

Rancang Bangun dan Implementasi Sistem Lonceng Gereja Berbasis Digital di Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama

Richard Samuel Waremra¹, Daniel Parennden^{2*}

^{1,2*}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Merauke, Papua Selatan, Indonesia

Email: ¹rickywaremra@unmus.ac.id, ^{2*}daniel@unmus.ac.id

Abstract

This community service project designed and implemented a digital church-bell system at GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama (Merauke, South Papua, Indonesia). The partner previously relied on fully manual bell operation, which often caused delays when the responsible operator was unavailable. The proposed solution integrates an Arduino Mega 2560 controller, a 4×4 matrix keypad for command input, a 16×2 I2C LCD for menu/status display, and a DFPlayer Mini module to play pre-recorded bell and announcement tones stored on a microSD card. The audio output is fed to a PA amplifier and broadcast through a horn speaker installed on the church tower. Implementation stages included needs assessment, hardware–software development, panel assembly, on-site installation, functional testing, and operator training accompanied by an operating and maintenance SOP. Black-box tests confirmed that each keypad command reliably triggered the intended sound sequence, while reset and basic electrical protections functioned properly. The system reduces dependency on a single operator, improves the timeliness of worship calls, and is replicable using affordable off-the-shelf components.

Keywords: Church Bell, Keypad Control, Arduino, Dfplayer Mini, Appropriate Technology.

Abstrak

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem lonceng gereja berbasis digital di Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama, Merauke, Papua Selatan. Mitra sebelumnya membunyikan lonceng secara manual sehingga ketepatan waktu sangat bergantung pada ketersediaan petugas. Solusi yang dikembangkan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali, keypad matriks 4×4 sebagai masukan perintah, LCD 16×2 berbasis I2C sebagai tampilan menu/status, serta modul DFPlayer Mini untuk memutar file audio lonceng/pengumuman dari kartu microSD. Sinyal audio diteruskan ke penguat suara (PA amplifier) dan dikeluarkan melalui horn speaker yang dipasang di menara gereja. Tahapan pelaksanaan meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perakitan panel kontrol, instalasi di lokasi, uji fungsi, serta pelatihan operator disertai SOP pengoperasian dan perawatan. Hasil uji fungsional menunjukkan setiap perintah keypad dapat memicu bunyi yang sesuai secara konsisten dan sistem lebih mudah dioperasikan. Sistem ini meningkatkan ketepatan penanda ibadah dan dapat direplikasi pada gereja lain dengan komponen yang terjangkau.

Kata Kunci: Lonceng Gereja, Keypad, Arduino Mega, Dfplayer Mini, Teknologi Tepat Guna.

A. PENDAHULUAN

Lonceng gereja merupakan penanda penting untuk mengatur ritme kegiatan ibadah dan pelayanan, baik sebagai panggilan jemaat, penanda dimulainya ibadah, maupun penutup rangkaian kegiatan. Di Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama, pembunyian lonceng sebelumnya dilakukan secara manual sehingga ketepatan waktu sangat bergantung pada ketersediaan petugas.

Dalam konteks teknologi tepat guna, pemanfaatan mikrokontroler dan modul audio yang mudah diperoleh dapat menjadi solusi yang sederhana, murah, dan mudah dirawat. Platform Arduino banyak digunakan untuk pengembangan sistem kendali karena dokumentasi dan ekosistem pustaka yang luas (ARDUINO IDE, 2024). Untuk keluaran audio, modul DFPlayer Mini dapat memutar berkas suara dari microSD dan

dikendalikan melalui komunikasi serial (Robot, 2020). Dokumentasi komunikasi serial dan pemrograman mikrokontroler merujuk pada referensi Arduino dan literatur pengantar sistem embedded (ARDUINO IDE, 2024), (Barrett, 2022), (D, O'Sullivan ; Tom, 2016), (Monk, 2021).

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan pengabdian ini bertujuan merancang, membangun, dan mengimplementasikan sistem lonceng gereja berbasis digital dengan mode pemicu manual melalui keypad. Luaran mencakup perangkat terpasang, SOP pengoperasian dan perawatan, serta peningkatan kemampuan pengurus gereja dalam mengoperasikan sistem.

B. PELAKSAAN DAN METODE

Kegiatan dilaksanakan di Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama pada periode September–November 2025. Sasaran kegiatan adalah pengurus/petugas yang bertanggung jawab terhadap operasional lonceng dan sistem pengeras suara gereja.

Metode pelaksanaan terdiri atas lima tahapan:

1. Identifikasi kebutuhan dan kondisi infrastruktur;
2. Perancangan sistem;
3. Perakitan panel kontrol dan konfigurasi file audio;
4. Instalasi dan pengujian di lokasi; serta
5. Pelatihan operator dan penyerahan SOP.

Pendekatan pelaksanaan dan evaluasi kegiatan PkM mengikuti pedoman internal serta prinsip penelitian terapan (Sugiyono, 2020).

Analisis kebutuhan mitra dan perumusan spesifikasi

Tahap awal dilakukan melalui observasi langsung terhadap proses pembunyian lonceng dan sistem pengeras suara yang sudah ada, serta wawancara singkat dengan pengurus/petugas gereja. Pengumpulan informasi difokuskan pada (i) pola kegiatan ibadah dan pengumuman yang memerlukan tanda suara, (ii) kendala operasional lonceng manual (ketergantungan pada petugas tertentu, potensi keterlambatan, dan inkonsistensi bunyi), serta (iii) kondisi infrastruktur seperti ketersediaan sumber listrik, lokasi panel operator, jalur kabel menuju menara, dan kondisi amplifier yang telah digunakan. Teknik identifikasi kebutuhan ini mengikuti prinsip survei lapangan dan studi dokumentasi dalam penelitian terapan (Sugiyono, 2020).

Berdasarkan hasil identifikasi, disepakati bahwa solusi yang dikembangkan berorientasi teknologi tepat guna: komponen mudah diperoleh, biaya terjangkau, perawatan sederhana, dan dapat dioperasikan oleh pengurus tanpa keahlian teknis tinggi. Fungsi inti yang diprioritaskan adalah pemicu bunyi manual melalui keypad (tanpa penjadwalan otomatis) agar sesuai dengan kebiasaan operasional mitra dan memudahkan kontrol saat kegiatan berlangsung.

Desain sistem (perangkat keras dan perangkat lunak)

Desain sistem disusun dengan arsitektur sederhana: perangkat input (keypad) - pengendali (Arduino Mega 2560) - pemutar audio (DFPlayer Mini + microSD) - penguat daya (PA amplifier) - keluaran (horn speaker). Antarmuka LCD 16x2 berbasis I2C digunakan untuk menampilkan menu, status, dan konfirmasi perintah sehingga mengurangi kesalahan operator. Pemilihan Arduino Mega mempertimbangkan ketersediaan pin I/O yang memadai dan dukungan ekosistem pustaka yang luas untuk pengembangan cepat pada proyek embedded (Barrett, 2022), (Monk, 2021), (D, O'Sullivan ; Tom, 2016).

Pada sisi perangkat lunak, logika program difokuskan pada pemindaian tombol keypad (matrix scanning), pengolahan perintah dengan debouncing, pemetaan tombol ke file/folder audio, serta pengendalian DFPlayer melalui komunikasi serial. Konfigurasi file suara disimpan pada microSD agar mudah diperbarui tanpa mengubah rangkaian. Prinsip ini sejalan dengan praktik pengembangan sistem audio berbasis mikrokontroler yang memisahkan lapisan kendali dan konten audio (ARDUINO IDE, 2024), (Robot, 2020).

Perakitan panel kontrol dan pengamanan

Perakitan dilakukan pada box panel kontrol tertutup untuk melindungi komponen dari debu dan kontak langsung pengguna. Di dalam panel disediakan MCB/sekring sebagai pengaman arus lebih, tombol reset untuk pemulihan cepat saat terjadi gangguan, serta kunci panel untuk membatasi akses tidak sah. Penataan

kabel dilakukan dengan pengikatan dan pelabelan untuk memudahkan inspeksi dan mengurangi risiko sambungan longgar. Aspek proteksi dan keselamatan instalasi mengacu pada prinsip desain instalasi tegangan rendah dan kebutuhan pembumian/grounding yang baik (Lim & Al-Shawesh, 2019), (Body, 2018), (Mustajärvi, 2021).

Perakitan panel kontrol dan pengamanan

Instalasi horn speaker dilakukan pada menara gereja pada posisi yang relatif terlindung dari hujan langsung namun tetap optimal untuk sebaran suara. Jalur kabel dari panel operator menuju amplifier dan menara ditata mengikuti rute yang aman serta diberi pengikat untuk mencegah tarikan mekanis. Setelah instalasi, dilakukan uji fungsional (black-box) untuk memastikan setiap tombol menghasilkan bunyi yang sesuai, kemudian dilanjutkan pendampingan operasi saat kegiatan gereja. Pelatihan operator menekankan pengoperasian dasar, pengaturan volume, prosedur pemulihan, dan perawatan ringan, sesuai prinsip usability dan interpretasi umpan balik pengguna (J, Sauro; JR, 2016).

Sistem dirancang berbasis Arduino Mega 2560 yang menerima perintah dari keypad matriks 4×4. Perintah dipilih melalui menu pada LCD 16×2 I2C, kemudian Arduino mengendalikan DFPlayer Mini untuk memutar berkas audio dari microSD. Keluaran audio dihubungkan ke PA amplifier yang sudah tersedia, lalu disalurkan ke horn speaker pada menara gereja. Panel dilengkapi pengaman (MCB/sekring) dan tombol reset untuk pemulihan cepat. Implementasi perangkat lunak memanfaatkan pustaka Keypad untuk pemindaian tombol matriks dan Liquid Crystal I2C untuk antarmuka LCD, serta pustaka DFPlayerMini untuk pemutaran audio (Robot, 2020), (Morocz, 2023), (Moses et al., 2025). Perancangan rangkaian dan pengamanan instalasi mengacu praktik elektronika dan standar instalasi tegangan rendah, serta spesifikasi amplifier yang digunakan (Paul Horowitz; Winfield Hill, 2015), (Lim & Al-shawesh, 2019), (Body, 2018), (Fadlil et al., 2024), (Self, 2013), (Mustajärvi, 2021).

Evaluasi dilakukan melalui uji fungsional (black-box) pada seluruh mode bunyi yang tersedia, serta pendampingan langsung saat pen gurus mengoperasikan sistem pada kegiatan ibadah. Penilaian kemudahan penggunaan mengacu prinsip pengukuran usability dan interpretasi data kuesioner (J, Sauro; JR, 2016).

Tabel 1. Daftar komponen utama sistem lonceng digital

Komponen	Fungsi/Spesifikasi Utama
Arduino Mega 2560	Pengendali utama; membaca keypad; mengendalikan LCD; mengirim perintah serial ke DFPlayer.
Keypad matriks 4×4	Pemicu manual; pemilihan mode bunyi lonceng/pengumuman.
LCD 16×2 I2C	Tampilan menu dan status perintah.
DFPlayer Mini + microSD	Pemutar audio; penyimpanan file suara lonceng/pengumuman.
PA amplifier (TOA)	Penguat sinyal audio sebelum disalurkan ke speaker.
Horn speaker menara	Keluaran suara untuk jangkauan area gereja.
MCB/sekring & tombol reset	Pengaman listrik dan pemulihan sistem.

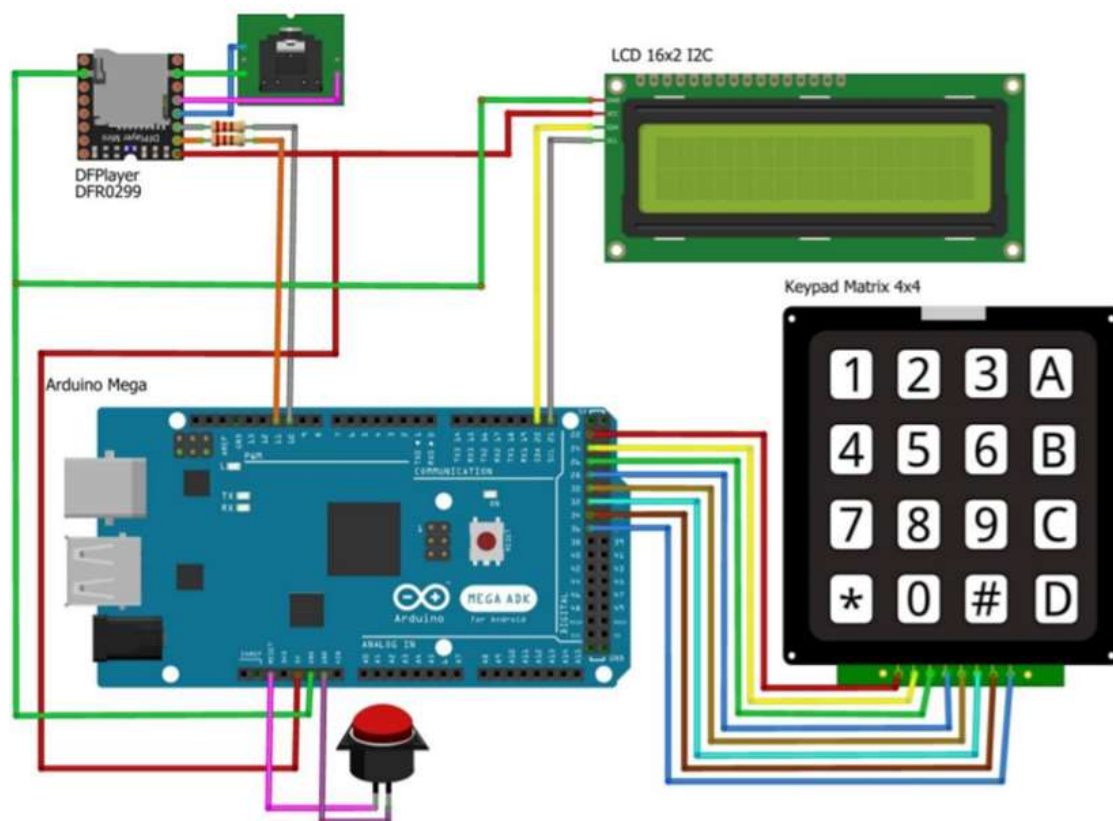
Tabel 2. Kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem

Aspek	Kebutuhan	Implementasi
Fungsional	Pemicu bunyi manual melalui keypad	Keypad matriks 4x4 membaca input; pemetaan tombol-ke-file audio pada microSD.
Fungsional	Menu dan status pada layar	LCD 16x2 I2C menampilkan menu, mode aktif, dan konfirmasi perintah.
Fungsional	Pemutaran bunyi lonceng/pengumuman	DFPlayer Mini memutar file .mp3/.wav dari folder yang ditentukan.
Fungsional	Penghentian/pemulihan cepat	Tombol reset dan logika kembali ke menu awal setelah pemutaran selesai.
Nonfungsional	Keandalan operasi saat ibadah	Uji black-box untuk setiap mode; pemeriksaan konektor/kabel sebelum digunakan.

Nonfungsional	Keselamatan listrik	MCB/sekring, penataan kabel, dan pembumian sesuai praktik instalasi tegangan rendah.
Nonfungsional	Keamanan akses	Panel terkunci; akses ke microSD dan rangkaian dibatasi hanya untuk petugas tertentu.
Nonfungsional	Kemudahan perawatan	Komponen off-the-shelf; modul dapat diganti tanpa modifikasi besar pada sistem.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 memperlihatkan skema sistem lonceng gereja berbasis digital. Arduino Mega 2560 bertindak sebagai pengendali yang menerima input dari keypad matriks 4×4. LCD 16×2 I2C digunakan untuk menampilkan menu serta status perintah. Ketika pengguna menekan tombol tertentu, Arduino mengirimkan perintah serial ke DFPlayer Mini untuk memutar file audio yang tersimpan pada microSD. Sinyal audio kemudian diperkuat oleh PA amplifier dan dikeluarkan melalui horn speaker di menara gereja.



Gambar 1. Skema perangkat keras sistem lonceng gereja berbasis digital

Spesifikasi fungsi dan alur operasi sistem

Alur operasi sistem dimulai ketika panel diaktifkan dan LCD menampilkan menu utama. Operator memilih mode bunyi dengan menekan tombol yang sesuai pada keypad. Sistem melakukan verifikasi input (debouncing) untuk mencegah pembacaan ganda, kemudian menampilkan konfirmasi singkat pada LCD sebelum memulai pemutaran. Setelah pemutaran selesai, sistem kembali ke menu awal dan siap menerima perintah berikutnya. Mekanisme kembali-ke-menu ini penting untuk memastikan perangkat selalu berada pada kondisi siap pakai saat kegiatan ibadah berlangsung berurutan.

Untuk mengurangi risiko kesalahan operator, pemetaan tombol dibuat konsisten: tombol numerik untuk bunyi lonceng (misal 1-3), tombol fungsi (A-D) untuk folder/playlist lagu rohani atau mode pengumuman, dan tombol khusus (misal # atau *) untuk fungsi berhenti/kembali. Strategi antarmuka ini mengikuti prinsip usability: informasi status harus terlihat, respons sistem harus jelas, dan tindakan pengguna harus mudah dipelajari (J, Sauro; JR, 2016). Contoh pemetaan tombol disajikan pada Tabel 4.

Implementasi perangkat lunak dan manajemen file audio

Implementasi perangkat lunak menggunakan pustaka keypad untuk pemindaian matriks 4x4, pustaka LiquidCrystal_I2C untuk kontrol LCD, serta pustaka DFPlayerMini untuk pengiriman perintah serial ke modul audio. Struktur program dibagi menjadi tiga fungsi utama: (i) pembacaan input dan validasi tombol, (ii) pemetaan tombol ke perintah pemutaran, dan (iii) pembaruan tampilan LCD. Pembagian fungsi ini membantu perawatan kode dan memudahkan perubahan menu ketika kebutuhan mitra berubah (Monk, 2021), (Barrett, 2022).

Konten suara disimpan pada microSD dengan format folder yang sederhana agar operator dapat memperbarui file secara mandiri. Setiap file diberi penamaan numerik dan ditempatkan dalam folder yang sesuai dengan mode bunyi. Ketika diperlukan variasi bunyi tanpa perubahan perangkat, operator cukup mengganti file pada microSD dan melakukan uji coba singkat.

Pemilihan pendekatan ini mempertimbangkan kemudahan pemeliharaan lapangan dan keterbatasan akses perangkat lunak di lokasi (ARDUINO IDE, 2024), (Robot, 2020).

Panel kontrol dipasang pada dinding ruang operator, sedangkan amplifier ditempatkan pada rak pelindung untuk menjaga keamanan perangkat (Gambar 2). Panel kontrol dilengkapi LCD, keypad, indikator, serta kunci panel untuk mencegah akses tidak sah. Instalasi horn speaker dilakukan pada menara gereja agar jangkauan suara merata (Gambar 3). Penempatan dan pengoperasian amplifier mengikuti rekomendasi pabrik untuk menjaga keandalan perangkat (Self, 2013) (Rizka Anggia, 2023).

Uji fungsional dilakukan dengan skenario pemicu bunyi melalui tombol keypad untuk beberapa mode (lonceng 1–3 dan folder lagu rohani sesuai konfigurasi). Seluruh skenario uji menunjukkan sistem merespons perintah dan memutar audio yang tepat. Ringkasan uji fungsional disajikan pada Tabel 3.

Setelah instalasi, dilakukan pelatihan singkat kepada pengurus/petugas mengenai pemilihan mode bunyi, prosedur menyalakan/mematikan sistem, pengaturan volume di amplifier, serta langkah pemeliharaan dasar. Mitra menyatakan sistem lebih mudah dioperasikan dan tidak lagi bergantung pada satu orang operator.



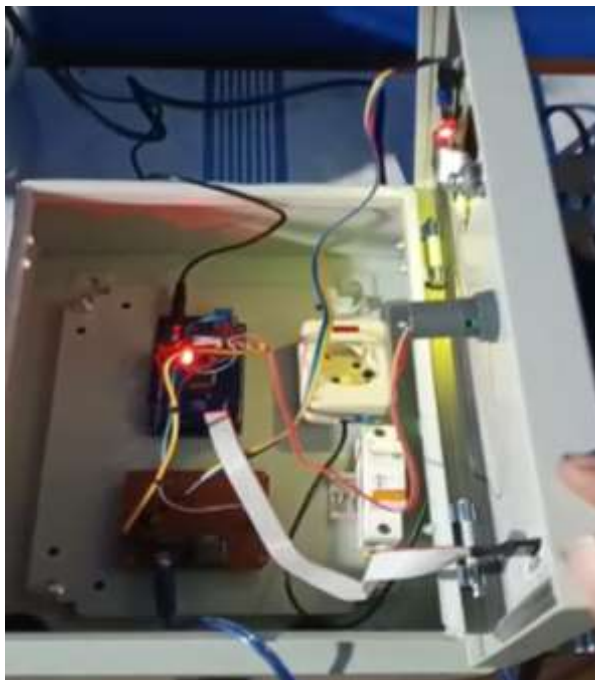
Gambar 2. Panel kontrol (keypad dan LCD) serta amplifier yang ditempatkan pada rak pelindung.

Tabel 4. Contoh pemetaan tombol keypad ke mode bunyi

Tombol	Mode	Keterangan keluaran
1	Lonceng 1	Memutar file lonceng 1 (panggilan/awal ibadah).
2	Lonceng 2	Memutar file lonceng 2 (transisi/persiapan ibadah).
3	Lonceng 3	Memutar file lonceng 3 (ibadah akan dimulai).
A	Pengumuman	Memutar suara pengumuman tersimpan (mis. 1-3).
B	Lagu rohani	Memutar folder playlist lagu rohani (shuffle/urut).
#	Kembali/Reset	Menghentikan pemutaran dan kembali ke menu awal.



Gambar 3. Proses pemasangan horn speaker pada menara gereja



Gambar 4. Tata letak komponen di dalam panel kontrol (Arduino, DFPlayer, pengaman, dan pengkabelan)

Kondisi internal panel kontrol setelah perakitan ditunjukkan pada Gambar 4. Perakitan menggunakan komponen off-the-shelf sehingga memudahkan perawatan dan penggantian apabila terjadi kerusakan.

Tabel 2. Ringkasan uji fungsional (black-box) sistem

Skenario uji	Kriteria	Hasil
Input kode lonceng 1	Audio lonceng 1 diputar	Lulus
Input kode lonceng 2	Audio lonceng 2 diputar	Lulus
Input kode lonceng 3	Audio lonceng 3 diputar	Lulus
Pemilihan folder lagu rohani	Audio pada folder terpilih diputar	Lulus
Tombol reset	Sistem kembali ke menu awal	Lulus
Pengaman panel (MCB/sekring)	Memutus saat simulasi beban berlebih	Lulus (simulasi)

Hasil pengujian, pelatihan, dan rencana pemeliharaan

Pengujian dilakukan bertahap mulai dari uji modul (LCD, keypad, dan DFPlayer), uji integrasi di panel, hingga uji lapangan melalui amplifier dan horn speaker. Selain skenario uji pada Tabel 3, dilakukan uji pengulangan (repeatability) dengan pemicu tombol berulang untuk memastikan tidak terjadi hang, bunyi ganda, atau kegagalan pembacaan. Pemeriksaan konektor dan kabel dilakukan sebagai bagian dari validasi instalasi, karena sambungan longgar merupakan sumber gangguan yang umum pada perangkat elektronika lapangan (Paul Horowitz; Winfield Hill, 2015).

Kegiatan pelatihan dilaksanakan dalam bentuk demonstrasi langsung dan praktik mandiri. Materi pelatihan meliputi pengenalan menu, pemetaan tombol, prosedur mengatur volume amplifier, serta langkah pemulihan saat terjadi gangguan (reset dan pengecekan microSD). Evaluasi pemahaman dilakukan melalui tanya-jawab dan checklist kemampuan operasi dasar. Pendekatan ini menekankan kemudahan belajar dan konsistensi antarmuka agar sistem dapat dikelola oleh lebih dari satu petugas (J, Sauro; JR, 2016).

Tabel 5. Ringkasan materi pelatihan dan luaran pendampingan

Sesi/Materi	Pokok bahasan	Luaran
Sesi 1	Pengenalan panel, menu LCD, dan fungsi tombol	Operator memahami alur dasar pemicu bunyi.
Sesi 2	Praktik pemilihan mode bunyi (lonceng/pengumuman/lagu rohani)	Operator mampu memicu bunyi sesuai kebutuhan ibadah.
Sesi 3	Pengaturan amplifier (volume, zona input) dan uji suara di lokasi	Setelan volume aman dan terdokumentasi.
Sesi 4	Pemeliharaan ringan (cek kabel, konektor, microSD) dan reset	Checklist perawatan dan prosedur pemulihan.
Sesi 5	Serah terima SOP dan penetapan petugas cadangan	SOP operasi dan perawatan tersedia; ada petugas pengganti.

Tabel 6. Rencana pemeliharaan berkala sistem lonceng digital

Periode	Kegiatan	Tujuan
Mingguan	Uji bunyi lonceng 1-3 dan mode pengumuman; cek volume	Memastikan perangkat siap sebelum ibadah.
Bulanan	Cek kekencangan konektor, kondisi kabel, dan kebersihan panel	Mencegah gangguan akibat sambungan longgar/debu.
Triwulanan	Backup file audio dan cek kesehatan microSD	Mengurangi risiko file corrupt dan kehilangan konten suara.
6 bulanan	Inspeksi horn speaker dan dudukan di menara (korosi/retak)	Menjamin keamanan mekanis dan kualitas keluaran suara.
Tahunan	Kalibrasi setelan amplifier dan evaluasi kebutuhan bunyi	Menyesuaikan sistem dengan perubahan kegiatan gereja.

Standar operasional prosedur (SOP) ringkas (untuk ditempel di ruang operator)

1. Pastikan MCB/sekring pada posisi ON dan panel terkunci.
2. Periksa amplifier: sumber input benar dan volume pada posisi aman.
3. Nyalakan sistem; tunggu LCD menampilkan menu utama.
4. Tekan tombol keypad sesuai kebutuhan (lihat pemetaan pada Tabel 4).
5. Amati konfirmasi pada LCD; pastikan bunyi keluar dari horn speaker.
6. Jika bunyi tidak keluar: cek volume, konektor audio, dan indikator DFPlayer.
7. Jika sistem tidak merespons: tekan tombol reset, tunggu menu muncul kembali.
8. Setelah selesai kegiatan, turunkan volume amplifier dan matikan perangkat bila diperlukan.
9. Simpan microSD cadangan dan catat perubahan file audio pada buku log.
10. Laporkan gangguan berulang kepada tim teknis untuk pemeriksaan kabel/panel.

D. PENUTUP

Simpulan

Sistem lonceng gereja berbasis digital dengan pemicu manual melalui keypad berhasil dirancang dan diimplementasikan di Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama. Sistem mampu memutar bunyi lonceng/pengumuman secara konsisten melalui DFPlayer Mini yang dikendalikan Arduino, dan keluaran suara dapat disalurkan melalui amplifier serta horn speaker.

Saran

Ke depan, sistem dapat dikembangkan dengan fitur penjadwalan otomatis (RTC) sebagai opsi tambahan. Disarankan pula pemeriksaan berkala pada kabel, konektor, serta media microSD untuk menjaga keandalan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pendeta dan Majelis Gereja GPI Papua Jemaat Kristus Mopah Lama atas kerja sama selama proses perancangan, instalasi, dan pelatihan.

E. DAFTAR PUSTAKA

- ARDUINO IDE. (2024). Datasheet Arduino Mega. *Arduino*, 20–23.
- Barrett, S. F. (2022). *Arduino microcontroller processing for everyone*.
- Body, C. (2018). *International electrotechnical commission*.
- D, O'Sullivan; Tom, I. (2016). *Physical computing: sensing and controlling the physical world with computers*.
- Fadlil, F., Tri Wahono, Edi Ismanto, & Azaki Khoirudin. (2024). Design of an Arduino-based automatic sound timer system for mosques and prayer rooms. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 10(2), 158–166. <https://doi.org/10.21580/jnsmr.v10i2.22293>
- J, Sauro; JR, L. (2016). *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research*.
- Lim, S. C., & Al-shawesh, Y. (2019). A Systematic Method for the Design of Earthing System for Low-voltage Installations. 3, 12–15. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C1003.1083S19>
- Lim, S. C., & Al-Shawesh, Y. (2019). A systematic method for the design of earthing system for low-voltage installations. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3 Special Issue), 12–15. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C1003.1083S19>
- Monk, S. (2021). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches, Second Edition*.
- Morocz, Y. (2023). *The Development and Characterization of a Measurement Platform for the Evaluation of Aerosol Capture Devices*. August, 1–61.
- Moses, G. E., Kelvin, A. B., & Ebregbe, D. (2025). *Development Of An Esp32-Microcontroller-Based Biometric System For Classroom Management*. 9(10), 112–127.
- Mustajärvi, R. (2021). *STANDARD DESIGN CRITERIA FOR ELECTRICAL SUBSTATIONS*. 32(3), 167–186.
- Paul Horowitz; Winfield Hill. (2015). The art of electronics (3rd ed.). *Vascular*, January 2015, 639.
- Rizka Anggia, D. S. M. (2023). High Accurate Automatic School Bell Controller Based On Arduino Uno DS1307 I2C Real-time Clock. *Mechanical Engineering*, 4(1), 17–26. <https://www.academia.edu/download/112312841/3900.pdf>
- Robot, D. (2020). *4WD Users Manual*. 1–7.
- Self, D. (2013). Audio Power Amplifier Design Handbook. *Audio Power Amplifier Design Handbook*, 1–55. <https://doi.org/10.4324/9780080953892>
- Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*.