energi listrik [6]

Bagi komputer dan beberapa perangkat elektronik, komponen *power supply* ini sangat penting dan tidak dapat diremehkan. Dapat dipastikan bila komponen ini mengalami permasalahan, maka perangkat tersebut tidak akan mungkin berfungsi secara normal. Saat menghidupkan sebuah perangkat semisal komputer, maka seketika itu juga *power supply* langsung melakukan semacam pemeriksaan serta tes sebelum sistem operasi pada komputer tersebut dijalankan.

Jika tes atau pemeriksaan ini tidak bermasalah, maka *power supply* melakukan tugas berikutnya yakni mengirim

sinyal menuju *mainboard* bahwa sistem telah siap untuk dioperasikan. Setelah itu, *power supply* akan beralih ke tugas selanjutnya yakni membagi daya listrik pada setiap komponen yang ada pada komputer tersebut. Besar daya yang dibagi disesuaikan dengan keperluan dan kemampuan dari tiap komponen.

B. ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) kombinasi Wi-Fi dan Bluetooth 2,4 GHz yang dirancang menggunakan teknologi TSMC 40 nm berdaya rendah. Chip ini dirancang untuk memberikan kinerja optimal dalam daya dan RF, menunjukkan ketangguhan, fleksibilitas, serta keandalan tinggi dalam berbagai aplikasi dan kondisi daya. ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke WI-FI secara langsung [7].

Spesifikasi dari ESP32 terdapat dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Walaupun memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO lebih banyak dipilih karena memiliki dua pin GND. Pada ESP32 30 GPIO memiliki interface USB to UART yang mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya board bisa diberikan melalui konektor micro USB. [8]

Pada papan ESP32, terdapat sejumlah pin yang memiliki fungsi sangat beragam, mulai dari GPIO (General Purpose Input Output), ADC (Analog to Digital Converter), DAC (Digital to Analog Converter), hingga pin RTC (Real Time Clock) dan touch sensor. Pin GPIO tersebar di seluruh papan dan dapat digunakan sebagai input atau output digital, sehingga sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi seperti mengendalikan LED, relay, membaca tombol, atau komunikasi dengan sensor. Beberapa pin GPIO juga memiliki fungsi ganda sebagai jalur komunikasi serial seperti UART, SPI, dan I2C, yang membuat ESP32 sangat cocok untuk proyek IoT yang membutuhkan banyak perangkat eksternal.

Di sisi kiri papan, terdapat pin-pin yang mendukung fitur ADC1 dan ADC2, yang memungkinkan pembacaan sinyal analog dari sensor seperti potensiometer atau sensor suhu. Selain itu, terdapat pin DAC1 dan DAC2 yang memungkinkan board menghasilkan sinyal analog, misalnya untuk menghasilkan suara atau mengontrol perangkat analog lain. Pin RTC juga tersedia pada beberapa GPIO, memungkinkan ESP32 untuk tetap menjalankan fungsi tertentu atau membaca input walaupun dalam mode deep sleep dengan konsumsi daya rendah. Tidak hanya itu, terdapat pula pin touch sensor yang memungkinkan deteksi sentuhan kapasitif secara langsung pada board, sehingga dapat digunakan untuk membuat tombol sentuh tanpa komponen tambahan.

Pada sisi kanan papan, pin-pin khusus komunikasi seperti TX dan RX untuk UART, MOSI, MISO, SCK, dan CS untuk SPI, serta SDA dan SCL untuk I2C telah disediakan. Hal ini memudahkan integrasi ESP32 dengan berbagai perangkat seperti modul sensor, modul memori, atau layar LCD. Setiap pin komunikasi ini juga bisa diubah fungsinya lewat pemrograman, memberikan keleluasaan dalam merancang sistem sesuai kebutuhan. Selain itu, beberapa pin juga

mendukung fungsi PWM untuk mengendalikan kecepatan motor atau kecerahan LED.

Bagian suplai daya pada ESP32 terdiri dari pin VIN (input tegangan eksternal), GND (ground), dan 3.3V (output regulator onboard). Pin ENABLE atau EN berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan modul ESP32 secara keseluruhan, sedangkan pin BOOT biasanya digunakan untuk masuk ke mode pemrograman saat mengupload sketch dari komputer. Dengan kelengkapan fitur dan jumlah pin yang banyak, ESP32 sangat ideal digunakan untuk proyek-proyek berbasis sensor, otomasi, hingga aplikasi Internet of Things (IoT) yang membutuhkan konektivitas nirkabel dan pengolahan data secara real-time .

C. Solenoid Central Lock Door

Solenoid adalah perangkat elektromekanis yang terdiri dari kumparan kawat, yang menghasilkan medan magnet saat dialiri arus listrik. Medan magnet ini memungkinkan solenoid mengubah energi listrik menjadi gaya mekanis, sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan berbagai mekanisme. Sifat solenoid yang responsif dan dapat dikendalikan secara elektrik menjadikannya komponen penting dalam sistem penggerak otomatis

Pada kendaraan, sistem central lock door memungkinkan pengemudi atau penumpang mengunci dan membuka semua pintu mobil secara bersamaan melalui satu tombol atau remote. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan dengan memastikan seluruh pintu terkunci atau terbuka secara terkoordinasi.

Komponen utama dalam sistem central lock door adalah aktuator kunci. Istilah "solenoid central lock door" merujuk pada aktuator berbasis solenoid atau motor DC yang bertugas menggerakkan mekanisme penguncian pintu. Pada kendaraan modern, aktuator berbasis motor DC lebih umum digunakan, meskipun istilah solenoid masih sering dipakai secara luas

Prinsip kerja central lock melibatkan konversi energi listrik menjadi energi mekanis. Ketika tombol kunci ditekan, unit kontrol menerima sinyal listrik dan meneruskannya ke aktuator di masing-masing pintu. Aktuator kemudian menggerakkan mekanisme internal untuk mengunci atau membuka pintu sesuai perintah.

Pada aktuator solenoid, arus listrik menciptakan medan magnet yang menarik atau mendorong batang penggerak untuk mengaktifkan kunci pintu secara cepat. Sementara itu, aktuator motor DC bekerja dengan memutar motor kecil yang terhubung ke serangkaian roda gigi dan batang penggerak, sehingga mampu mengunci atau membuka pintu secara efisien. Kombinasi sistem mekanis dan elektronik ini memastikan respons cepat dan keandalan dalam operasi central lock kendaraan [9].

D. Driver Motor DC L298N

Driver motor DC merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC (Direct Current). Driver motor DC bekerja dengan cara

mengubah tegangan DC input menjadi sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang kemudian dikirimkan ke motor DC. Adapun modul driver motor DC L298N merupakan modul driver motor DC yang paling banyak digunakan dan dipakai di dunia elektronika

IC L298 merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang mampu mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC dan motor stepper. Pada IC L298 terdiri dari transistor-transistor logik (TTL) dengan gerbang nand yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah putaran suatu motor DC maupun motor stepper. Kelebihan akan modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisian dalam mengontrol motor sehingga motor lebih mudah untuk dikontrol. [10]

IC driver motor tipe L298, yang umum digunakan sebagai pengendali motor DC maupun motor stepper dalam berbagai aplikasi elektronika. IC ini memiliki kemasan Multiwatt15 dengan 15 pin yang masing-masing memiliki fungsi tertentu untuk mengatur arah dan kecepatan motor. Salah satu keunggulan utama dari IC L298 adalah kemampuannya untuk mengontrol dua motor DC secara independen, sehingga sangat cocok digunakan untuk robot bergerak atau aplikasi otomasi yang membutuhkan dua penggerak motor.

Pada bagian pin, terdapat dua jalur utama untuk masing-masing motor, yaitu kanal A dan kanal B. Kanal A terdiri dari pin untuk input kendali (INPUT 1 dan INPUT 2), pin enable (ENABLE A), pin suplai tegangan motor (SUPPLY VOLTAGE Vs), output motor (OUTPUT 1 dan OUTPUT 2), serta pin untuk sensing arus (CURRENT SENSING A). Kanal B memiliki konfigurasi serupa dengan pin ENABLE B, INPUT 3 dan INPUT 4, OUTPUT 3 dan OUTPUT 4, serta CURRENT SENSING B. Pin enable berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan kanal motor, sedangkan input berfungsi sebagai pengendali arah putaran motor dengan mengatur logika HIGH atau LOW.

Selain pin untuk motor, L298 juga memiliki pin khusus untuk suplai tegangan logika (LOGIC SUPPLY VOLTAGE V_s) dan ground (GND). Tegangan logika ini biasanya diberikan sebesar 5V untuk memastikan sirkuit internal IC dapat bekerja dengan baik, sedangkan ground sebagai referensi tegangan sistem. IC ini juga dilengkapi dengan pin sensing arus pada masing-masing kanal yang memungkinkan pengguna untuk memonitor arus yang mengalir ke motor, sehingga dapat digunakan sebagai perlindungan terhadap beban lebih atau untuk keperluan monitoring performa motor.

Penggunaan IC L298 sangat luas dalam dunia robotika dan otomasi, karena kemampuannya dalam menangani arus besar dan tegangan tinggi yang dibutuhkan oleh motor-motor DC. Dengan mengatur logika pada pin input dan enable, pengguna dapat dengan mudah mengendalikan motor untuk bergerak maju, mundur, berhenti, atau bahkan mengatur kecepatannya dengan teknik PWM. IC ini juga menawarkan proteksi yang baik dan kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino, sehingga menjadi pilihan utama dalam merancang sistem kendali motor yang efisien dan andal.

E. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler yang dirancang untuk mendukung pengembangan aplikasi yang lebih kompleks dan membutuhkan banyak sumber daya, seperti robotika dan otomasi industri. Berbasis mikrokontroler ATmega2560, papan ini menawarkan keunggulan berupa jumlah pin input/output yang jauh lebih banyak dibandingkan Arduino standar, sehingga sangat cocok untuk proyek yang melibatkan banyak sensor, aktuator, atau modul komunikasi sekaligus. Fleksibilitas daya dan kemudahan pemrograman melalui USB tetap dipertahankan agar papan ini tetap mudah digunakan oleh berbagai kalangan pengguna [11]

Papan ini dilengkapi dengan 54 pin digital I/O (15 di antaranya mendukung PWM), 16 pin input analog, serta empat port UART untuk komunikasi serial hardware. Selain itu, tersedia juga antarmuka SPI dan I2C yang meningkatkan konektivitas dengan berbagai perangkat eksternal. Kapasitas memori yang besar — 256 KB Flash, 8 KB SRAM, dan 4 KB EEPROM — memungkinkan Arduino Mega 2560 menjalankan aplikasi berskala besar dengan kebutuhan penyimpanan data dan kode program yang tinggi. Bootloader bawaan dan fitur auto-reset memudahkan proses upload program tanpa perangkat tambahan.

Pengelolaan daya menjadi aspek penting pada penggunaan Arduino Mega 2560, dengan tegangan kerja utama 5V dan input eksternal yang direkomendasikan antara 7 hingga 12 volt. Tegangan di luar rentang ini dapat menyebabkan ketidakstabilan atau kerusakan pada perangkat. Dengan fitur dan kapasitas yang dimiliki, Arduino Mega 2560 menjadi solusi handal untuk kebutuhan pengembangan sistem tertanam yang membutuhkan banyak koneksi serta manajemen sumber daya yang efisien.

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah pin yang tersebar di sekeliling board, masing-masing dengan fungsi yang beragam untuk mendukung berbagai kebutuhan aplikasi mikrokontroler. Pada sisi kiri board terdapat deretan pin analog input (A0 sampai A15) yang digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor atau perangkat lain. Setiap pin analog ini terhubung ke ADC (Analog to Digital Converter) di dalam mikrokontroler, sehingga sinyal analog dapat diubah menjadi data digital untuk diproses lebih lanjut. Selain itu, terdapat juga pin-power seperti 3.3V, 5V, GND, dan VIN yang digunakan untuk memberikan suplai daya ke board maupun ke perangkat eksternal.

Di sisi kanan board terdapat deretan pin digital (D0 sampai D53) yang dapat digunakan sebagai input maupun output. Beberapa di antaranya juga mendukung fungsi khusus seperti komunikasi serial (TX dan RX), PWM (Pulse Width Modulation), serta fungsi timer dan interrupt. Pin digital ini sangat fleksibel dan bisa digunakan untuk mengontrol LED, relay, motor, atau membaca status tombol dan sensor digital. Pin D0 hingga D3, misalnya, juga berfungsi sebagai jalur komunikasi serial, sedangkan pin D2 dan D3 mendukung fitur eksternal interrupt yang memungkinkan board merespon perubahan sinyal secara cepat.

Arduino Mega juga dilengkapi dengan pin khusus untuk komunikasi SPI dan I2C. Pin SPI terdiri dari SCK, MISO, MOSI, dan SS yang terletak pada pin D50 hingga D53, digunakan untuk komunikasi dengan perangkat seperti modul SD card atau sensor yang mendukung protokol SPI. Sedangkan pin I2C terletak pada D20 (SDA) dan D21 (SCL), memungkinkan board untuk terhubung dengan berbagai perangkat I2C seperti RTC, sensor suhu, atau ekspander port. Keberadaan pin komunikasi ini menjadikan Arduino Mega sangat cocok untuk proyek-proyek yang membutuhkan banyak perangkat eksternal secara bersamaan. [12]

Selain itu, terdapat juga pin khusus seperti RESET untuk mereset mikrokontroler, pin IOREF untuk referensi tegangan I/O, serta pin AREF untuk referensi tegangan analog eksternal. Pada bagian atas board juga terdapat port USB dan jack power untuk suplai listrik serta pemrograman. Seluruh pin pada Arduino Mega didesain agar kompatibel dengan berbagai shield dan modul tambahan, sehingga pengguna dapat dengan mudah memperluas fungsionalitas board sesuai dengan kebutuhan proyek elektronik yang sedang dikembangkan.

F. LCD TFT SPI+CTP 3.5 inch

LCD TFT bekerja dengan memanfaatkan perubahan orientasi molekul kristal cair untuk mengatur polarisasi cahaya yang melewati setiap sub-piksel RGB; pada konfigurasi active-matrix setiap sub-piksel dikendalikan oleh transistor film tipis (TFT) sehingga tegangan piksel dapat diatur dan dipertahankan secara individual. Susunan panel meliputi substrat kaca, lapisan alignment LC, polarizer, filter warna, dan lapisan TFT (sering berbasis amorphous silicon atau oxide) yang secara kolektif menentukan karakteristik optik seperti viewing angle, kontras, dan waktu respons. Pendekatan active-matrix mengurangi artefak visual seperti ghosting serta memungkinkan refresh yang lebih cepat dibandingkan matriks pasif, sehingga sesuai untuk aplikasi embedded yang membutuhkan tampilan dinamis dan resolusi menengah-tinggi seperti 480×320 piksel. [13]

Backlight merupakan komponen determinan terhadap kecerahan, keseragaman, dan reproduksi warna akhir; implementasi umum menggunakan array LED dengan light-guide dan diffuser untuk mencapai distribusi cahaya yang homogen. Parameter teknis seperti intensitas, color rendering index (CRI), dan stabilitas arus mempengaruhi gamut dan kontras; oleh karena itu pengelolaan daya backlight termasuk penggunaan PWM untuk pengaturan kecerahan, desain driver yang mampu mensuplai arus yang diperlukan, serta pertimbangan termal harus dipertimbangkan secara sistemik guna menghindari degradasi performa atau flicker pada refresh rendah. Perancangan catu daya juga mensyaratkan decoupling yang adekuat dan proteksi terhadap transient untuk menjaga stabilitas operasi panel.

Representasi warna dan format data berdampak signifikan terhadap kebutuhan bandwidth dan kualitas visual. Meskipun panel nominal mendukung 18–24 bit warna, praktik umum pada sistem berresource terbatas adalah penggunaan format 16-bit (RGB565) sebagai kompromi antara kualitas dan penghematan transfer data. Driver controller (mis. ILI9486) bertanggung jawab atas inisialisasi panel, pengaturan timing

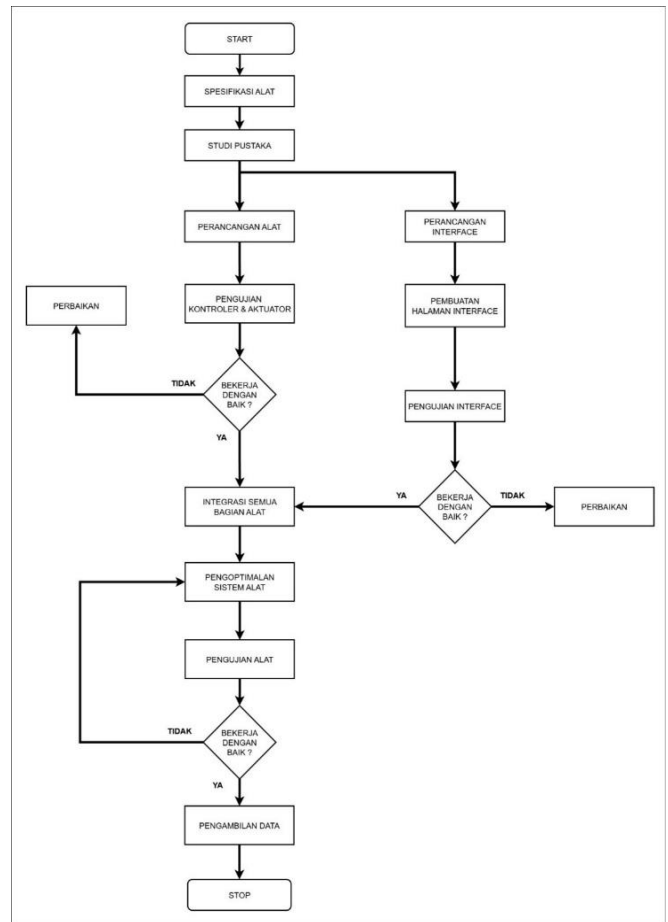
(HSYNC/VSYNC/DE), pemilihan pixel format, serta register untuk koreksi gamma; ketidaksesuaian konfigurasi antara perangkat lunak dan register driver seringkali menyebabkan perbedaan warna atau artefak, sehingga sinkronisasi konfigurasi dan pengaturan gamma diperlukan untuk linearitas luminans yang akurat.

Antarmuka SPI menyediakan jalur komunikasi yang sederhana dan hemat pin tetapi memiliki keterbatasan throughput relatif terhadap antarmuka paralel. Untuk mengatasi bottleneck ini dapat diterapkan teknik optimasi seperti pemanfaatan hardware SPI dengan DMA untuk transfer blok besar tanpa beban CPU, pengurangan kedalaman warna ke RGB565, partial update hanya pada area yang berubah, serta penggunaan line/row buffer atau streaming data alih-alih framebuffer penuh. Selain itu, penataan aset grafis (glyph, tiles) dan penyimpanan aset besar di media eksternal (SD/flash) memperkecil kebutuhan memori internal sehingga meningkatkan responsivitas antarmuka pada MCU dengan sumber daya terbatas.

Touchscreen kapasitif bekerja dengan pengukuran perubahan kapasitansi antar elektroda; metode mutual-capacitance umum digunakan untuk mendukung multi-touch dan memberikan imunitas terhadap noise lingkungan lebih baik daripada self-capacitance. Controller CTP menyediakan koordinat sentuh via I²C dan biasanya menyertakan pin interrupt (INT) untuk pemberitahuan event sehingga mengurangi kebutuhan polling. Integrasi yang andal memerlukan kalibrasi peta koordinat terhadap orientasi dan resolusi layar, penerapan filtering serta debouncing untuk mengurangi jitter, dan penanganan multi-touch atau gesture pada lapisan aplikasi; aspek hardware seperti pull-up I²C yang tepat, routing sinyal pendek, serta level shifting bila MCU menggunakan tegangan berbeda juga krusial untuk memastikan stabilitas fungsi sentuh.

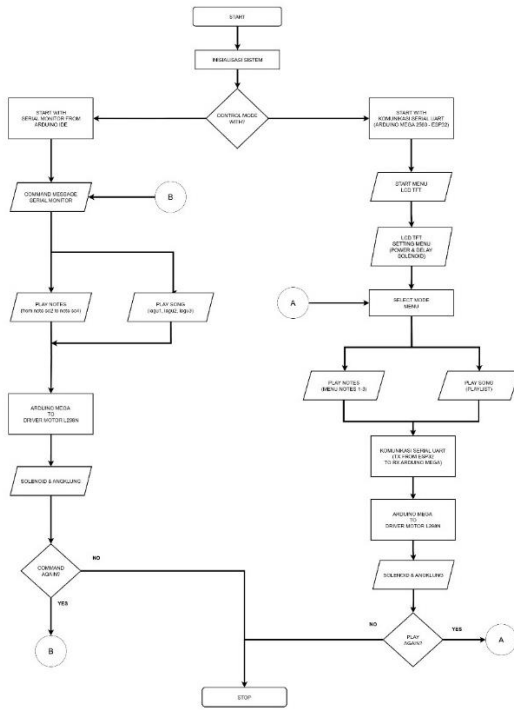
II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode uji coba atau eksperimen dengan tahapan perancangan penelitian sebagai berikut



Gbr 1. Flowchart Perancangan Sistem

Dari gambar flowchart diatas dijelaskan bahwa, tahap awal perancangan adalah dengan merancang bagian kontroler dan aktuator dan perancangan bagian interface. Setelah perancangan maka dilanjutkan dengan pembuatan alat dan pembuatan bagian interface, setelah itu dilakukan pengujian/uji coba apakah bagian kontroler dan aktuator serta halaman interface berjalan dengan baik, jika tidak maka tiap bagian kontroler dan aktuator yang bermasalah akan dilakukan identifikasi masalah dan repairing serta dilakukan pengecekan ulang pada tiap bagian interface jika terjadi bagian yang tidak sesuai dengan fungsinya. Maksud dari pengujian/uji coba kontroler dan aktuator adalah ketika dalam pembuatannya apakah kontroler dan aktuator itu bekerja dengan presisi atau tidak dan tidak adanya kesalahan dalam fungsi interface ketika diintegrasikan. Kemudian apabila semua berjalan dengan baik maka akan dilanjutkan dengan integrasi semua sistem alat. Selanjutnya proses dilanjutkan dengan pengoptimalan sistem, kemudian dilakukan pengujian setelah pengoptimalan sistem, jika ada masalah pada alat akan dilakukan troubleshooting. Tahap terakhir adalah pengambilan data kinerja dari alat.



Gbr 2. Flowchart Cara Kerja Sistem Robot Angklung

Dari flowchart di atas diperlihatkan cara kerja dari sistem kontrol otomatis dan kontrol interface pada permainan alat musik tradisional angklung berbasis mikrokontroler yang menggunakan ESP32 ini yakni dimulai dari power MCB yang dinyalakan lalu ESP32 menghubungkan komunikasi dari LCD TFT 3.5 SPI+CTP yang nantinya input sentuhan layar dari LCD TFT 3.5 SPI+CTP akan memberikan input yang akan ditransmisikan ke ESP32 lalu ke Arduino Mega 2560 yang nantinya akan mengirim sinyal input ke driver motor L298N dimana output sinyal dari driver motor dikirim ke solenoid central lock door yang nantinya akan menggerakkan angklung.

Setiap output sinyal yang diterima oleh solenoid harus sesuai dari input sentuhan dari LCD TFT 3.5 SPI+CTP yang berfungsi sebagai interfacing dengan pengguna yang menginginkan memainkan tiap nada angklung yang ingin dimainkan.

Adapun, aturan atau konfigurasi notasi, tempo serta ketukan nada yang ditentukan dalam memainkan robot angklung sebagai berikut.

TABEL I
KETERANGAN PENAMAAN DAN KODE NADA

Nada (Not Angka)	Kode Nada	Keterangan
Sol (Rendah)	so2	Terhubung ke solenoid 1, driver motor 1 output 1 dan 2

La (Rendah)	la2	Terhubung ke solenoid 2, driver motor 1 output 3 dan 4
Si (Rendah)	si2	Terhubung ke solenoid 3, driver motor 2 output 1 dan 2
Do	do3	Terhubung ke solenoid 4, driver motor 2 output 3 dan 4
Re	re3	Terhubung ke solenoid 5, driver motor 3 output 1 dan 2
Mi	mi3	Terhubung ke solenoid 6, driver motor 3 output 3 dan 4
Fa	fa3	Terhubung ke solenoid 7, driver motor 4 output 1 dan 2
Fis	fi3	Terhubung ke solenoid 8, driver motor 4 output 3 dan 4
Sol	so3	Terhubung ke solenoid 9, driver motor 5 output 1 dan 2
La	la3	Terhubung ke solenoid 10, driver motor 5 output 3 dan 4
Si	si3	Terhubung ke solenoid 11, driver motor 6 output 1 dan 2
Do (Tinggi)	do4	Terhubung ke solenoid 12, driver motor 6 output 3 dan 4
Re (Tinggi)	re4	Terhubung ke solenoid 13, driver motor 7 output 1 dan 2
Mi (Tinggi)	mi4	Terhubung ke solenoid 14, driver motor 7 output 3 dan 4
Fa (Tinggi)	fa4	Terhubung ke solenoid 15, driver motor 8 output 1 dan 2
Sol (Tinggi)	so4	Terhubung ke solenoid 16, driver motor 8 output 3 dan 4
0 (Nada kosong)	0	Nada kosong untuk jeda lagu atau delay untuk jeda nada

TABEL II
KETERANGAN KODE KETUKAN NADA

Ketukan Nada	Kode Ketukan Nada	Durasi Ketukan Nada
4/4 atau 1 ketukan	1	2,4 detik
3/4 ketukan	3/4	1,8 detik

2/4 atau 1/2 ketukan	1/2	1,2 detik
1/4 ketukan	1/4	0,6 detik
1/8 ketukan	1/8	0,3 detik
1/16 ketukan	1/16	0,15 detik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengujiannya, terdapat beberapa tahap yang perlu dilakukan sesuai dengan flowchart pada gambar 1, yakni sebagai berikut.

A. Rencana Pengujian

TABEL III
RENCANA PENGUJIAN

Item yang Diuji	Detail Pengujian	Tujuan
LCD TFT 3.5	Akurasi data yang dikirim LCD TFT melalui input sentuhan pengguna ke mikrokontroler	Untuk memastikan touchscreen LCD berfungsi dengan baik
Serial Komunikasi antara ESP32 dengan Arduino Mega 2560	Akurasi data yang dikirimkan ESP32 ke Arduino Mega yang nantinya akan menggerakkan aktuator	Untuk menguji akurasi dan kecepatan data yang terkirim antara 2 mikrokontroler
Arduino Mega 2560 ke Driver Motor L298N	Akurasi sinyal yang dikirim dari Arduino Mega ke Driver Motor L298N	Untuk menguji kualitas komponen Driver Motor apakah dapat menerima sinyal dari Arduino Mega dengan baik
Respon Solenoid	Respon gerakan solenoid setelah menerima input dari driver dan mikrokontroler	Untuk menguji kualitas solenoid apakah dapat menerima input sinyal dan kekuatan dorongan solenoid apakah berfungsi dengan baik
Memainkan satu atau lebih nada dengan ketukan dari mikrokontroler	Masukkan command pada Serial Monitor di Arduino IDE "DO3:1/4"	Untuk menguji kualitas komponen apakah menerima input sinyal dari Arduino Mega dengan baik
Memainkan satu lagu dari mikrokontroler	Masukkan command pada Serial Monitor di Arduino IDE "himneteknik"	Untuk menguji kualitas komponen apakah menerima input sinyal dari

Item yang Diuji	Detail Pengujian	Tujuan
		Arduino Mega dengan baik
Memainkan satu atau lebih nada dengan ketukan dari input sentuhan LCD TFT 3.5	Masukkan input dari ESP32 untuk menggerakkan satu nada	Untuk menguji kualitas komponen apakah menerima input sinyal dari LCD TFT 3.5 dengan baik
Memainkan satu lagu dari input sentuhan LCD TFT 3.5	Masukkan input dari ESP32 untuk memainkan sebuah lagu	Untuk menguji kualitas komponen apakah menerima input sinyal dari LCD TFT 3.5 dengan baik

Adapun hal-hal yang dapat menjadi parameter untuk mencapai tujuan dalam rencana pengujian yakni sebagai berikut.

1. Jeda waktu (delay) komunikasi antar mikrokontroler tidak lebih dari 5 detik
2. Area input yang digunakan dalam koordinat layar sentuh harus sesuai dengan area yang disentuh
3. Durasi memainkan angklung antara tempo nada dengan pengaturan daya dan kecepatan ketukan dalam program mikrokontroler harus sesuai.
4. Durasi memainkan angklung antara tempo ketukan lagu dalam partitur dengan pengaturan daya dan kecepatan ketukan dalam program mikrokontroler harus sesuai dimana lagu yang dimainkan.
 - a) Lagu1 (Himne Politeknik TEDC) : Durasi lagu : ± 1 menit 5 detik
 - b) Lagu2 (Ibu Kita Kartini) : Durasi lagu : ± 46 detik
 - c) Lagu3 (Mengheningkan Cipta) : Durasi lagu : ± 1 menit 56 detik

B. Hasil Pengujian

Berdasarkan rencana pengujian pada tabel III dan beberapa parameter yang telah ditentukan maka diperoleh hasil pengujian yakni.

1. Akurasi sentuhan LCD TFT 3.5 dalam mengirimkan input ke ESP32

TABEL IV
RESPON SENTUHAN LCD TFT KETIKA MEMAINKAN NADA

Timestamp	Keterangan
03:27:22.392	Touch mapped: x=238 y=184 page=4
03:27:22.426	Tombol NOTE "re3" hold-start
03:27:22.426	Sent to Mega: fromESP:note re3

Timestamp	Keterangan
03:27:22.497	Mega: Mainkan note: re3
03:27:22.497	Touch mapped: x=238 y=184 page=4
03:27:22.618	Touch mapped: x=238 y=184 page=4
03:27:22.618	Sent to Mega: fromESP:note re3
03:27:22.695	Touch released -> clearing note hold
03:27:22.695	Sent to Mega: fromESP:note_off re3
03:27:22.762	Command from Mega: played_note:re3
03:27:22.762	Mega: played_note:re3
03:27:23.053	Touch mapped: x=330 y=133 page=4
03:27:23.128	Tombol NOTE "si2" hold-start
03:27:23.128	Sent to Mega: fromESP:note si2
03:27:23.162	Mega: Mainkan note: si2
03:27:23.162	Touch mapped: x=330 y=133 page=4
03:27:23.260	Touch mapped: x=330 y=133 page=4
03:27:23.327	Sent to Mega: fromESP:note si2
03:27:23.395	Touch mapped: x=330 y=133 page=4
03:27:23.463	Touch released -> clearing note hold
03:27:23.510	Sent to Mega: fromESP:note_off si2
03:27:23.546	Command from Mega: played_note:si2
03:27:23.546	Mega: played_note:si2
03:27:23.546	Mega: Mega OK
03:27:23.977	Touch mapped: x=153 y=183 page=4
03:27:24.011	Tombol NOTE "do3" hold-start
03:27:24.011	Sent to Mega: fromESP:note do3

TABEL V
RESPON SENTUHAN LCD TFT KETIKA MEMAINKAN LAGU

Timestamp	Keterangan
04:15:55.600	Sent to Mega: fromESP:play lagu3
04:15:55.779	Command from Mega: status:playingMemutar lagu3
04:16:14.704	Touch mapped: x=220 y=170 page=8
04:16:14.778	STOP PLAYING pressed.
04:16:14.778	Sent to Mega: fromESP:stop
04:16:14.778	Serial: Stop command sent -> Lagu berhenti.
04:16:14.963	Command from Mega: status:stoppedfromMega:status:stoppedStopped Mega OK
04:16:16.829	Mega: Mega OK

TABEL VI
RESPON SENTUHAN LCD TFT KETIKA MEMAINKAN LAGU LALU DIBERHENTIKAN LALU MEMAINKAN LAGU LAINNYA

Timestamp	Keterangan
04:19:07.778	Sent to Mega: fromESP:play lagu2
04:19:07.943	Command from Mega: status:playingMemutar lagu2
04:19:43.287	Touch mapped: x=169 y=172 page=8
04:19:43.353	STOP PLAYING pressed.
04:19:43.353	Sent to Mega: fromESP:stop
04:19:43.353	Serial: Stop command sent -> Lagu berhenti.
04:19:43.524	Command from Mega: status:stoppedfromMega:status:stoppedStopped Mega OK
04:19:45.343	Mega: Mega OK
04:19:46.560	Touch mapped: x=223 y=186 page=9
04:19:46.597	Area FINISHED lain -> SELECT
04:19:47.363	Mega: Mega OK
04:19:48.855	Touch mapped: x=207 y=197 page=3
04:19:48.855	Tombol PLAY SONG (PLAYLIST) ditekan
04:19:49.424	Mega: Mega OK
04:19:51.016	Touch mapped: x=185 y=126 page=7
04:19:51.062	Playlist item 1
04:19:51.062	Sent to Mega: fromESP:play lagu1
04:19:51.207	Command from Mega: status:playingMemutar lagu1
04:20:56.071	Command from Mega: status:finished
04:20:56.227	Mega: SelesaiMega OK

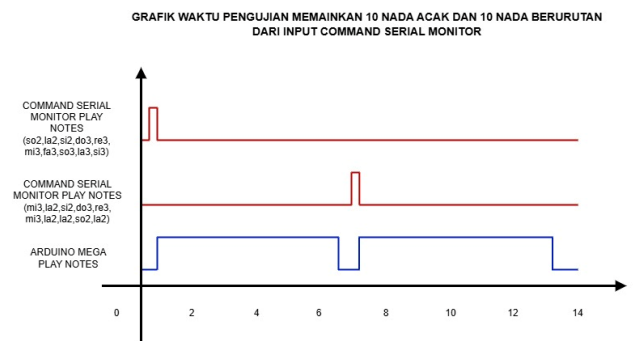
2. Respon Serial Komunikasi UART antara ESP32 dengan Arduino Mega 2560

TABEL VII
RESPON AWAL KOMUNIKASI SERIAL UART ANTARA ESP32
DENGAN ARDUINO MEGA 2560

Respon Awal dari ESP32		Respon Awal dari Arduino Mega 2560	
22:52:01.320	Settings synchronized with Mega.	22:51:55.215	~f~ff~ ~fx~f~ ~fxxf~ ~fxxf~ Booting Arduino Mega (combined + notes...)...
22:52:01.320	Mega: Mega OK	22:51:59.044	Serial1 aktif, komunikasi dengan ESP32 dimulai
22:52:03.286	SYNC: received power from Mega = 150	22:51:59.083	Ready. Commands:
22:52:03.286	Settings synchronized with Mega.	22:51:59.122	play <lagu1 lagu2 lagu3>
22:52:03.325	SYNC: received delay from Mega = 40	22:51:59.122	note <kode_nada>
22:52:03.325	Settings synchronized with Mega.	22:51:59.162	notes <kode1> <kode2> ... (maks 20) -- juga terima koma
22:52:03.325	Mega: Mega OK	22:51:59.195	stop
22:52:05.299	SYNC: received power from Mega = 150	22:51:59.195	setting <power delay> <value>
22:52:05.337	Settings synchronized with Mega.	22:51:59.260	get_settings
22:52:05.368	SYNC: received delay from Mega = 40	22:51:59.297	Proactive settings -> power: 150 delay: 40
22:52:05.368	Settings synchronized with Mega.	22:52:00.244	Command from ESP32: get_settings
22:52:05.368	Mega: Mega OK	22:52:00.276	Replied settings -> power 150, delay 40
22:52:07.338	SYNC: received power from Mega = 150	22:52:01.288	Proactive settings -> power: 150 delay: 40

Respon Awal dari ESP32		Respon Awal dari Arduino Mega 2560	
22:52:07.338	Settings synchronized with Mega.	22:52:03.286	Proactive settings -> power: 150 delay: 40
22:52:07.365	SYNC: received delay from Mega = 40	22:52:05.336	Proactive settings -> power: 150 delay: 40
22:52:07.365	Settings synchronized with Mega.	22:52:07.328	Proactive settings -> power: 150 delay: 40
22:52:07.365	Mega: Mega OK		
22:52:09.322	Mega: Mega OK		

3. Akurasi dalam Memainkan Nada

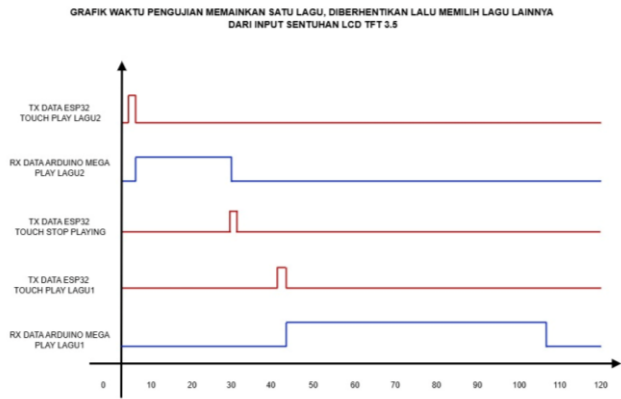


Gbr. 3 Grafik Waktu Pengujian Memainkan 10 Nada Acak dan 10 Nada Berurutan dari Input Command Serial Monitor

4. Akurasi dalam Memainkan Lagu



Gbr. 4 Grafik Waktu Pengujian Memainkan Satu Lagu Lalu Diputar Ulang dari Input LCD TFT



Gbr. 5 Grafik Waktu Pengujian Memainkan Satu Lagu Lalu Diberhentikan Lalu Memilih Lagu Lainnya dari Input LCD TFT

Berdasarkan dari rencana pengujian pada skema pengujian dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa diperoleh hasil akhir dari pengujian tersebut dimana.

TABEL VIII
RINGKASAN HASIL PENGUJIAN

Item yang Diuji	Detail Pengujian	Ketercapaian Parameter	
		Tercapai	Tidak
LCD TFT 3.5	Akurasi data yang dikirim LCD TFT melalui input sentuhan pengguna ke mikrokontroler	✓	
Serial Komunikasi antara ESP32 dengan Arduino Mega 2560	Akurasi data yang dikirimkan ESP32 ke Arduino Mega yang nantinya akan menggerakkan aktuator	✓	
Arduino Mega 2560 ke Driver Motor L298N	Akurasi sinyal yang dikirim dari Arduino Mega ke Driver Motor L298N	✓	
Respon Solenoid	Respon gerakan solenoid setelah menerima input dari driver dan mikrokontroler	✓	
Memainkan satu atau lebih nada dengan ketukan dari mikrokontroler	Masukkan command pada Serial Monitor di Arduino IDE "DO3:1/4"	✓	

Item yang Diuji	Detail Pengujian	Ketercapaian Parameter	
		Tercapai	Tidak
Memainkan satu lagu dari mikrokontroler	Masukkan command pada Serial Monitor di Arduino IDE "himneteknik"	✓	
Memainkan satu atau lebih nada dengan ketukan dari input sentuhan LCD TFT 3.5	Masukkan input dari ESP32 untuk menggerakkan satu nada	✓	
Memainkan satu lagu dari input sentuhan LCD TFT 3.5	Masukkan input dari ESP32 untuk memainkan sebuah lagu	✓	

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Otomatisasi alat musik tradisional angklung berbasis mikrokontroler ESP32 dan Arduino Mega 2560 berhasil dirancang dengan mengintegrasikan komponen elektronik seperti solenoid, driver motor L298N, dan LCD TFT 3.5 serta antarmuka sentuh, sehingga setiap nada dapat dipicu secara akurat sesuai partitur. Implementasi sistem mengikuti alur input sentuh pada LCD TFT yang nantinya dikirim ke ESP32 melalui perantara komunikasi UART yang nantinya akan diterima Arduino Mega lalu memberikan input ke driver motor L298N lalu akhirnya ke solenoid yang menggerakkan tabung angklung.

Penggunaan UART antara ESP32 dan Arduino Mega memastikan komunikasi data cepat dan andal, sementara driver L298N dan solenoid memungkinkan penggerak mekanis angklung dengan respons yang konsisten. Desain sistem kontrol dan interface ini menekankan modularitas dan kemudahan perawatan, komponen standar mudah dijumpai di pasaran, rangkaian menggunakan level shifting untuk kompatibilitas tegangan, dan antarmuka sentuh memudahkan pengguna memilih nada atau lagu tanpa pengetahuan pemrograman. Parameter tempo (100 BPM) dan notasi ketukan disesuaikan sehingga durasi tiap nada mengikuti standar musik, memudahkan pengujian dan penyesuaian performa.

Pengujian fungsional dan kinerja menunjukkan semua subsistem memenuhi parameter yang ditetapkan dimana touchscreen TFT memetakan sentuhan dan mengirimkan perintah yang diterima oleh ESP32, komunikasi serial ESP32 ke Mega terbukti sinkron dan andal (log menunjukkan multiple "Settings synchronized" dan respon "Mega OK"), sinyal dari Mega ke driver L298N diterjemahkan dengan benar, dan solenoid merespons sesuai perintah sehingga eksekusi nada tunggal, urutan nada, dan pemutaran lagu penuh berjalan sesuai tempo dan durasi yang diharapkan serta menunjukkan bahwa touchscreen LCD mengirimkan perintah dengan akurasi tinggi, komunikasi serial bekerja sesuai harapan, dan solenoid

merespons sinyal driver dengan kecepatan yang memadai untuk memainkan nada hingga menyelesaikan satu lagu penuh. Rangkaian uji juga menegaskan kestabilan sistem saat beban operasi berkelanjutan, membuktikan keandalan platform mikrokontroler untuk aplikasi otomasi musik.

Dengan solusi ini, proses pembelajaran dan pelestarian alat musik tradisional dapat diperkaya lewat otomatisasi, memfasilitasi demonstrasi tanpa membutuhkan banyak tenaga pemain sekaligus. Selain menjadi media edukasi bagi mahasiswa Otomasi Industri, sistem ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut dalam kolaborasi antara teknologi modern dan budaya musik lokal.

B. Saran

Hasil dari perancangan dan pengerjaan Otomatisasi alat musik tradisional angklung ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menyarankan pembaca yang ingin mengembangkan alat ini supaya bisa lebih baik dalam beberapa hal berikut.

1. Menggunakan mikrokontroler yang spesifikasinya lebih bagus atau menemukan komunikasi atau rancangan komunikasi yang lebih baik dalam mengintegrasikan sistem.
2. Mengembangkan bagian interface alat supaya bisa lebih mudah digunakan oleh orang awam dan menggunakan komponen interface yang lebih bagus.
3. Menambahkan sistem Iot ataupun database yang memudahkan alat supaya bisa dikontrol dari jarak yang jauh.

REFERENSI

- [1] S. Widiyanti, I. Setiadi and H. F. Hermawan, "Aplikasi Pengenalan Alat Musik Tradisional Indonesia Berbasis Android," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 2023.
- [2] L. S. A. Gasparetto, "A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century," March 2019.
- [3] B. Ballard, ""The First Robots: History's Early Automatons.,"" 12 October 2016. [Online]. Available: <https://www.comparethecloud.net/articles/the-first-robots-historys-early-automatons/>.
- [4] A. Roberts, "The History of Science Fiction," *New York: Palgrave Macmillan*, p. p.168, 2006.
- [5] Mursito, "Rahasia Angklung Padaeng 1 – Melodi," 25 July 2013. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20130725031610/http://klungbot.com/rahasia_angklung_padaeng_1/.
- [6] N. C. Makasenggehe, "Perancangan Power Supply Digital Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Keypad Sebagai Pemilih Tegangan," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 2012.
- [7] Handson Technology, "ESP32 Expansion Board Datasheet," n.d.
- [8] M. Y. H. & W. Z. Nizam, "Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web.," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, pp. Vol. 6, Issue 2, 2022.
- [9] Ohio Electric Motors, "DC Series Motors: High Starting Torque but No Load Operation Ill-Advised.," 2011.
- [10] Y. H. P. Nindyaningrum, E. S. Budi and D. Radianto, "Sistem Kendali PI Aplikasi Mini Plant LevelAirBerbasis Arduino," *Jurnal Elkolind*, vol. Vol. 10 No. 3, 2023.
- [11] Kartiria, Erhaneli and C. Y. Windra, "Penerapan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai Monitoring pada Pembacaan Arus 3 Phasa di Gardu Induk 150 kV Lubuk Alung," *Jurnal Teknik Elektro (ITP)*, Vols. Vol. 10, No. 1, 2021.
- [12] A. N. Aliyanto, "Perancangan Sistem Timbangan Digital Berbasis Arduino Mega 2560," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 2018.
- [13] C. S. Aji and A. F. Pangestu, "Speaker Monitor dengan Antarmuka LCD Digital," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. Vol. 5 No. 3, 2021.