

Design and Development of Arduino Uno and LoRa E32-Based Hoist Crane Operator Calling System

Annisa Nurul Puteri¹, Andi Muh Ramdhan Irga^{*2}, Andi Alief Zacky³, Muh Izzad Syifa⁴,
Nurhayati Djibir⁵, Sukriyah Buwarda⁶

¹Politeknik Negeri Ujung Pandang

^{2,3,4,5}Politeknik ATI Makassar

e-mail: 23osp011@atim.ac.id*

Abstract

Calling crane operators in industrial areas is still frequently performed manually through voice signals, direct communication, or conventional communication devices. These methods have notable limitations, particularly in noisy work environments, across long communication distances, or in spatial conditions where direct communication is unfeasible. This study aims to design a crane operator calling system based on Arduino and the LoRa E32 communication module as an efficient, low-power, and easily deployable long-range wireless communication medium. The system consists of a transmitter unit utilizing buttons, Arduino, and LoRa E32 to send data, as well as a receiver unit that processes incoming call signals to activate indicators such as a buzzer, I2C LCD, or information display. The testing methodology was comprehensively conducted, covering local component functionality and wireless signal transmission range. The functional testing results indicated that the push button, 16x2 I2C LCD, and buzzer operated optimally with a 100% success rate. Furthermore, the wireless transmission test results demonstrated that the system achieves an effective operational range of up to 180 meters in an industrial environment with stable data delivery and zero packet loss. When the distance exceeds 180 meters, communication performance begins to suffer signal degradation. By utilizing LoRa E32, this system is expected to increase communication effectiveness, reduce the risk of miscommunication, and support occupational safety in industrial environments.

Keywords: Arduino; LoRa E32; industrial wireless communication

Abstrak

Pemanggilan operator *crane* di area industri masih sering dilakukan secara manual melalui sinyal suara, komunikasi langsung, atau alat komunikasi konvensional. Cara tersebut memiliki keterbatasan, terutama pada lingkungan kerja yang bising, memiliki jarak komunikasi yang jauh, atau kondisi area yang tidak memungkinkan komunikasi langsung. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemanggilan operator *crane* berbasis Arduino dan modul komunikasi LoRa E32 sebagai media komunikasi nirkabel jarak jauh yang efisien, hemat daya, dan mudah diterapkan. Sistem terdiri dari unit pemanggil yang menggunakan tombol, Arduino, dan LoRa E32 sebagai pengirim data, serta unit penerima yang memproses sinyal panggilan untuk mengaktifkan indikator seperti *buzzer*, LCD I2C, atau tampilan informasi. Metodologi pengujian dilakukan secara komprehensif mencakup fungsionalitas komponen lokal serta pengujian jangkauan jarak transmisi sinyal nirkabel. Hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa komponen *push button*, LCD 16x2 I2C, dan *buzzer* bekerja secara optimal dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%. Selain itu, hasil pengujian transmisi sinyal nirkabel menunjukkan bahwa sistem memiliki batas jarak kerja efektif hingga 180 meter di area industri dengan pengiriman data yang stabil dan bebas dari *packet loss*. Ketika jarak melebihi 180 meter, performa komunikasi mulai mengalami degradasi sinyal. Dengan penggunaan LoRa E32, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas komunikasi, mengurangi risiko miskomunikasi, serta mendukung keselamatan kerja di lingkungan industri secara optimal.

Kata kunci: Arduino; LoRa E32; komunikasi nirkabel industri

1. Pendahuluan

Penggunaan *crane* dalam industri konstruksi dan manufaktur modern merupakan elemen krusial untuk menangani objek besar dan berat dalam jarak terbatas di area kerja [1]. Meskipun sangat penting untuk efisiensi operasional, aktivitas *crane* termasuk dalam kategori kegiatan

yang sangat berbahaya dan sensitif terhadap dinamika lingkungan [2]. Kecelakaan kerja yang melibatkan *crane* sering kali disebabkan oleh kegagalan mekanis, kesalahan manusia, hingga kurangnya pemantauan kondisi kesehatan mesin secara *real-time* [3]. Oleh karena itu, pengembangan mekanisme kendali dan komunikasi yang efisien serta andal untuk menggerakkan katrol *hoist crane* secara vertikal maupun horizontal menjadi sebuah kebutuhan yang mendesak [4].

Dalam sistem tradisional, komunikasi dan pemanggilan operator sering kali masih bergantung pada media kabel yang memiliki berbagai keterbatasan, seperti biaya instalasi yang mahal, kesulitan dalam perawatan, serta risiko kerusakan fisik pada kabel [5]. Meskipun teknologi nirkabel seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan ZigBee telah banyak digunakan, teknologi tersebut memiliki kendala utama pada konsumsi daya baterai yang tinggi dan jangkauan koneksi yang relatif pendek [6]. Selain itu, ketergantungan pada koneksi internet sering kali menjadi hambatan di area proyek atau pabrik yang tidak memiliki infrastruktur jaringan yang stabil [7].

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, teknologi *Long Range* (LoRa) muncul sebagai protokol komunikasi LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) yang sangat potensial karena karakteristiknya yang hemat energi namun mampu menjangkau jarak yang sangat jauh [8]. LoRa beroperasi menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS) yang memberikan ketahanan tinggi terhadap interferensi dan mampu bekerja tanpa membutuhkan koneksi internet [9]. Penggunaan modul LoRa, seperti seri E32 Ebyte, telah terbukti efektif dalam berbagai sistem monitoring dan pengiriman data jarak jauh dengan tingkat keberhasilan yang tinggi [10]. Modul ini sangat handal untuk komunikasi nirkabel antar perangkat meskipun terdapat banyak penghalang fisik di lingkungan kerja [11].

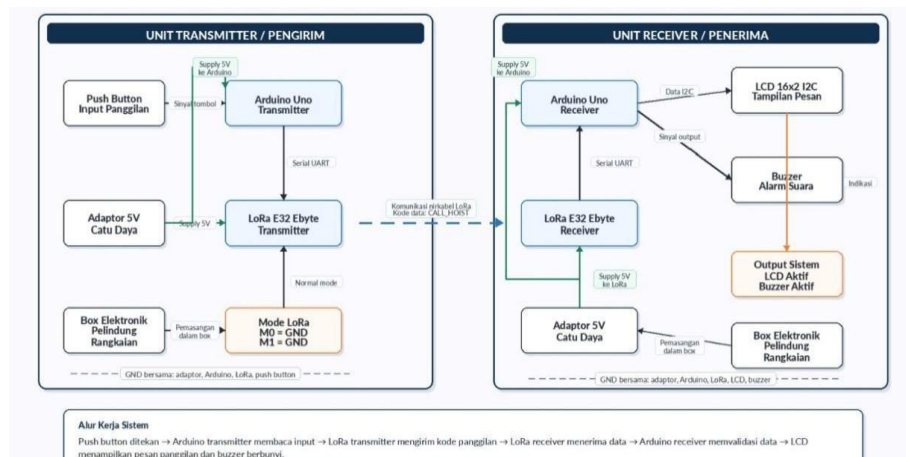
Untuk mengelola sistem ini, diperlukan pusat kendali yang fleksibel dan mudah diprogram, di mana Arduino Uno sering dipilih karena merupakan platform *open-source* yang handal untuk berbagai proyek elektronika dan sistem kontrol [12]. Implementasi Arduino sebagai pusat pemrosesan data telah banyak berhasil dalam sistem pemanggil nirkabel maupun perangkat keamanan terintegrasi [13][14]. Dengan menggabungkan Arduino Uno sebagai pengendali utama dan LoRa E32 sebagai media transmisi, sistem pemanggilan operator dapat dioptimalkan untuk bekerja secara mandiri tanpa tergantung pada sinyal seluler atau internet [15].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem pemanggil operator *hoist crane* yang efektif dan efisien. Konsep ini diadaptasi dari prinsip sistem pemanggil nirkabel di institusi medis yang bertujuan untuk mempercepat respon layanan tanpa kesalahan manusia atau penundaan medis [13]. Dengan adanya sistem ini, diharapkan interaksi antara pekerja di lapangan dengan operator *hoist crane* dapat berjalan lebih cepat dan aman, sehingga meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas di area operasional [16] [17]. Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Sistem Pemanggil Operator Hoist Crane Berbasis Arduino Uno Dan LoRa E32 Ebyte".

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D), penelitian ini dirancang untuk mengatasi kendala komunikasi manual akibat kebisingan lingkungan kerja melalui transmisi data nirkabel frekuensi 433 MHz yang memicu indikator suara buzzer serta visual LCD 16x2 I2C secara real-time. Data penelitian dikumpulkan melalui observasi kondisi lapangan, wawancara bersama mekanik dan operator, serta studi literatur terkait pemrosesan logika dan komunikasi serial UART. Dalam proses pengerjaannya, instrumen kerja mekanis dan komponen elektronik dirakit secara presisi sesuai spesifikasi catu daya 5V DC untuk memastikan keandalan performa sistem.

Sistem komunikasi ini terbagi secara independen menjadi dua unit utama, yaitu Unit Transmitter dan Unit Receiver. Pada unit transmitter, input dipicu oleh push button yang dibaca oleh Arduino Uno, lalu diolah menjadi kode data unik CALL_HOIST yang dipancarkan secara nirkabel oleh modul LoRa E32. Pada unit receiver, modul LoRa E32 menangkap gelombang data, memverifikasi kesesuaian kode melalui Arduino Uno, dan membunyikan buzzer serta menampilkan pesan panggilan pada LCD 16x2 I2C secara real-time. Gambaran menyeluruh mengenai interkoneksi antar-subsistem, alur daya 5V, serta jalur transmisi data nirkabel diperlihatkan pada skema diagram blok berikut:



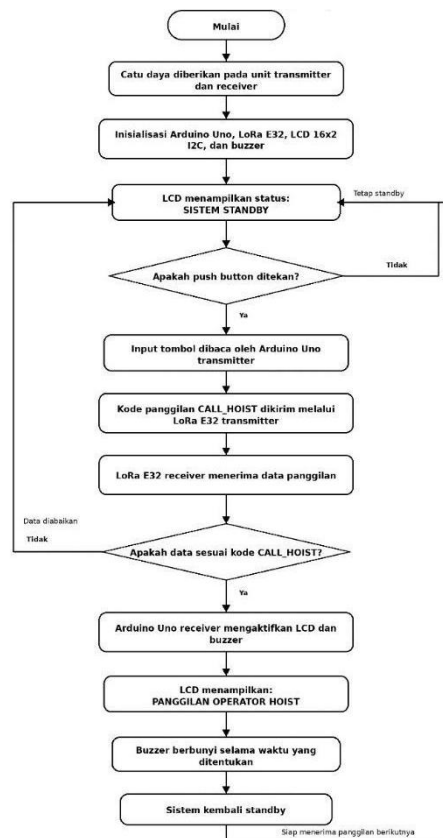
Gambar 1: Blok Diagram Sistem Pemanggil Operator Hoist Crane

Untuk melindungi seluruh komponen elektronik dari paparan debu industri, kelembapan, dan benturan mekanis di lapangan, unit pemancar maupun unit penerima ditempatkan di dalam *box* pelindung khusus berukuran identik yaitu panjang 25 cm, lebar 12 cm, dan tinggi 35 cm. *Box Transmitter* dirancang secara kompak dan portabel di dekat area mekanik untuk menampung Arduino Uno, modul LoRa E32, soket adaptor, serta tombol *push button* pada panel depan. Sementara itu, *Box Receiver* memiliki dimensi yang seragam namun dilengkapi lubang presisi (*cutout*) untuk pemasangan layar LCD 16x2 I2C agar teks instruksi panggilan mudah dibaca dari luar, serta kisi-kisi khusus untuk memaksimalkan jangkauan suara alarm *buzzer*.



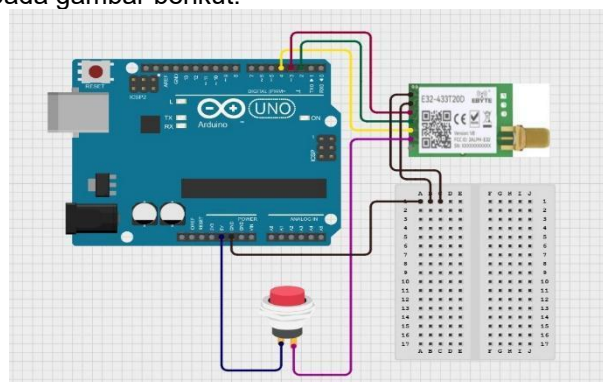
Gambar 2 Dimensi Perancangan Box Transmitter dan Receiver

Logika pemrograman dan alur pemrosesan data sistem dikembangkan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE berdasarkan siklus pemeriksaan input secara kontinu (polling). Pada saat awal unit receiver dihubungkan ke sumber daya listrik, mikrokontroler melakukan inisialisasi modul komunikasi serial dan layar tampilan LCD langsung menampilkan teks kondisi awal SISTEM STANDBY. Ketika sakelar push button pada unit transmitter ditekan oleh mekanik, mikrokontroler pengirim membacanya sebagai sinyal pemicu dan memerintahkan modul LoRa E32 untuk memancarkan paket data nirkabel. Setelah modul penerima LoRa E32 menangkap sinyal tersebut, Arduino Uno receiver melakukan verifikasi data; jika string data yang diterima cocok dengan variabel terprogram CALL_HOIST, maka sistem secara simultan mengaktifkan alarm buzzer berbunyi serta memperbarui tampilan LCD menjadi pesan instruksi JEMPUT DI TANGGA PAK BOS. Urutan logika pemrosesan data secara mendalam dari awal daya aktif hingga sistem kembali ke mode siaga diperlihatkan pada diagram alir (flowchart) berikut.



Gambar 3 Diagram Alir (Flowchart) Kerja Sistem Pemanggil

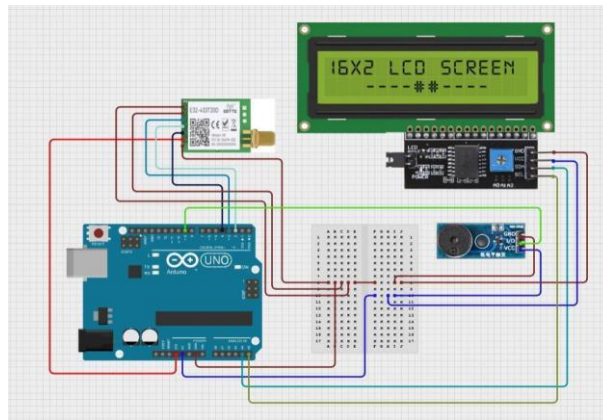
Pengoperasian sistem diawali dengan pemetaan jalur kelistrikan, pengalokasian pin pemicu input, serta interkoneksi sinyal antarpin digital/analog pada unit pengirim (transmitter). Pengabelan dirancang secara teliti menggunakan konfigurasi komunikasi serial UART asynchronous untuk menghubungkan pin SoftwareSerial Arduino Uno (D2 dan D3) menuju modul transmisi LoRa E32 guna menjamin proses pengiriman paket data nirkabel berjalan stabil tanpa hambatan kebisingan frekuensi. Sakelar push button dihubungkan ke pin digital input yang dikonfigurasi dengan mode pembacaan logika untuk mendeteksi setiap penekanan sakelar dari mekanik. Visualisasi skema interkoneksi rangkaian elektronik secara menyeluruh untuk unit transmitter disajikan pada gambar berikut.



Gambar 4 Wiring Diagram Unit Transmitter

Pada unit penerima (receiver), pengabelan skematik mengintegrasikan modul penerima nirkabel LoRa E32, modul layar tampilan LCD 16x2 yang dilengkapi perantara antarmuka I2C (Inter-Integrated Circuit), serta komponen luaran indikator suara berupa alarm buzzer. Penggunaan antarmuka I2C pada LCD bertujuan untuk mengefisiensikan penggunaan kabel transmisi daya dan data, di mana modul layar hanya membutuhkan dua jalur utama komunikasi data serial I2C yang dihubungkan ke pin analog Arduino Uno (A4 untuk SDA dan A5 untuk SCL). Sementara itu, modul LoRa E32 terhubung ke pin serial digital Arduino receiver, dan komponen

buzzer dihubungkan ke pin output digital PWM (D9) untuk menghasilkan sinyal frekuensi nada peringatan berulang. Skema interkoneksi rinci untuk unit receiver diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 5 Wiring Diagram Unit Receiver

Perancangan dan pengintegrasian sistem elektrik pada rancang bangun sistem pemanggil operator *hoist crane* berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan modul nirkabel LoRa E32 memerlukan pemetaan antarmuka input dan output (*I/O List*) yang terstruktur, presisi, serta terdefinisi secara jelas. Pemetaan jalur kelistrikan, alokasi pin digital dan analog, serta penentuan fungsi setiap saluran komunikasi sangat krusial untuk memastikan seluruh komponen elektronik—baik pada unit pemancar (*transmitter*) maupun unit penerima (*receiver*) dapat berinteraksi tanpa adanya interferensi sinyal, kebocoran tegangan, atau kegagalan pembacaan logika di lingkungan operasional industri. Pada unit *transmitter*, alokasi pin difokuskan pada pembacaan masukan sakelar *push button* dan transmisi data serial UART menuju modul LoRa E32, sedangkan pada unit *receiver*, pemetaan mencakup penerimaan sinyal radio nirkabel, penggerakan tampilan teks karakter via komunikasi I2C pada modul layar LCD 16x2, serta pengaktifan indikator peringatan suara *buzzer* melalui sinyal keluaran digital. Rincian konfigurasi koneksi pin, jenis entitas komponen, hingga penjelasan fungsi teknis dari setiap jalur antarmuka penyusun rangkaian disajikan secara komprehensif pada tabel *I/O List* berikut:

Tabel 1 *I/O List Rangkaian*

I/O List Transmitter			I/O List Receiver		
Komponen	Pin	Pin LoRa E32	Komponen	Pin	Pin LoRa E32
Arduino Uno	5V	VCC	Arduino Uno	5V	VCC
	GND	GND		GND	GND
	D4	AUX		D4	AUX
	D2	TDX		D2	TDX
	3	RDX		3	RDX
	GND	M1		GND	M1
	GND	M0		GND	M0
Push Button	Kaki Positif	5V Arduino Uno	LCD 16x2 I2C	5V	VCC
				GND	GND
				A4	SDA
				A5	SCL
	Kaki Negatif	VCC LoRa E32	Buzzer	VCC	5V
				I/O	D9
				GND	GND

3. Hasil dan diskusi

Bagian ini menjelaskan hasil penelitian dan sekaligus diberikan pembahasan yang komprehensif.

3.1. Hasil

Pada bagian ini dipaparkan hasil pengujian sistem secara komprehensif untuk mengevaluasi fungsionalitas, keandalan, dan batasan operasional dari perangkat yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan secara bertahap meliputi pengujian komponen masukan

berupa tombol tekan (*push button*), indikator keluaran visual berupa layar LCD, indikator keluaran suara berupa *buzzer*, serta pengujian jangkauan jarak komunikasi nirkabel menggunakan modul LoRa E32. Melalui serangkaian pengujian ini, kinerja tiap-tiap komponen diukur untuk memastikan sinyal perintah pemanggilan dapat ditransmisikan dan diterima secara akurat dalam mendukung proses operasional pemeliharaan.

Pengujian *push button* dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan jumlah penekanan berulang untuk memastikan sakelar masukan (*input*) pada unit *transmitter* dapat merespons dan memicu pengiriman sinyal perintah pemanggilan secara konsisten tanpa mengalami kendala teknis. Keandalan komponen masukan ini sangat krusial karena menjadi pemicu utama seluruh alur pengiriman data pada sistem. Setiap penekanan diuji untuk melihat apakah ada *delay* atau kegagalan transmisi awal saat sakelar diaktifkan secara beruntun. Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 2, seluruh pengujian berjalan dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%.

Tabel 2. Data Pengujian Push Button

NO	Jumlah Tekan	Berhasil	Gagal	Kondisi Push Button
1	1	✓	0	Berfungsi Baik
2	2	✓	0	Berfungsi Baik
3	3	✓	0	Berfungsi Baik
4	4	✓	0	Berfungsi Baik
5	5	✓	0	Berfungsi Baik
6	6	✓	0	Berfungsi Baik
7	7	✓	0	Berfungsi Baik
8	8	✓	0	Berfungsi Baik
9	9	✓	0	Berfungsi Baik
10	10	✓	0	Berfungsi Baik
% Keberhasilan		100%		

Pengujian tampilan *Liquid Crystal Display* (LCD) 16x2 I2C dilakukan untuk memverifikasi keandalan unit *receiver* dalam menerjemahkan sinyal masukan dari *transmitter* menjadi informasi visual yang jelas bagi operator. Kejelasan teks yang ditampilkan pada LCD sangat penting agar pesan instruksi panggilan dapat dibaca dengan mudah tanpa menimbulkan salah penafsiran di lapangan. Pengujian ini mengamati kepastian munculnya karakter teks secara utuh setiap kali adanya sinyal masuk. Setiap kali tombol ditekan, status pesan "Jemput di tangga" berhasil dipastikan muncul pada layar LCD secara sempurna tanpa ada gangguan visual, seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian LCD

NO	Jumlah Tekan	Berhasil	Gagal	Kondisi Tampilan Lcd
1	1	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
2	2	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
3	3	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
4	4	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
5	5	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
6	6	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
7	7	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
8	8	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
9	9	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
10	10	✓	0	Jemput di tangga (Jelas)
% Keberhasilan		100%		

Pengujian *buzzer* difungsikan untuk menguji kinerja indikator suara pada unit *receiver*. Bunyi peringatan ini berperan sebagai sinyal auditori utama agar operator dapat langsung menyadari adanya panggilan pemeliharaan dari mekanik meskipun tidak sedang menatap layar LCD. Respon suara yang nyaring dan stabil menjamin bahwa pemberitahuan panggilan dapat direspon dengan cepat dalam situasi kerja yang sibuk. Pengujian dilakukan dengan

mendengarkan konsistensi bunyi *buzzer* pada tiap siklus penekanan tombol. Data pengujian membuktikan kestabilan respon suara *buzzer* yang selalu berbunyi jelas pada setiap percobaan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian Buzzer

N O	Jumlah Tekan	Berhasil	Gagal	Kondisi Buzzer
1	1	✓	0	Bunyi Jelas
2	2	✓	0	Bunyi Jelas
3	3	✓	0	Bunyi Jelas
4	4	✓	0	Bunyi Jelas
5	5	✓	0	Bunyi Jelas
6	6	✓	0	Bunyi Jelas
7	7	✓	0	Bunyi Jelas
8	8	✓	0	Bunyi Jelas
9	9	✓	0	Bunyi Jelas
10	10	✓	0	Bunyi Jelas
% Keberhasilan		100%		

Pengujian jarak dilakukan guna mengukur rentang jangkauan dan efektivitas transmisi sinyal nirkabel modul LoRa E32 di lingkungan industri. Pengujian dilaksanakan secara bertahap mulai dari jarak 10 meter hingga 220 meter dengan mengamati tingkat keberhasilan fungsi *push button*, keluaran suara *buzzer*, dan kejelasan tampilan pada layar LCD. Pengujian lapangan ini penting untuk mengetahui batas maksimal jangkauan sinyal sebelum mengalami degradasi atau pembacaan yang keliru akibat *noise* lingkungan. Evaluasi jarak ini membantu menentukan area cakupan efektif penggunaan sistem di lokasi kerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komponen mulai mengalami penurunan kualitas respon sinyal saat mencapai jarak 190 meter ke atas, seperti yang terangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengujian Jarak

N O	Jarak (Meter)	Push Button	Buzzer	Lcd
1	10	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
2	20	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
3	30	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
4	40	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
5	50	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
6	60	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
7	70	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
8	80	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
9	90	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
10	100	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
11	110	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
12	120	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
13	130	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
14	140	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
15	150	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
16	160	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
17	170	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
18	180	Berfungsi baik	Bunyi jelas	Jemput di tangga (jelas)
19	190	Berfungsi baik	Kadang aktif, kadang tidak berbunyi	Tampilan pesan terkadang hilang atau terputus sebagian
20	200	Berfungsi baik	Jarang aktif dan tidak konsisten	Tulisan tidak muncul sempurna, sering terjadi kesalahan tampilan

21	210	Berfungsi baik	Hampir tidak memberikan respon bunyi	Pesan sulit terbaca / Error
22	220	Berfungsi baik	Tidak aktif sama sekali	Tidak menampilkan informasi pesan panggilan

3.2. Diskusi

Diskusi ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menginterpretasikan seluruh data hasil pengujian sistem yang telah diperoleh guna memahami keandalan fungsionalitas komponen serta batas efektif komunikasi nirkabel pada perangkat. Berdasarkan pengujian terhadap komponen masukan dan keluaran lokal, yaitu *push button*, layar LCD 16x2 I2C, serta *buzzer*, ketiga komponen tersebut menunjukkan performa yang sangat stabil dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% pada jarak dekat. *Push button* pada unit *transmitter* mampu merespons setiap penekanan berulang secara akurat tanpa mengalami masalah *debouncing* atau penundaan sinyal. Hal ini memastikan bahwa sinyal perintah pemanggilan dari mekanik dapat terpicu secara optimal sejak dari unit masukan. Secara sejajar, unit *receiver* juga terbukti andal dalam menerjemahkan paket data yang diterima menjadi instruksi visual berupa teks "Jemput di tangga" yang tampil sempurna pada layar LCD, sekaligus memicu *buzzer* untuk mengeluarkan bunyi peringatan secara nyaring dan konsisten.

Diskusi mengenai jarak transmisi menggunakan modul LoRa E32 memberikan gambaran mengenai batas jangkauan dan kestabilan komunikasi sinyal nirkabel di lapangan. Pada rentang jarak 10 meter hingga 180 meter, seluruh sistem berada dalam kondisi operasional optimal. Sinyal pemanggilan dari *transmitter* dapat diterima secara utuh oleh *receiver* tanpa mengalami *packet loss*, sehingga *push button*, *buzzer*, dan layar LCD dapat bekerja secara selaras. Namun, ketika jarak diperjauh mulai dari 190 meter hingga 220 meter, kualitas komunikasi sinyal mengalami penurunan secara bertahap. Pada jarak 190 hingga 200 meter, timbul fenomena hilangnya sebagian paket data yang menyebabkan respon *buzzer* menjadi tidak konsisten dan tampilan teks pada LCD menjadi terputus atau mengalami kesalahan. Degradasi ini berlanjut hingga jarak 210 sampai 220 meter, di mana sinyal tidak lagi mampu mengaktifkan *buzzer* maupun menampilkan pesan pada LCD sama sekali.

Penurunan performa komunikasi pada jarak di atas 180 meter tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan dan teknis, terutama adanya redaman sinyal (*attenuation*) akibat halangan fisik di area kerja serta interferensi gelombang elektromagnetik sekitar yang menyebabkan pembacaan sinyal menjadi terganggu. Selain itu, keterbatasan daya pancar (*transmit power*) modul dan jenis antena yang digunakan turut mempengaruhi ketahanan sinyal terhadap *path loss* seiring bertambahnya jarak antar unit. Dengan demikian, dapat didiskusikan bahwa batas jarak kerja efektif (*effective operational range*) bagi sistem pemanggilan pemeliharaan berbasis LoRa E32 ini adalah sebesar 180 meter. Dalam rentang jarak tersebut, keandalan sistem terjamin 100% untuk mendukung alur komunikasi antara mekanik dan operator secara akurat di area industri berskala kecil hingga menengah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan diskusi yang telah dilakukan terhadap sistem pemanggilan pemeliharaan berbasis LoRa E32, dapat disimpulkan bahwa secara fungsional seluruh komponen utama pada unit *transmitter* maupun *receiver* bekerja dengan sangat baik dan memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Pengujian fungsionalitas lokal terhadap *push button*, layar LCD 16x2 I2C, serta *buzzer* menunjukkan tingkat keberhasilan sempurna sebesar 100% tanpa mengalami kendala teknis seperti penundaan sinyal, kegagalan pembacaan karakter, atau gangguan suara. Sakelar masukan mampu memicu pengiriman data secara konsisten, sementara unit *receiver* mampu menerjemahkan paket data menjadi instruksi teks visual yang jelas pada layar LCD serta memberikan peringatan auditori melalui *buzzer* yang berbunyi nyaring.

Selanjutnya, pengujian jangkauan komunikasi nirkabel menunjukkan bahwa modul LoRa E32 memiliki batas jarak kerja efektif (*effective operational range*) sebesar 180 meter di lingkungan kerja. Pada rentang jarak 10 meter hingga 180 meter, transmisi sinyal berada dalam kondisi sangat stabil dan mampu memicu seluruh respon komponen *output* secara optimal tanpa adanya *packet loss*. Namun, pengujian pada jarak 190 meter hingga 220 meter memperlihatkan

terjadinya degradasi kualitas sinyal akibat faktor redaman halangan fisik dan interferensi lingkungan, yang ditandai dengan ketidakkonsistenan bunyi *buzzer*, kesalahan tampilan pada LCD, hingga hilangnya koneksi sinyal secara penuh. Dengan demikian, sistem yang dirancang terbukti andal dan sangat layak diaplikasikan untuk mendukung komunikasi pemanggilan pemeliharaan secara akurat pada area industri berskala kecil hingga menengah dengan jangkauan maksimal 180 meter.

Meskipun sistem yang dikembangkan telah menunjukkan keandalan tinggi, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu pengujian jangkauan hanya dilakukan pada satu jenis lingkungan kerja dan belum mencakup skenario multi-node maupun penggunaan jangka panjang, sehingga potensi interferensi antar-perangkat serta pengaruh kondisi lingkungan industri lain belum dapat dievaluasi secara menyeluruh. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian pada beragam kondisi lingkungan dengan tingkat interferensi elektromagnetik yang lebih tinggi, pengembangan sistem multi-node dengan mekanisme pengalamatan dan manajemen antrian data, serta penambahan fitur monitoring baterai, acknowledgment penerimaan, dan integrasi dengan platform IoT untuk pencatatan riwayat pemanggilan pemeliharaan secara digital.

Referensi

- [1] Z. Yu, J. Luo, H. Zhang, E. Onchi, and S. H. Lee, "Approaches for motion control interface and tele-operated overhead crane handling tasks," *Processes*, vol. 9, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.3390/pr9122148.
- [2] Y. Zhang and K. Chen, "DIGITAL TECHNOLOGIES FOR ENHANCING CRANE SAFETY IN CONSTRUCTION: A COMBINED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANALYSIS," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 29, no. 7, pp. 604–620, Sep. 2023, doi: 10.3846/jcem.2023.19574.
- [3] N. W. Jun, N. Hashim, F. Idris, I. Syafiza, and N. Norddin, "Crane monitoring system based on internet of things using long range," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 2223–2232, Apr. 2023, doi: 10.11591/ijece.v13i2.pp2223-2232.
- [4] Rivo Restu Ananda Putra, Sri Mulyanto Herlambang, and Henna Nurdiansari, "Rancang Bangun Pengendali Hoist Crane Berbasis Jaringan Menggunakan Aplikasi Android," *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, vol. 4, no. 1, pp. 11–27, Mar. 2025, doi: 10.58192/ocean.v4i1.3136.
- [5] M. A. Imron and A. Widodo, "Desain Dan Implementasi Sistem Pemanggil Perawat Nirkabel Menggunakan Esp8266."
- [6] N. Hashim, F. Idris, T. N. A. T. A. Aziz, S. H. Johari, R. M. Nor, and N. A. Wahab, "Location tracking using LoRa," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 3123–3128, Aug. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i4.pp3123-3128.
- [7] P. Teknik Listrik, P. Bosowa, M. Ivan Fadilah, M. Hamaluddin, U. Muhammad, and J. Raya, "80 © 2022 Journal Of Electrical Engginering (Rancang Bangun Perangkat Komunikasi Wireless Menggunakan LoRa pada Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin," *Journal Of Electrical Engineering (Joule)*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [8] M. Ayoub Kamal, M. M. Alam, A. A. B. Sajak, and M. Mohd Su'ud, "Requirements, Deployments, and Challenges of LoRa Technology: A Survey," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2023, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.1155/2023/5183062.
- [9] I. Setyo, W. Muhammad, A. Firdaus, T. T. Laksana, P. Studi, and T. Elektro, "Sistem Monitoring Ruang Server Berbasis Internet of Things Menggunakan Komunikasi Wireless LoRa Ebyte E32," 2023.
- [10] J. Teknik et al., "Teknika 18 (2): 467-476," *IJCCS*, vol. x, No.x, pp. 1–5.
- [11] M. Setya Fajar, J. Marpaung,) Program, S. Teknik, E. Jurusan, and T. Elektro, "ANALISIS KINERJA MODUL TRANSCEIVER SX1278 PADA SISTEM MONITORING DENGAN MODEL JARINGAN STAR."
- [12] C. Stellastral, M. Syahroni, P. Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING INTENSITAS CAHAYA DAN KECEPATAN ANGIN BERBASIS LORA (LONG RANGE)".
- [13] S. V. Murugan, M. M. Ismail, V. Prakash Kumar, S. Purushothaman, S. Surender, and U. G. Scholars, "IOT BASED WIRELESS NURSE CALL SYSTEM IN MEDICAL INSTITUTIONS," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2021, [Online]. Available: www.irjet.net

- [14] M. J. Manurung, P. Poningsi, S. R. Andani, M. Safii, and I. Irawan, "Door Security Design Using Fingerprint and Buzzer Alarm Based on Arduino," *Journal of Computer Networks, Architecture, and High-Performance Computing*, vol. 3, no. 1, pp. 42–51, Feb. 2021, doi: 10.47709/cnahpc.v3i1.929.
- [15] M. Hermansyah *et al.*, "SISTEM ON/OFF BEBAN AC DAN MONITORING ARUS JARAK JAUH MENGGUNAKAN LORA RA-02 SX1278," *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, vol. 4, no. 2. "opelektro,+51804-75676653497-1-CE".
- [16] M. I. Munabbih, E. D. Widiyanto, Y. E. Windarto, and E. Y. Indrasto, "RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAU KUALITAS UDARA MENGGUNAKAN ARDUINO DAN LORA BERBASIS JARINGAN SENSOR NIRKABEL," *Transmisi*, vol. 22, no. 1, pp. 6–14, Mar. 2020, doi: 10.14710/transmisi.22.1.6-14.
- [17]