

Rancang Bangun Sistem Pemantauan Distribusi Sembako Tanggap Bencana Berbasis Sensor Sidik Jari dan Komunikasi Nirkabel NRF24L01

Junindo Abdillah^{1,*}, Gipin Mosliano², Nandika Vadya Pratama³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Karno, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 4 Mei 2026
Direvisi: 31 Mei 2026
Diterima: 5 Agustus 2026

Kata kunci:

Komunikasi Nirkabel
NRF24L01
Sidik Jari
Sistem Pemantauan
Tanggap Bencana

Keywords:

Disaster Response
Fingerprint Sensor
Monitoring System
NRF24L01
Wireless Communication

Penulis Korespondensi:

Junindo Abdillah
Email:
junindoabdillah@ubk.ac.id

ABSTRAK

Distribusi bantuan sembako pada kondisi bencana sering menghadapi kendala ketidakteraturan dan keterbatasan pemantauan penerima. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan distribusi sembako berbasis sensor sidik jari dan komunikasi nirkabel menggunakan modul NRF24L01. Sistem terdiri dari unit pengirim yang dilengkapi sensor sidik jari untuk verifikasi penerima serta unit penerima yang menampilkan data pada LCD dan mengirimkannya ke Google Sheets melalui koneksi internet. Metode penelitian dilakukan melalui perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, diikuti dengan pengujian performa komunikasi pada kondisi Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS). Parameter pengujian meliputi jarak transmisi dan keberhasilan pengiriman data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data secara andal hingga jarak 15 meter pada kondisi LOS dan 10 meter pada kondisi NLOS, dengan penurunan performa yang signifikan pada jarak yang lebih jauh akibat adanya hambatan fisik. Sistem yang dikembangkan menunjukkan potensi sebagai solusi monitoring distribusi bantuan berbasis teknologi nirkabel dengan implementasi sederhana dan biaya rendah.

The distribution of food aid during disaster situations often faces challenges related to monitoring and accurate recipient verification. This study aims to design and implement a food distribution monitoring system based on a fingerprint sensor and NRF24L01 wireless communication module. The system consists of a transmitter unit equipped with a fingerprint sensor for recipient verification and a receiver unit that displays data on an LCD and uploads it to Google Sheets via an internet connection. The research method involves hardware and software design followed by communication performance testing under Line of Sight (LOS) and Non-Line of Sight (NLOS) conditions. The evaluation parameters include transmission distance and data delivery success rate. The results show that the system can reliably transmit data up to 15 meters under LOS conditions and 10 meters under NLOS conditions, with significant performance degradation beyond these distances due to physical obstacles. The proposed system demonstrates potential as a low-cost and practical solution for wireless-based disaster aid distribution monitoring.

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana yang tinggi akibat kondisi geografis, geologis, dan klimatologisnya yang kompleks [1]. Tingginya frekuensi kejadian bencana serta luasnya wilayah terdampak menyebabkan kebutuhan akan sistem mitigasi dan distribusi bantuan yang efektif menjadi sangat penting. Namun, dalam implementasinya, sistem distribusi bantuan masih banyak dilakukan secara manual dan belum terintegrasi secara digital, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan seperti ketidaktepatan sasaran, duplikasi penerima, serta kurangnya transparansi dalam proses distribusi [2].

Perkembangan teknologi Wireless Sensor Network (WSN) memberikan solusi dalam sistem *monitoring* berbasis komunikasi nirkabel. WSN merupakan jaringan yang terdiri dari node sensor yang mampu mengumpulkan dan mentransmisikan data secara otomatis dengan efisiensi tinggi [3]. Teknologi ini banyak digunakan karena memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, biaya rendah, serta kemampuannya dalam mendukung sistem *monitoring real-time* pada berbagai aplikasi [4].

Salah satu modul komunikasi yang umum digunakan dalam implementasi WSN adalah NRF24L01, yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan memiliki konsumsi daya rendah [5]. Modul ini telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem *monitoring*, seperti pemantauan parameter lingkungan [6], sistem *monitoring* pembangkit listrik tenaga surya [5], serta sistem deteksi dini bencana berbasis *multi-node* [7]. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa modul NRF24L01 memiliki performa komunikasi yang cukup baik dalam pengiriman data dibandingkan dengan modul komunikasi lainnya pada beberapa parameter pengujian [4].

Namun demikian, performa komunikasi NRF24L01 sangat dipengaruhi oleh kondisi propagasi sinyal, khususnya pada skenario *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada kondisi NLOS, kualitas komunikasi mengalami penurunan yang signifikan akibat adanya hambatan fisik yang menyebabkan peningkatan *packet loss* [8]. Analisis *Quality of Service* (QoS) menunjukkan bahwa parameter seperti *packet loss* dan jarak transmisi menjadi faktor utama dalam menentukan keandalan komunikasi sistem nirkabel [9]. Untuk meningkatkan performa komunikasi pada kondisi tersebut, beberapa penelitian mengusulkan penggunaan metode seperti node bridge untuk memperluas jangkauan dan mengurangi kehilangan paket data [10].

Di sisi lain, teknologi biometrik seperti sidik jari telah banyak digunakan dalam sistem identifikasi karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan karakteristik unik pada setiap individu [11]. Implementasi sistem biometrik berbasis mikrokontroler menunjukkan bahwa teknologi ini mampu meningkatkan keamanan serta mencegah duplikasi data pengguna dalam berbagai aplikasi sistem [12]. Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem komunikasi nirkabel dan sistem biometrik secara terpisah, integrasi kedua teknologi tersebut dalam konteks sistem distribusi bantuan bencana berbasis *monitoring real-time* masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada aspek komunikasi data atau *monitoring* lingkungan tanpa mengintegrasikan mekanisme verifikasi penerima bantuan secara langsung dalam sistem.

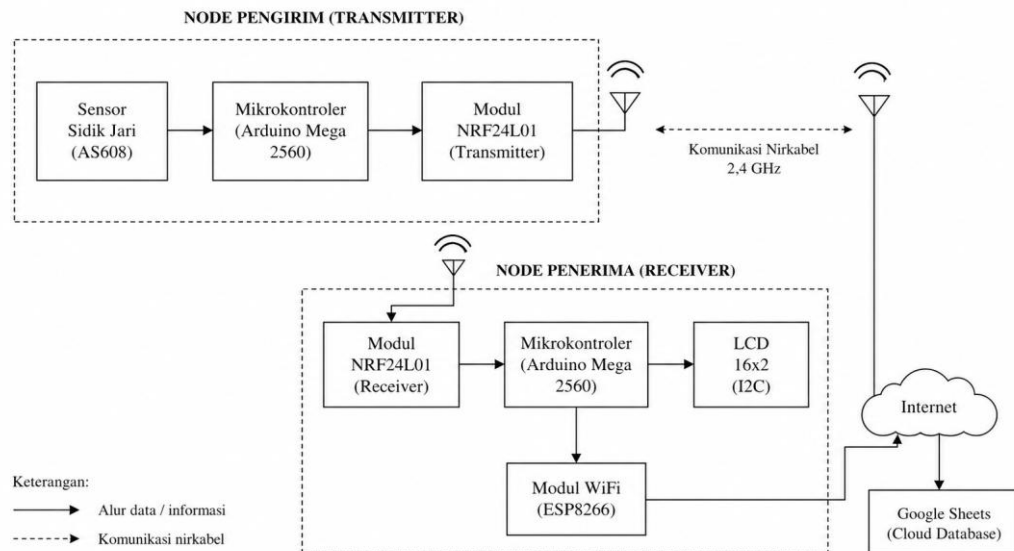
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan distribusi sembako tanggap bencana berbasis sensor sidik jari dan komunikasi nirkabel NRF24L01. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan verifikasi identitas penerima bantuan secara biometrik serta mentransmisikan data secara *real-time* ke unit penerima dan platform *monitoring*. Selain itu, penelitian ini juga melakukan evaluasi performa komunikasi berdasarkan kondisi LOS dan NLOS untuk menentukan batas operasional sistem yang dikembangkan. Kontribusi utama penelitian ini diantaranya ; Integrasi sistem biometrik dan komunikasi nirkabel dalam satu platform distribusi bantuan, Implementasi NRF24L01 pada sistem *monitoring* distribusi sembako berbasis *real-time*, Evaluasi performa komunikasi berdasarkan kondisi LOS dan NLOS pada skenario implementasi nyata.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dalam merancang sistem pemantauan distribusi sembako berbasis verifikasi biometrik dan komunikasi nirkabel. Sistem dirancang menggunakan arsitektur *Wireless Sensor Network* (WSN) yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu node

pengirim (transmitter) dan node penerima (receiver). Sistem diimplementasikan menggunakan arsitektur WSN untuk menghubungkan node pengirim dan penerima dalam skenario distribusi bantuan tanggap bencana [3], [4]. Arsitektur sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1.. Diagram blok sistem pemantauan distribusi sembako tanggap bencana berbasis sensor sidik jari dan komunikasi nirkabel NRF24L01

Berdasarkan Gambar 1, sistem dimulai dari node pengirim, yang terdiri dari sensor sidik jari (AS608), mikrokontroler Arduino Mega 2560, serta modul komunikasi NRF24L01 sebagai transmitter. Sensor sidik jari digunakan untuk melakukan proses autentikasi pengguna, di mana setiap individu memiliki karakteristik biometrik yang unik sehingga dapat mengurangi risiko duplikasi penerima bantuan [11], [12]. Data hasil verifikasi kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan validitas akses terhadap distribusi sembako.

Selanjutnya, data yang telah diproses dikirimkan melalui modul NRF24L01 menggunakan komunikasi nirkabel pada frekuensi 2,4 GHz. Modul ini dipilih karena memiliki konsumsi daya rendah serta kemampuan komunikasi yang stabil dalam sistem berbasis WSN [5]. Selain itu, NRF24L01 juga terbukti memiliki performa yang baik dalam pengiriman data dibandingkan modul komunikasi lain pada beberapa parameter seperti efisiensi paket data dan penggunaan memori [4].

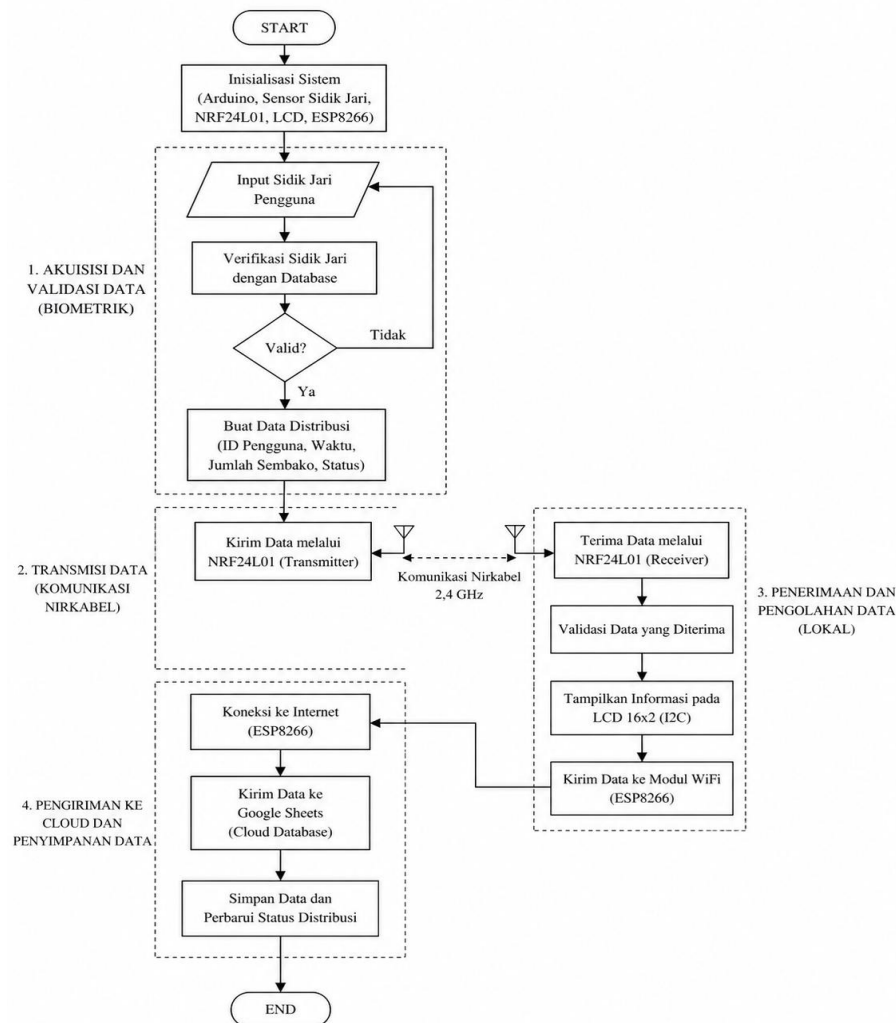
Komunikasi data dilakukan melalui kanal nirkabel yang dapat berada pada kondisi Line of Sight (LOS) maupun Non-Line of Sight (NLOS). Kondisi ini sangat berpengaruh terhadap kualitas komunikasi, di mana pada kondisi NLOS dapat terjadi peningkatan packet loss akibat adanya hambatan fisik [8]. Oleh karena itu, sistem dirancang untuk tetap dapat beroperasi pada variasi kondisi lingkungan yang berbeda, sebagaimana telah diteliti dalam analisis Quality of Service (QoS) komunikasi NRF24L01 [9].

Pada sisi node penerima, modul NRF24L01 berfungsi sebagai receiver yang menerima data dari transmitter. Data tersebut kemudian diproses kembali oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan ditampilkan melalui LCD 16×2 sebagai informasi status distribusi sembako. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan modul WiFi ESP8266 yang berfungsi untuk mengirimkan data ke platform cloud berupa Google Sheets melalui jaringan internet. Integrasi sistem monitoring berbasis cloud ini memungkinkan pencatatan data secara real-time dan meningkatkan transparansi distribusi bantuan, sebagaimana diterapkan pada sistem monitoring berbasis IoT lainnya [5].

Dengan demikian, sistem yang dirancang mengintegrasikan tiga komponen utama, yaitu sistem biometrik, komunikasi nirkabel berbasis NRF24L01, dan platform monitoring berbasis IoT dalam satu alur data yang terstruktur. Pendekatan ini memberikan keunggulan dalam hal akurasi identifikasi, efisiensi komunikasi data, serta kemampuan monitoring distribusi secara real-time dalam skenario tanggap bencana

2.2 Arsitektur Sistem dan Alur Data

Arsitektur sistem yang dikembangkan merupakan integrasi antara sistem biometrik, komunikasi nirkabel berbasis NRF24L01, dan platform monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dalam satu alur data yang terstruktur. Sistem ini dirancang untuk memungkinkan proses identifikasi pengguna, transmisi data, hingga pencatatan berbasis cloud secara real-time.



Gambar 2 Diagram alur sistem pemantauan distribusi sembako berbasis biometrik dan komunikasi nirkabel

Berdasarkan Gambar 2, proses sistem dimulai dari tahap inisialisasi perangkat, di mana seluruh komponen seperti sensor sidik jari, mikrokontroler, dan modul komunikasi diaktifkan. Selanjutnya, pengguna melakukan proses autentikasi melalui sensor sidik jari. Sistem biometrik ini digunakan karena memiliki tingkat akurasi tinggi dalam identifikasi individu serta mampu mencegah duplikasi data pengguna [11], [12].

Setelah proses input sidik jari dilakukan, sistem akan melakukan validasi terhadap data yang tersimpan. Jika sidik jari tidak valid, maka sistem akan kembali ke proses input hingga diperoleh data yang sesuai. Sebaliknya, jika validasi berhasil, maka data identitas pengguna akan diproses oleh mikrokontroler untuk kemudian dikirimkan melalui modul NRF24L01.

Proses transmisi data dilakukan melalui komunikasi nirkabel pada frekuensi 2,4 GHz menggunakan modul NRF24L01. Teknologi ini dipilih karena memiliki efisiensi energi tinggi serta mampu mendukung komunikasi data dalam sistem Wireless Sensor Network (WSN) [4], [5]. Namun, kualitas komunikasi sangat dipengaruhi oleh kondisi propagasi sinyal, terutama pada kondisi Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS), yang dapat menyebabkan peningkatan packet loss akibat

hambatan fisik [8]. Oleh karena itu, sistem dirancang untuk tetap beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan sebagaimana pendekatan pada penelitian sebelumnya terkait Quality of Service (QoS) [9].

Data yang dikirimkan dari node pengirim kemudian diterima oleh node penerima melalui modul NRF24L01 receiver. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan melalui LCD sebagai informasi status distribusi sembako. Tahapan ini merupakan bagian dari proses monitoring lokal yang memungkinkan operator melihat hasil distribusi secara langsung. Selanjutnya, data yang telah diterima akan diteruskan ke modul ESP8266 untuk dikirimkan ke platform cloud berupa Google Sheets melalui jaringan internet. Integrasi ini memungkinkan sistem melakukan pencatatan data secara real-time dan meningkatkan transparansi distribusi bantuan, sebagaimana diterapkan pada sistem monitoring berbasis IoT [5].

Dengan demikian, alur data dalam sistem ini dapat diringkas menjadi tiga tahapan utama, sebagai berikut:

1. Akuisisi dan validasi data biometrik
2. Transmisi data melalui komunikasi nirkabel NRF24L01
3. Pengolahan dan penyimpanan data pada sistem monitoring lokal dan cloud

Pendekatan ini menggabungkan keunggulan sistem biometrik dalam akurasi identifikasi, komunikasi WSN dalam efisiensi transmisi data, serta IoT dalam kemampuan monitoring real-time. Hal ini menjadikan sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dalam mendukung distribusi bantuan yang lebih tepat sasaran, efisien, dan transparan.

2.3 Perangkat dan Spesifikasi Sistem

Sistem yang dikembangkan menggunakan kombinasi perangkat berbasis mikrokontroler dan modul komunikasi nirkabel untuk mendukung proses pemantauan distribusi sembako secara real-time. Pemilihan perangkat didasarkan pada kebutuhan sistem yang mencakup aspek identifikasi, pemrosesan data, komunikasi, serta monitoring. Spesifikasi perangkat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan secara rinci pada Tabel 1. Tabel tersebut merangkum komponen utama sistem beserta karakteristik teknis dan fungsi masing-masing dalam mendukung keseluruhan arsitektur sistem.

Tabel 1. Spesifikasi perangkat sistem pemantauan distribusi sembako

No	Perangkat	Spesifikasi Utama	Fungsi dalam Sistem
1	Arduino Mega 2560	ATmega2560, 16 MHz, 54 I/O digital	Pengolah data utama (transmitter & receiver)
2	Sensor Sidik Jari AS608	Optical fingerprint, UART interface	Verifikasi identitas pengguna
3	NRF24L01	2.4 GHz RF, SPI interface, low power	Transmisi data nirkabel
4	ESP8266	WiFi 802.11 b/g/n, TCP/IP stack	Koneksi ke internet (IoT gateway)
5	LCD 16×2 I2C	16 karakter × 2 baris	Tampilan status sistem
6	Servo Motor	PWM control	Aktuator buka/tutup box
7	Power Supply	5V DC	Catu daya sistem

Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan sebagai unit pengolah utama pada sisi transmitter dan receiver karena memiliki jumlah pin I/O yang cukup besar serta kemampuan pemrosesan yang stabil untuk sistem embedded. Penggunaan mikrokontroler dalam sistem WSN merupakan pendekatan umum karena mampu mengelola komunikasi antar node secara efisien [3], [4]. Sensor sidik jari AS608 digunakan sebagai perangkat input utama untuk proses autentikasi pengguna. Teknologi biometrik dipilih karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta mampu mengidentifikasi individu secara unik, sehingga dapat mengurangi risiko duplikasi penerima bantuan [11], [12].

Komunikasi data antar node dilakukan menggunakan modul NRF24L01 yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Modul ini memiliki keunggulan dalam konsumsi daya yang rendah serta kemampuan komunikasi yang cukup stabil dalam sistem Wireless Sensor Network [5]. Selain itu, NRF24L01 juga menunjukkan performa yang baik dalam pengiriman paket data dibandingkan modul komunikasi

lainnya dalam beberapa parameter pengujian [4]. Namun demikian, kualitas komunikasi NRF24L01 sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama pada skenario Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS), yang dapat menyebabkan peningkatan packet loss akibat hambatan fisik [8]. Oleh karena itu, pemilihan modul ini juga mempertimbangkan fleksibilitas implementasi dalam berbagai kondisi propagasi sinyal serta relevansinya dengan penelitian sebelumnya terkait analisis Quality of Service (QoS) [9].

Untuk mendukung integrasi dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT), digunakan modul ESP8266 sebagai gateway komunikasi ke jaringan internet. Modul ini memungkinkan sistem untuk mengirimkan data ke platform cloud seperti Google Sheets secara real-time, sehingga meningkatkan transparansi dan kemudahan pemantauan distribusi bantuan [5]. Selain itu, LCD 16x2 digunakan sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan informasi status distribusi sembako, sedangkan servo motor digunakan sebagai aktuator mekanik untuk mengontrol akses terhadap box sembako. Kombinasi perangkat ini memungkinkan sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem kontrol distribusi berbasis otomatisasi.

2.4 Desain Prototype Alat

Prototype alat yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan implementasi fisik dari sistem pemantauan distribusi sembako berbasis biometrik dan komunikasi nirkabel. Desain prototype dirancang dalam bentuk box distribusi sembako terintegrasi, yang menggabungkan komponen identifikasi pengguna, sistem kontrol, serta modul komunikasi dalam satu unit perangkat. Prototype alat ini mengadopsi konsep sistem embedded berbasis WSN yang banyak digunakan dalam aplikasi monitoring dan kontrol terdistribusi [3], [4]. Integrasi modul NRF24L01 sebagai media komunikasi juga telah banyak diterapkan dalam sistem monitoring jarak jauh karena efisiensi energi dan kemudahan implementasinya [8]. Selain itu, penggunaan sensor sidik jari sebagai sistem autentikasi mengacu pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam identifikasi pengguna [11], [12].

Secara umum, desain prototype terdiri dari dua bagian utama, yaitu unit box sembako (transmitter) dan unit monitoring (receiver). Unit box sembako berfungsi sebagai perangkat utama yang berinteraksi langsung dengan pengguna, dilengkapi dengan sensor sidik jari sebagai media autentikasi, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta aktuator berupa servo motor untuk mengontrol mekanisme buka-tutup box. Sementara itu, unit monitoring berfungsi untuk menerima data dari transmitter, menampilkan informasi melalui LCD, serta mengirimkan data ke platform cloud melalui modul ESP8266.



Gambar 3. Prototype alat box distribusi sembako (tampak luar dan dalam)

Berdasarkan Gambar 3, prototype alat dirancang dalam bentuk box yang memiliki kompartemen penyimpanan sembako serta panel kontrol di bagian depan. Panel kontrol ini dilengkapi dengan sensor sidik jari, LCD, dan indikator sistem yang memungkinkan interaksi langsung antara pengguna dan perangkat. Sensor sidik jari ditempatkan pada posisi ergonomis untuk memudahkan proses autentikasi, sedangkan LCD digunakan untuk menampilkan informasi status sistem dan hasil verifikasi pengguna.

Di bagian dalam box, terdapat mikrokontroler Arduino Mega yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data, serta modul NRF24L01 sebagai media komunikasi nirkabel. Selain itu, servo motor dipasang sebagai mekanisme penggerak untuk membuka dan menutup akses box secara otomatis setelah proses autentikasi berhasil. Penempatan komponen di dalam box dirancang secara modular untuk memudahkan proses perakitan dan pemeliharaan sistem.

2.5 Metode Pengujian Sistem

Metode pengujian sistem bertujuan untuk mengevaluasi kinerja komunikasi nirkabel dan keandalan sistem dalam mendukung pemantauan distribusi sembako secara real-time. Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem dalam mentransmisikan data secara akurat dan stabil antar node dalam arsitektur Wireless Sensor Network (WSN). Pendekatan ini mengacu pada metode evaluasi performa komunikasi yang umum digunakan pada sistem berbasis NRF24L01, dengan penekanan pada parameter kualitas layanan (Quality of Service/QoS) seperti keberhasilan transmisi dan kehilangan paket data [3], [9].

Pengujian dilakukan dalam dua skenario utama, yaitu Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS), untuk merepresentasikan kondisi propagasi sinyal yang berbeda. Pada kondisi LOS, komunikasi terjadi tanpa hambatan, sedangkan pada kondisi NLOS terdapat penghalang fisik yang dapat menyebabkan atenuasi dan difraksi sinyal sehingga menurunkan kualitas komunikasi [8]. Selain itu, pengujian dilakukan dengan variasi jarak antara node pengirim dan penerima, yaitu 5 m, 10 m, 15 m, dan 20 m, guna menentukan batas operasional sistem. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi keberhasilan pengiriman data (success rate), packet loss, dan jarak transmisi efektif, yang merupakan indikator utama dalam analisis performa sistem komunikasi nirkabel [4], [9].

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengirimkan data secara berulang (minimal 10 kali pada setiap variasi jarak dan kondisi), kemudian mencatat jumlah data yang berhasil dan gagal diterima. Nilai packet loss dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Packet Loss (\%)} = \frac{\text{Jumlah Data Gagal}}{\text{Jumlah Data Dikirim}} \times 100\% \quad (1)$$

Pendekatan ini memungkinkan evaluasi kuantitatif terhadap kinerja sistem, sehingga dapat diketahui tingkat keandalan komunikasi serta pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa NRF24L01. Metode ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan parameter QoS dan skenario LOS/NLOS untuk mengevaluasi kualitas komunikasi pada sistem berbasis WSN [8], [9].

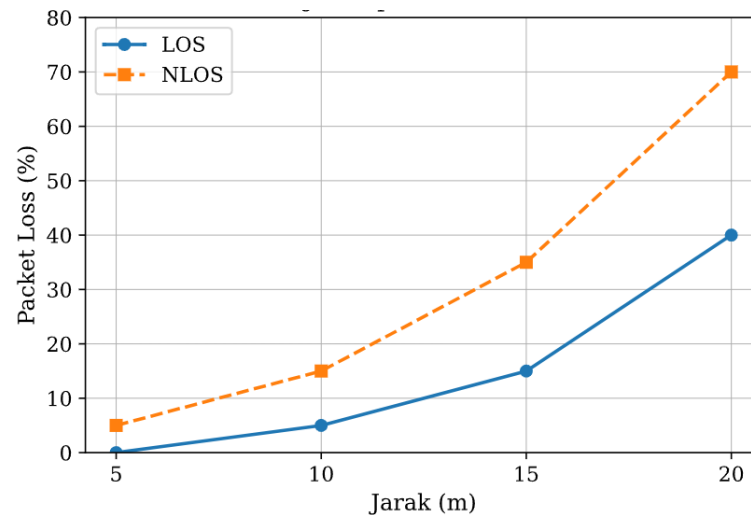
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Packet Loss vs Jarak

Berdasarkan metode pengujian yang telah dijelaskan pada Subbab 2.4, sistem diuji pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) dengan variasi jarak 5 m hingga 20 m. Parameter yang diukur meliputi *packet loss* dan keberhasilan pengiriman data (*success rate*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komunikasi sistem mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak serta adanya hambatan fisik. Data hasil pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.

Berdasarkan grafik Gambar 4 di atas, terlihat bahwa nilai *packet loss* meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya jarak. Pada kondisi LOS, sistem masih menunjukkan performa yang cukup stabil hingga jarak 15 meter dengan *packet loss* di bawah 20%. Namun, pada jarak 20 meter terjadi peningkatan *packet loss* hingga sekitar 40%, yang menunjukkan mulai terjadinya degradasi komunikasi.

Pada kondisi NLOS, performa sistem mengalami penurunan yang lebih signifikan. Hal ini disebabkan oleh adanya hambatan fisik yang menyebabkan terjadinya atenuasi dan difraksi sinyal, sehingga meningkatkan kehilangan paket data [8]. Pada jarak 20 meter, *packet loss* mencapai lebih dari 70%, yang menunjukkan bahwa komunikasi tidak lagi reliabel pada kondisi tersebut. Fenomena ini sejalan dengan teori propagasi gelombang radio pada frekuensi 2,4 GHz, di mana sinyal sangat rentan terhadap hambatan seperti dinding atau objek padat. Kondisi ini juga sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa performa NRF24L01 sangat dipengaruhi oleh kondisi LOS dan NLOS serta jarak transmisi [8], [9].

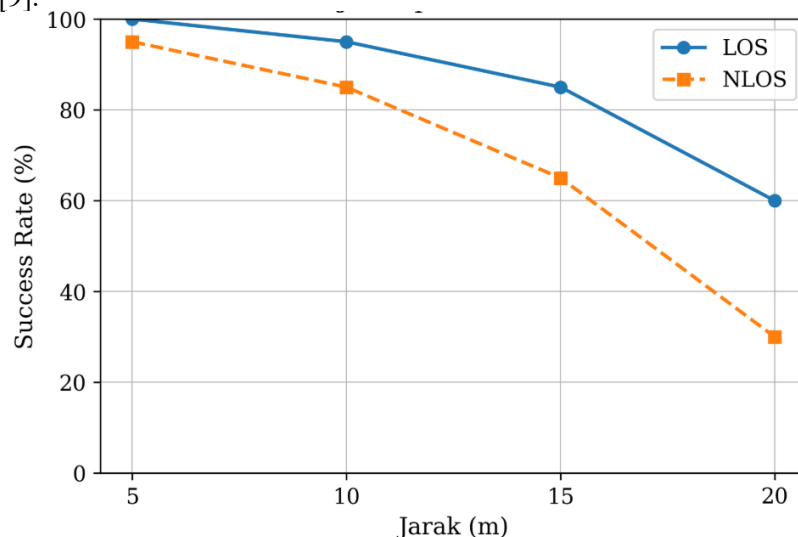


Gambar 4.. Hubungan antara jarak transmisi terhadap packet loss pada kondisi LOS dan NLOS

3.2 Pengujian Success Rate vs Jarak

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara jarak transmisi terhadap tingkat keberhasilan pengiriman data (success rate) pada kondisi LOS dan NLOS. Terlihat bahwa pada kondisi LOS, sistem memiliki tingkat keberhasilan yang sangat tinggi pada jarak dekat, yaitu mencapai 100% pada 5 meter dan masih berada di atas 85% hingga jarak 15 meter. Namun, pada jarak 20 meter terjadi penurunan signifikan menjadi sekitar 60%, yang menunjukkan batas operasional sistem mulai tercapai.

Pada kondisi NLOS, penurunan success rate terjadi lebih cepat dibandingkan LOS. Hal ini disebabkan oleh adanya hambatan fisik yang mengganggu propagasi sinyal, sehingga meningkatkan kemungkinan kegagalan transmisi data. Pada jarak 15 meter, tingkat keberhasilan hanya sekitar 65%, dan menurun drastis menjadi 30% pada jarak 20 meter. Fenomena ini sejalan dengan karakteristik komunikasi nirkabel pada frekuensi 2,4 GHz yang sangat sensitif terhadap hambatan dan interferensi lingkungan [8], [9].



Gambar 5. Hubungan antara jarak transmisi terhadap tingkat keberhasilan pengiriman data (success rate) pada kondisi LOS dan NLOS

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa optimal pada rentang jarak 5–15 meter, terutama pada kondisi LOS. Hal ini menegaskan bahwa modul NRF24L01 cocok digunakan untuk komunikasi jarak pendek dalam sistem Wireless Sensor Network (WSN), namun memiliki keterbatasan pada jarak yang lebih jauh atau pada kondisi lingkungan yang kompleks [4], [5].

3.3 Pembahasan

Hasil pengujian yang telah diperoleh menunjukkan bahwa performa sistem komunikasi nirkabel berbasis NRF24L01 sangat dipengaruhi oleh faktor jarak dan kondisi lingkungan. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, terlihat bahwa peningkatan jarak transmisi secara langsung menyebabkan kenaikan nilai packet loss serta penurunan success rate. Hal ini menunjukkan adanya degradasi kualitas komunikasi yang konsisten dengan karakteristik propagasi gelombang radio pada frekuensi 2,4 GHz, di mana sinyal mengalami pelemahan (path loss) seiring bertambahnya jarak.

Perbedaan performa yang signifikan antara kondisi Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS) juga menjadi temuan penting dalam penelitian ini. Pada kondisi NLOS, keberadaan hambatan fisik seperti dinding menyebabkan terjadinya fenomena atenuasi, refleksi, dan difraksi, yang mengakibatkan peningkatan kehilangan paket data. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa komunikasi NRF24L01 sangat sensitif terhadap kondisi propagasi sinyal dan hambatan lingkungan [8], [9]. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan menunjukkan karakteristik khas komunikasi WSN pada frekuensi ISM 2,4 GHz yang memiliki keterbatasan dalam penetrasi terhadap objek padat.

Dari sisi kinerja sistem, hasil pengujian menunjukkan bahwa rentang jarak optimal untuk komunikasi yang andal berada pada kisaran 5–15 meter, khususnya pada kondisi LOS. Pada rentang ini, nilai packet loss relatif rendah dan success rate masih berada di atas 80%, sehingga sistem dapat beroperasi dengan stabil. Namun, pada jarak di atas 15 meter, terutama pada kondisi NLOS, terjadi penurunan performa yang signifikan sehingga komunikasi menjadi tidak reliabel. Temuan ini sejalan dengan karakteristik umum modul NRF24L01 yang dirancang untuk komunikasi jarak pendek dengan efisiensi energi tinggi dalam sistem WSN [4], [5].

Selain aspek komunikasi, integrasi sistem biometrik dan IoT dalam penelitian ini memberikan nilai tambah yang signifikan. Penggunaan sensor sidik jari terbukti mampu meningkatkan akurasi identifikasi pengguna serta mengurangi potensi duplikasi penerima bantuan [11], [12]. Sementara itu, integrasi dengan platform cloud melalui ESP8266 memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real-time, sehingga meningkatkan transparansi dan akuntabilitas distribusi sembako. Pendekatan ini menunjukkan bahwa kombinasi antara teknologi biometrik, komunikasi nirkabel, dan IoT dapat menghasilkan sistem yang lebih efektif dibandingkan pendekatan konvensional.

Namun demikian, sistem yang dikembangkan masih memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan utama terletak pada jangkauan komunikasi yang relatif pendek serta sensitivitas terhadap kondisi lingkungan. Untuk mengatasi hal ini, beberapa pendekatan dapat dipertimbangkan, seperti penggunaan node relay (bridge) untuk memperluas jangkauan komunikasi atau pemanfaatan teknologi komunikasi alternatif dengan cakupan lebih luas [10]. Selain itu, optimasi parameter komunikasi dan penggunaan teknik adaptif juga dapat menjadi solusi untuk meningkatkan keandalan sistem pada kondisi lingkungan yang kompleks.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada skala lokal dalam mendukung distribusi bantuan berbasis teknologi. Meskipun masih terdapat keterbatasan, pendekatan yang digunakan telah berhasil mengintegrasikan berbagai teknologi secara efektif, sehingga memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem monitoring distribusi berbasis WSN dan IoT.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan distribusi sembako tanggap bencana berbasis sensor sidik jari dan komunikasi nirkabel NRF24L01 yang terintegrasi dengan platform *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem mampu melakukan autentikasi pengguna secara biometrik serta mentransmisikan data secara *real-time* antara node pengirim dan penerima, sehingga meningkatkan akurasi identifikasi dan transparansi distribusi bantuan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komunikasi sangat dipengaruhi oleh jarak dan kondisi lingkungan. Pada kondisi *Line of Sight* (LOS), sistem mampu beroperasi stabil hingga jarak 15 meter dengan *packet loss* rendah dan *success rate* di atas 80%, sedangkan pada kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS) terjadi penurunan performa yang signifikan akibat hambatan fisik. Dengan demikian,

rentang operasional optimal sistem berada pada kisaran 5–15 meter, sesuai dengan karakteristik modul NRF24L01 pada sistem komunikasi jarak pendek berbasis WSN.

Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan jangkauan dan keandalan sistem melalui penerapan metode multi-hop atau *node relay* untuk kondisi NLOS, optimasi parameter komunikasi, serta penggunaan teknologi alternatif seperti LoRa atau jaringan seluler untuk cakupan yang lebih luas. Selain itu, integrasi dengan sistem database yang lebih kompleks dan penambahan fitur keamanan lanjutan juga diperlukan untuk mendukung implementasi sistem pada skala yang lebih besar dan operasional nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fuady MAK, Munadi R. Disaster mitigation in Indonesia : between plans and reality. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 2021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1087/1/012011>.
- [2] Haris N, Furqan AC, Kahar A, Karim F. Disaster risk index on disaster management budgeting : Indonesia ' s national data set. Jambá - J Disaster Risk Stud 1996;1–7.
- [3] Ibrahim. D. S, Mahdi. A. F, Yas. Q. M. Challenges and Issues for Wireless Sensor Networks: A Survey. J Glob Sci Res 2021;6:1–19.
- [4] Shobrina UJ, Primananda R, Maulana R. Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24L01 , Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network. J Pengemb Teknol Inf Dan Ilmu Komput 2018;2:1510–7.
- [5] Budiono B, Sulistiawati IB, Agustini NP. Penggunaan NRF24L01 Untuk Monitoring Data Pada PLTS Kapasitas 309 WP. FORTECH 2023;4:1–6.
- [6] Kusnadi H, Malik Taek YSA, Supriadi O. Monitoring Suhu, Kelembaban, Dan Tekanan Udara Menggunakan Wireles Nrf24l01 Dikampus Unpam VIKTOR. Epic J Electr Power Instrum Control 2020;3:70. <https://doi.org/10.32493/epic.v3i1.4927>.
- [7] Candra R, Busran B. Implementasi Jaringan Wsn Pada Sistem Deteksi Banjir Menggunakan Modul Nrf24L01 Pa + Na. J Inform Dan Tek Elektro Terap 2025;13:390–7.
- [8] Desnanjaya IGMN, Alfian MD. Pengiriman Data Nrf24L01+ Dengan Kondisi Line of Sight Dan Non Line of Sight. J Resist (Rekayasa Sist Komputer) 2020;3:128–39. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v3i2.663>.
- [9] Tiransri LA, Dewanta F, Nuha HH. Analisis Quality of Service Modul NRF24L01 pada Sistem Stasiun Cuaca Lokal. TELKA J Telekomun Elektron Komputasi, Dan Kontrol 2023;9:44–51.
- [10] Purwanto A, Yacoub RR, Tjahjamoonsih N. Implementasi Node Bridge Untuk Meningkatkan Komunikasi Multi- JITEKH. J Ilm Teknol Harapan 2024;12:8–15.
- [11] Rezky Akbar Z, Firnanda R, Muharom S, Firmansyah RA, Masfufiah I, Elektro T, et al. Perancangan dan Implementasi Sistem Presensi Berbasis Mikrokontroler dengan Pengenalan Sidik Jari. Semin Nas Sains Dan Teknol Terap XI 2023:1–8.
- [12] Ryanda MFP, Saleh K, Saty OC. Rancang Bangun Sistem Absensi Biometric Menggunakan Sensor Fingerprint AS608 Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno Dan Microsoft Excel. Univ Sriwij 2023.