

SISTEM ANDON PRODUKSI MENGGUNAKAN LED MATRIKS BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32, KOMUNIKASI LORA DAN DASHBOARD NODE-RED

Mada Jimmy Fonda Arifianto* , Waluyo Nugroho, Khairunnisa Cahya, dan Aswan Hadi

Program Studi Mekatronika, Politeknik Astra, Bekasi, 17530, Indonesia

E-mail: mada.jimmy@polytechnic.astra.ac.id*

Abstract--The ability to quickly detect and handle abnormalities is a crucial element for enhancing productivity in modern industrial environments. A microcontroller-based Andon system is a design aimed at simplifying the detection of abnormalities and improving communication between operators and supervisors on the production line. This system utilizes an ESP32 microcontroller as the main controller, an RGB LED dot matrix as a visual display for production status, and a LoRa communication module. The advantage of LoRa technology is its ability to send real-time and stable notifications over a long range. The approach used in this research is the prototype method, which includes stages of requirements analysis, hardware and software design. The subsequent stages are system development, testing, and evaluation. Test results indicate that the system is capable of detecting problems in under 2 seconds and displaying messages with different colors according to the level of urgency. Furthermore, the integration of Node-Red as a visual interface and InfluxDB for historical data storage enables more effective data management and analysis.

Keywords: Andon, ESP32 Microcontroller, LoRa, Node-Red.

Abstrak--Kemampuan dalam mendeteksi dan menangani ketidaknormalan secara cepat merupakan elemen penting untuk meningkatkan produktivitas di lingkungan industri modern. Sistem andon berbasis mikrokontroler merupakan sebuah desain guna mempermudah mendeteksi ketidaknormalan dan meningkatkan komunikasi antar operator dan supervisor di lini produksi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, dot matrix RGB LED sebagai tampilan visual status produksi dan modul komunikasi LoRa. Keuntungan teknologi LoRa yaitu dapat mengirimkan notifikasi secara real-time dan stabil dengan jangkauan jauh. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode prototipe, yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap berikutnya yaitu pengembangan sistem, pengujian dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi masalah dalam waktu kurang dari 2 detik dan menampilkan pesan dengan warna berbeda sesuai tingkat urgensi. Selain itu, integrasi Node-Red sebagai antarmuka visual dan InfluxDB untuk penyimpanan data historis memungkinkan pengelolaan dan analisis data yang lebih efektif.

Kata Kunci : Andon, Mikrokontroler ESP32, LoRa, Node-Red.

I. PENDAHULUAN

Daya saing perusahaan di dunia manufaktur modern sangat bergantung pada kemampuan untuk merespon masalah dengan cepat. Perusahaan akan selalu dituntut untuk terus meningkatkan kualitas produksi, sedangkan lini produksi yang sibuk memungkinkan abnormalitas terjadi. Entah itu mesin berhenti bekerja, kualitas menurun, atau ketidaksesuaian dengan proses yang seharusnya. Penundaan dalam penanganan masalah dapat menyebabkan kerugian besar, baik dari segi waktu, biaya, maupun reputasi perusahaan. Lini produksi merupakan lingkungan kerja yang kompleks di mana operator, supervisor, dan teknisi sering kali bekerja secara terpisah di lokasi yang berbeda [1]. Situasi ini dapat menciptakan tantangan yang lebih besar dalam koordinasi dan komunikasi, terutama ketika diperlukan tindakan cepat untuk menyelesaikan masalah. Dalam konteks ini, sistem yang mampu memberikan peringatan instan, memfasilitasi komunikasi langsung, dan memastikan langkah

perbaikan yang cepat menjadi kebutuhan yang sangat mendesak [2].

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah menerapkan sistem andon menggunakan pendekatan *lean manufacturing*. Andon difungsikan sebagai sistem peringatan visual dan audio yang memberikan sinyal ketika terjadi abnormalitas dalam proses produksi. Penelitian oleh Hirvonen [3] mengatakan arti lain dari Sistem Andon difungsikan sebagai sinyal berwarna di jalur produksi untuk memberikan informasi status secara cepat sehingga memungkinkan untuk melakukan perbaikan segera di lini produksi. Saat ini banyak implementasi *andon system* yang masih menggunakan teknologi konvensional dengan keterbatasan fleksibilitas, integrasi, dan adaptasi terhadap lingkungan kerja modern [4]. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mendesain sebuah *andon system* berbasis mikrokontroler yang dapat dibuat dengan mudah, memberikan respon cepat, dan mendukung komunikasi efektif di lini produksi.

Penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan adanya perkembangan signifikan dalam pengembangan *andon system*. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. [5] berkaitan dengan *andon system* berbasis *wireless sensor network* (WSN) untuk meningkatkan fleksibilitas sistem di lini produksi. Namun penelitian tersebut kurang memfokuskan pada aspek komunikasi antara operator dan supervisor maupun teknisi. Penelitian oleh Wang [6] yaitu mengembangkan sistem serupa yang terintegrasi dengan aplikasi seluler, tetapi implementasinya memerlukan infrastruktur yang mahal, sehingga menyebabkan kurangnya kesesuaian untuk pabrik dengan anggaran terbatas. Wojakowski [7] menjelaskan bahwa *andon system* tidak hanya digunakan untuk mendeteksi masalah produksi tetapi juga sebagai alat untuk mengukur efektivitas operasi dengan menggunakan indikator kinerja seperti *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

Infrastruktur nirkabel berperan penting dalam pengembangan sistem digitalisasi dalam kegiatan produksi [8]. Salah satu teknologi nirkabel yang murah dengan jangkauan relatif lebih jauh daripada WiFi, yaitu teknologi LoRa [9]. Penelitian sebelumnya mengangkat topik tentang penerapan LoRa untuk sistem pelacakan kendaraan angkut perkebunan [10] dan untuk sistem pemantauan energi listrik[11].

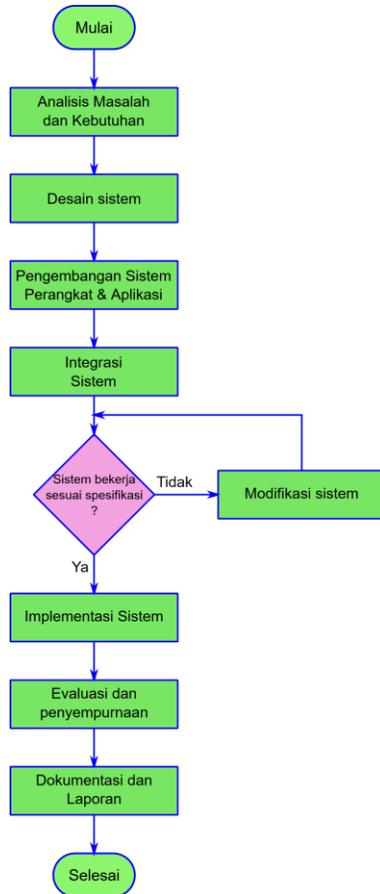
Berdasarkan analisis terhadap penelitian sebelumnya, kesenjangan yang muncul adalah kebutuhan akan sistem andon yang tidak hanya mendeteksi abnormalitas secara langsung, tetapi juga mampu mendukung komunikasi efektif antar pengguna dengan teknologi yang sederhana, terjangkau, dan mudah untuk diimplementasikan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe sistem andon dengan dukungan teknologi LoRa dan Node-RED, yang dapat meningkatkan penanganan abnormalitas di lini produksi, sehingga dapat mengurangi *downtime* sistem produksi. Dengan harapan bahwa hal ini dapat menciptakan sistem yang lebih adaptif, fleksibel, dan ekonomis serta dapat digunakan oleh berbagai jenis industri untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produksi secara keseluruhan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan model pengembangan prototipe yang menerapkan untuk membuat rancangan dengan cepat dan bertahap sehingga dapat segera diimplementasikan dan dievaluasi. Model prototipe merupakan teknik pengembangan sistem yang banyak digunakan dan teknik ini juga memberikan fasilitas bagi pengembang dan pemakai untuk saling

berinteraksi selama proses pembuatan, sehingga pengembang dapat dengan mudah memodelkan perangkat lunak yang akan dibuat[12]. Tahapan pengembangan sistem dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 1. Gambar 1

Tahap pertama adalah melakukan analisis terhadap masalah yang terjadi di lini produksi, seperti keterlambatan deteksi abnormalitas dan kurangnya komunikasi antar operator dan supervisor. Pada tahap ini, dilakukan studi literatur untuk memahami prinsip kerja sistem andon dan teknologi pendukungnya. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem berdasarkan kebutuhan, yang meliputi perangkat elektronik, sistem jaringan dan dasbor. Setelah desain dibuat, berikutnya adalah pengembangan prototipe. Komponen utama, seperti mikrokontroler ESP32, dot matrix display, dan tombol kendali, dirakit untuk membentuk prototipe awal. Selanjutnya dilakukanlah integrasi sistem yang menyatukan perangkat elektronika, sistem komunikasi data dan aplikasi berbasis web. Pengujian fungsi dasar dilakukan pada tahap ini. Apabila terdapat ketidaksesuaian dengan spesifikasi kebutuhan yang telah ditentukan, maka dilakukanlah modifikasi sistem yang mungkin terjadi pada pemrograman mikrokontroler, rangkaian elektronika (PCB) atau pada bagian pengembangan aplikasi. Implementasi dilakukan setelah pengujian fungsi-fungsi tersebut dilakukan dan selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap penerapan sistem andon di lini produksi. Langkah terakhir yaitu pembuatan dokumen pendukung dan laporan yang nantinya bermanfaat untuk pengembangan sistem di fase berikutnya.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

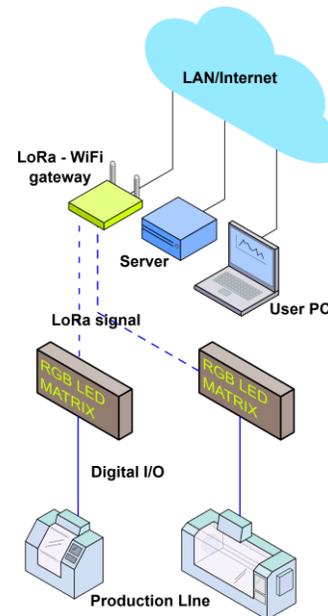
III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

Berdasarkan analisis masalah, secara mendasar perlu adanya sistem digitalisasi untuk memudahkan pengamatan hasil produksi secara *real-time*, akurat dan mampu telusur dengan baik. Untuk itu disusunlah spesifikasi teknis dari sistem yang akan dibuat berdasarkan kebutuhan yaitu:

1. Terdapat tampilan LED matrix yang memberikan informasi produksi meliputi identitas produk, jumlah produk yang baik dan tidak baik.
2. Terdapat pengaturan warna tampilan berdasarkan capaian produksi
3. Modul tampilan terkoneksi dengan sensor dari mesin untuk penghitungan jumlah
4. Komunikasi data yang digunakan yaitu teknologi LoRa agar dapat terjangkau di luar jaringan WiFi.
5. Terdapat dasbor sebagai antarmuka untuk pengguna, sehingga sistem andon yang diterapkan pada banyak lini produksi dapat dikelola hanya dengan satu aplikasi berbasis web.

Pengembangan sistem andon menurut spesifikasi tersebut, digambarkan melalui topologi jaringan pada gambar 2. Dimulai dari komputer pengguna yang

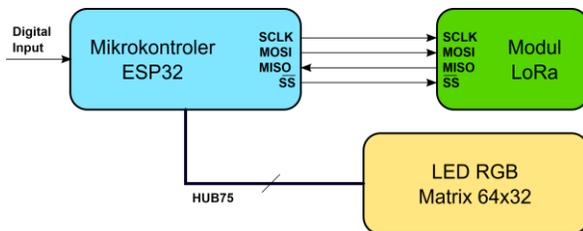
dapat mengakses server untuk menjalankan aplikasi berbasis web, komputer ini terhubung pada jaringan yang sama dengan server dan LoRa-WiFi gateway sebagai mengkonversi data dari LoRa dan WiFi serta sebaliknya. LoRa bekerja pada basis frekuensi radio 433Mhz atau 925Mhz, sedangkan WiFi bekerja pada frekuensi radio 2,4Ghz.



Gambar 2. Topologi Jaringan Sistem Andon

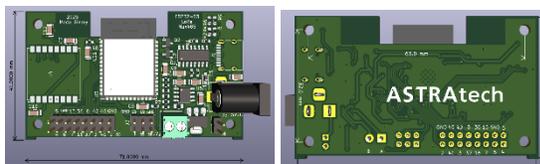
Keuntungan penggunaan LoRa terletak pada jangkauan yang lebih jauh, sedangkan keunggungan menggunakan WiFi terletak pada kecepatan yang tinggi. Dengan melihat karakter ini, maka dinilai lebih tepat jika pancaran data menuju ke setiap andon menggunakan LoRa mengingat data yang dikirim cukup kecil (kurang dari 100 byte), lokasi mesin yang cukup jauh dan ada yang tidak terjangkau jaringan komputer.

Tampilan sistem andon berupa Dot Matrix LED 64x32 piksel dengan kombinasi warna merah, hijau dan biru pada setiap pikselnya (RGB). Display ini dikemas pada sebuah kotak kemasan yang didalamnya juga terdapat catu daya 5volt DC dan papan mikrokontroler. Mikrokontroler ESP32 mengambil peran sebagai pusat kendali yang mengatur semua operasi pola tampilan berdasarkan program yang diunggah. Sistem ini dirancang untuk menciptakan tampilan yang dinamis sebagai indikasi status. Dua perangkat elektronik yang dikembangkan pada penelitian ini yaitu penampil andon (diagram blok dapat dilihat pada gambar 3) dan LoRa-WiFi gateway (diagram blok dapat dilihat pada gambar 6).



Gambar 3. Diagram Blok Perangkat Penampil

Kedua perangkat menggunakan papan mikrokontroler yang sama (dengan alasan ekonomis). Mikrokontroler ESP32-S3 dirakit pada sebuah papan (PCB) yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak KiCAD. Rancangan PCB (gambar 4) terdiri dari modul ESP32-S3, modul LoRa Ra-02 433Mhz, modul USB-Serial CH340C dan regulator 3.3VDC. Di sini juga terdapat konektor IDC 2x8 pin yang dirancang agar kompatibel dengan konektor standar HUB75 pada modul LED RGB Matrix. Digital I/O dari mikrokontroler juga dikeluarkan pada konektor yang nantinya akan terhubung ke sensor untuk mendapatkan data dari mesin.



Gambar 4. Desain Papan Mikrokontroler

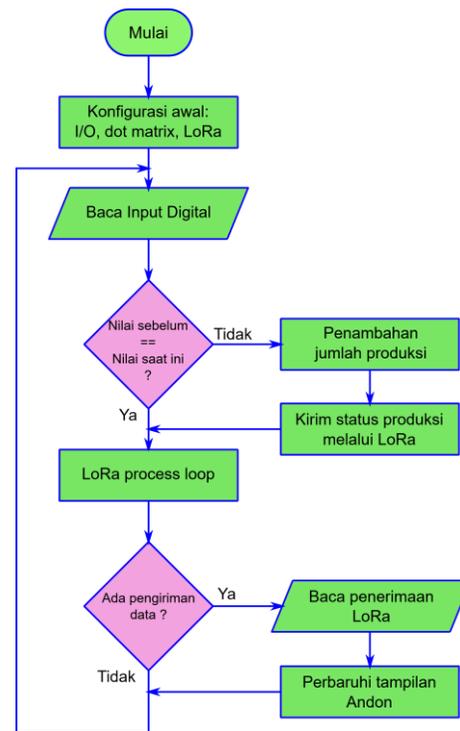
Susunan koneksi antara mikrokontroler ESP32-S3 dengan modul dot matriks (konektor HUB75) dapat dilihat pada tabel 1. Koneksi ini menjadi dasar untuk pembuatan program mikrokontroler untuk penampil andon.

Pemrograman mikrokontroler dilakukan pada platform Arduino IDE, yang telah direncanakan dengan dengan diagram alir pada gambar 5. Tahapan dimulai dari mengunduh *library* yang diperlukan untuk menghubungkan ESP32 ke modul LoRa dan modul dot matrix LED RGB.

Tabel 1. Koneksi ESP32 dengan LED RGB Matrics

ESP32	HUB75	ESP32	HUB75
21	1 (Red1)	GND	9 (GND)
6	2 (Blue1)	40	10 (LATCH)
7	3 (Red2)	42	11 (D)
16	4 (Blue2)	8	12 (B)
37	5 (A)	-	13 (NC)
3	6 (C)	15	14 (Green2)
41	7 (CLK)	GND	15 (GND)
2	8 (/OE)	5	16 (Green1)

jika ada penerimaan data dari LoRa, maka data tersebut diolah agar bisa tampil di LED RGB.



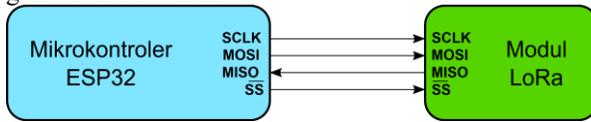
Gambar 5. Diagram Alir Pemrograman Mikrokontroler (*Perangkat Penampil*)

Program diawali dengan konfigurasi perangkat digital input, konfigurasi LoRa dan LED RGB yang dijalankan oleh fungsi `setup()`. Konfigurasi LoRa menggunakan konsep pengiriman *Reliable Datagram Client*. Pada bagian fungsi `loop()`, terdapat pola pemrograman yang bersifat *non-blocking*, di mana tidak ada fungsi yang menahan jalannya program utama (misalnya `delay`). Iterasi ini terdiri dari urutan perintah pembacaan input digital, dan pembacaan data dari LoRa. Sinyal dari sensor diambil hanya pada bagian transisi sisi, sehingga yang diproses hanya jika ada perubahan dari low ke high supaya proses tidak dilakukan terus menerus jika sinyal dari sensor lebih dari satu *loop*. Sinyal dari sensor akan menambahkan jumlah produksi dan selanjutnya dikirim ke *gateway* melalui komunikasi LoRa. Demikian juga sebaliknya,

Di lini produksi, apabila produk sudah selesai diproses maka ada mekanisme yang akan mengaktifkan sensor sehingga aktual produksi yang OK akan bertambah, namun jika terdeteksi produk tersebut NG maka, pengguna perlu menekan tombol NG. Ketika tombol tersebut ditekan jumlah aktual akan tetap, sedangkan produk OK akan berkurang, serta jumlah produk NG akan bertambah. Apabila terdapat kondisi abnormal pengguna dapat menekan tombol Warning untuk kendala ringan dan tombol stop

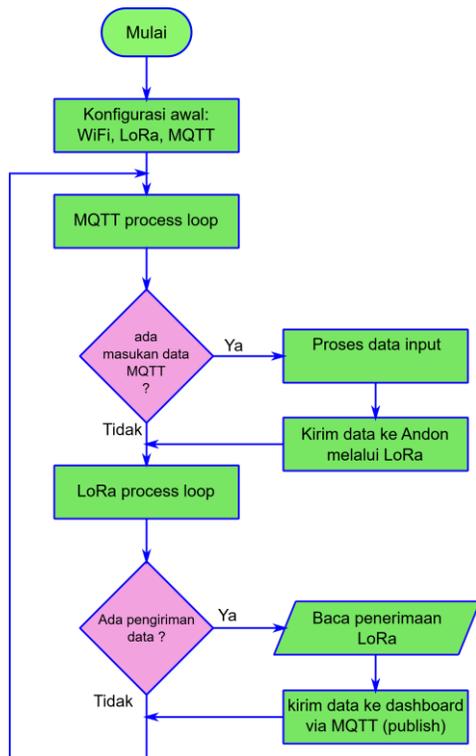
untuk kendala yang menyebabkan line produksi berhenti.

LoRa-WiFi gateway menggunakan papan mikrokontroler yang sama dengan penampil andon, hanya saja konektor HUB75 tidak digunakan. Diagram blok LoRa-WiFi gateway dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Diagram Blok Perangkat Lora-Wifi Gateway

Diagram alir perangkat LoRa-WiFi gateway dapat dilihat pada gambar 7. Program diawali dengan konfigurasi WiFi (pengaturan SSID dan password menggunakan WiFi Manager), konfigurasi LoRa (*Reliable Datagram Server*) dan konfigurasi MQTT (*broker, port, subscriber callback*).



Gambar 7. Diagram Alir Pemrograman Mikrokontroler (*Gateway*)

Selanjutnya pada bagian fungsi loop(), terdapat pola pemrograman non-blocking dengan proses utama pembacaan data jika ada data dari MQTT yang masuk dan jika ada data dari LoRa. Data MQTT berasal dari dasbor Node-RED yang selanjutnya menampilkan data ke andon melalui LoRa.

Sistem kerja *gateway* ketika pertama kali dihidupkan, sistem akan mencoba terhubung dengan WiFi yang sudah ditentukan dalam program, setelah terkoneksi sistem akan mulai mencoba terhubung dengan MQTT Broker. Ketika sudah terhubung *gateway* sudah menerima/mengirim data.

Pada bagian pemrograman aplikasi dasbor, terdapat konfigurasi MQTT broker (server yang bertugas mengatur lalu lintas data melalui protokol MQTT). Ketika data sudah diterima/dikirim ke Node-Red, data akan dikirim pada InfluxDB. Pada InfluxDB ini data yang diterima/dikirim oleh ESP32 di awal akan tersimpan dan dapat dianalisis oleh pengguna.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan setelah perancangan dan pembuatan andon berbasis mikrokontroler yaitu pengujian sistem. Hasil pengujian meliputi sisi perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dibuat yaitu meliputi tampilan dot matrix RGB, tampilan perangkat lunak Node-Red, dan InfluxDB. Selain itu, akan diuraikan bagaimana sistem ini mendeteksi masalah dan meningkatkan efisiensi komunikasi antara operator dan supervisor di lingkungan kerja yang kompleks. Hasil pengujian sistem mencakup evaluasi kecepatan deteksi abnormalitas, akurasi tampilan pesan di dot matrix, serta efektivitas protokol komunikasi MQTT dalam mentransfer data dari sensor ke tampilan output.

Hasil dari perancangan sistem tampilan dot matrix RGB menunjukkan bahwa alat ini mampu menampilkan pesan abnormalitas dalam bentuk teks dengan warna yang berbeda sesuai tingkat urgensi. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan berbagai jenis input tombol (seperti *default production, must maintenance* dan *stop production*). Teks yang ditampilkan pada dot matrix memiliki tingkat kecerahan dan visibilitas yang optimal, bahkan pada ruangan dengan pencahayaan yang terang.



Gambar 8. Tampilan Andon

Pada gambar 8 menunjukkan tampilan dot matrix RGB yang menampilkan informasi status produksi, seperti TARGET, AKTUAL, BALANCE, serta jumlah produk NG (*Not Good*), dan OK. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing parameter yang tertampil.

Nilai TARGET produksi dapat diatur secara dinamis melalui *dashboard* yang dirancang menggunakan perangkat lunak Node-RED. Hal ini memberikan

fleksibilitas kepada operator atau supervisor untuk menentukan target produksi sesuai kebutuhan.

Nilai AKTUAL produksi diperoleh dari simulasi input menggunakan button. Setiap penekanan tombol akan mencerminkan unit produksi yang berhasil diselesaikan, sehingga angka ini terus diperbarui secara *real-time*.

Parameter BALANCE ini dihitung secara otomatis oleh sistem dengan formula:

$$Balance = Target - Aktual$$

Angka *balance* menunjukkan selisih antara target produksi yang telah ditentukan dan jumlah aktual produksi yang telah dicapai.

Informasi terkait jumlah produk NG dan OK berasal dari simulasi pembacaan sensor pada lini produksi. Sensor ini disimulasikan menggunakan tombol yang terhubung pada *breadboard*. Ketika tombol tertentu ditekan, sistem akan mengidentifikasi produk sebagai NG atau OK dan memperbarui jumlahnya di tampilan dot matrix RGB.



Gambar 9. Tampilan Dasbor Node-RED

Berdasarkan hasil implementasi, sistem ini menunjukkan keunggulan dibandingkan penelitian sejenis. Penelitian sebelumnya oleh Zhang et al. (2021) hanya berfokus pada deteksi abnormalitas tanpa memprioritaskan komunikasi antar operator dan supervisor [13]. Selain itu, proyek oleh Khan et al. (2020) mengimplementasikan *IoT-based alert systems*, namun tidak mengintegrasikan visualisasi data historis untuk analisis lebih lanjut [14]. Sistem ini mengatasi gap yang ada dengan mengintegrasikan deteksi, notifikasi *real-time*, dan analisis data berbasis cloud. Dengan demikian, sistem memberikan solusi yang komprehensif untuk mengurangi waktu henti produksi akibat abnormalitas dan mempercepat proses pengambilan keputusan. Hasil menunjukkan bahwa Sistem Andon berbasis mikrokontroler ini dapat diimplementasikan secara efektif untuk meningkatkan efisiensi produksi dan memperbaiki komunikasi dalam lingkungan kerja yang kompleks.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem andon berbasis mikrokontroler untuk mengatasi abnormalitas dan

meningkatkan komunikasi di lini produksi. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi masalah secara instan dan menyampaikan informasi kepada supervisor dengan cepat melalui tampilan dot matrix RGB dan platform berbasis Node-Red. Dengan memanfaatkan protokol komunikasi MQTT dan pengiriman data menggunakan teknologi LoRa, sistem dapat memastikan pengiriman data yang andal dari sensor input ke perangkat tampilan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi dan mengidentifikasi abnormalitas dengan tingkat respons yang tinggi, kurang dari 2 detik dan akurasi tampilan pesan yang optimal. Selain itu, penggunaan Node-Red memungkinkan pengelolaan data secara efisien, sementara InfluxDB mendukung penyimpanan data historis untuk keperluan analisis lebih lanjut.

Namun, penelitian ini juga memiliki keterbatasan. Salah satu keterbatasan adalah cakupan pengujian yang dilakukan masih dalam skala kecil dan kondisi lingkungan yang terkendali. Untuk implementasi dalam skala industri yang lebih besar, sistem perlu diuji lebih lanjut untuk memastikan ketahanan dan keandalannya dalam menghadapi lingkungan produksi yang lebih kompleks, termasuk faktor gangguan jaringan atau kondisi darurat lainnya. Selain itu, meskipun sistem ini mampu meningkatkan efisiensi komunikasi, terdapat peluang untuk mengintegrasikan teknologi berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang dapat memberikan analisis prediktif terhadap abnormalitas yang mungkin terjadi.

Sebagai langkah lanjutan, pengembangan sistem dapat mencakup pengintegrasian *dashboard* berbasis *web* atau *mobile app* untuk akses yang lebih fleksibel, serta peningkatan fitur keamanan data dalam protokol komunikasi. Selain itu, pengembangan dengan banyak node andon atau *multi slave* dapat dilakukan untuk mengintegrasikan sistem andon yang lebih besar sehingga dapat mendukung transformasi menuju *smart manufacturing*. Kesimpulannya, sistem ini memiliki potensi besar untuk diimplementasikan dalam lingkungan industri, namun memerlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat memberikan manfaat yang maksimal.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hamrul, Heliawaty, and Muh Fuad Mansyur. "Sistem Monitoring Hasil Produksi Ayam Petelur Berbasis Internet Of Things." *Journal of Computer and Information System (J-CIS)* vol 7, no. 1, pp. 43-51, 2024.
- [2] Wang, Xiangqian, et al. "IoT Real-Time Production Monitoring and Automated Process Transformation in Smart Manufacturing." *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)* vol 36, no. 1, pp. 1-25, 2024.

- [3] J. Hirvonen, "Design and Implementation of Andon System for Lean Manufacturing". Espoo, Finland: Aalto University, vol.- , pp.- , 2018. 2018.
- [4] Singh, Nagendra, et al. "IoT-based greenhouse technologies for enhanced crop production: a comprehensive study of monitoring, control, and communication techniques." *Systems Science & Control Engineering* vol 12, no. 1, pp. 23-35, 2024.
- [5] Q. Zhang, Y. Liu, and J. Chen, "Development of a wireless Andon system for real-time abnormality detection in production lines," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 58, pp. 75–85, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.08.003.
- [6] Z. Wang, X. Li, and K. Zhang, "Mobile-integrated Andon system: A practical solution for small and medium enterprises," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 15, pp. 1–10, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jii.2020.100130.
- [7] P. Wojakowski, "Plant Performance Calculation in Automotive Industry Using Andon System" *Poznan University of Technology Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 361-370, Jul. 2015.
- [8] Isa, Awang Abdul Hadi, and Mohammad Tariq Iqbal. "Remote Low-Cost Web-Based Battery Monitoring System and Control Using LoRa Communication Technology." *Journal of Electronics and Electrical Engineering*, vol 2, no.1 134-1455, 2024.
- [9] Rojo-García, Josué I., et al. "Data Collection in Areas without Infrastructure Using LoRa Technology and a Quadrotor." *Future Internet* vol 16, no. 6, pp. 186-192 , 2024.
- [10] Arifianto, M. J. F., D. M. Muhim, and E. Rosyidi. "Rancang bangun sistem pemantauan lokasi berbasis gps, lora dan wifi pada kendaraan angkut perkebunan." *Seminar Nasional Efisiensi Energi untuk Peningkatan Daya Saing Industri Manufaktur & Otomotif Nasional (SNEEMO)*. 2020.
- [11] Arifianto, Mada Jimmy Fonda, and Lin Prasetyani. "Sistem pemantauan dan kontrol energi listrik menggunakan platform node-red, influxdb dan grafana melalui jaringan wifi dan lora." *J. Fokus Elektroda Energi List. Telekomun. Komputer, Elektron. dan Kendali* 7.1 (2022): 61.
- [12] Kurniati, "Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem Pengarsipan Dokumen Kantor Kecamatan Lais," *Journal of Software Engineering Ampera* , vol. 2, no. 1, pp. 16–27, Feb. 2021, doi: 10.51519/journalsea.v2i1.89.
- [13] Zhang, X., Li, J., and Wang, Y., "IoT-Based Real-Time Monitoring System for Manufacturing Abnormalities," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 8, pp. 5221–5230, 2021.
- [14] Khan, M., Ahmad, F., and Raza, A., "Cloud-Integrated IoT System for Industrial Maintenance," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 56, pp. 120–128, 2020