

Perancangan Sistem Kendali Otomatis *Valve* Nitrogen Berbasis Komunikasi Bluetooth Untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Nitrogen (N₂) Pada Proses *Reflow Oven* SMT di PT XYZ

Deo Malwa Yudistira¹, Nanta Fakh Prebianto^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Electronics Engineering Technology Study Program, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: nanta@polibatam.ac.id

Abstrak— *Reflow soldering* merupakan proses pemanasan pasta solder di area *reflow oven* sehingga komponen elektronik dan PCB saling terhubung. Pada proses ini digunakan gas nitrogen (N₂) untuk menciptakan *inert atmosphere* guna mencegah terjadinya oksidasi selama proses pemanasan. Namun, pengendalian gas nitrogen di PT XYZ masih dilakukan secara manual, aliran gas nitrogen kerap dibiarkan aktif meskipun sedang tidak digunakan. Hal ini menyebabkan pemborosan gas yang berdampak pada peningkatan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali otomatis aliran gas nitrogen berbasis komunikasi nirkabel. Sistem terdiri dari modul Master yang dilengkapi *photoelectric sensor* untuk mendeteksi PCB, serta modul Slave yang dilengkapi *solenoid valve* untuk mengatur aliran gas nitrogen. Komunikasi antar modul dilakukan menggunakan Bluetooth. Hasil pengujian menunjukkan penurunan konsumsi gas nitrogen harian sebesar 62.98% dibandingkan sistem manual. Komunikasi data antar modul berjalan stabil pada jarak 12 meter, sesuai dengan kebutuhan sistem, dengan rata-rata durasi pengiriman 83.48 milidetik serta kekuatan sinyal (RSSI) sebesar -77.95 dBm (Master) dan -78.55 dBm (Slave). *Timer* berbasis *millis()* menunjukkan akurasi sebesar 99,9% dalam penghitungan waktu selama 5 menit. Selain itu, *photoelectric sensor* mampu mendeteksi PCB hingga jarak 29 cm, melebihi kebutuhan sistem yang hanya berjarak 14 cm. Dengan demikian, sistem yang di rancang terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan gas nitrogen di PT XYZ.

Kata Kunci: *Reflow Soldering, Reflow Oven, Gas Nitrogen (N₂), Bluetooth, Nirkabel, Surface Mount Technology (SMT)*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor industri. Inovasi teknologi memungkinkan proses produksi menjadi lebih cepat, efisien, dan presisi, hal ini menjadi kunci penting untuk menjaga daya saing di tengah persaingan pasar yang semakin kompetitif. Salah satu industri yang mengalami dampak besar dari perkembangan ini adalah industri elektronik. Tingginya ketergantungan masyarakat global terhadap perangkat elektronik mendorong permintaan pasar yang terus meningkat setiap tahunnya. Data pada tahun 2024 mencatat bahwa nilai pasar industri elektronik global mencapai USD 788.64 miliar dan diperkirakan akan tumbuh dengan CAGR 6.2%, hingga mencapai USD 1.41 triliun pada tahun 2033 [1]. Melihat potensi pasar yang terus

meningkat, produsen dituntut untuk terus berinovasi guna meningkatkan kualitas produk dan efisiensi dalam proses produksi [2].

Surface Mount Technology (SMT) merupakan metode otomatis yang digunakan untuk memasang komponen elektronik berjenis *Surface Mount Device* (SMD) secara otomatis ke permukaan *Printed Circuit Board* (PCB). Teknologi ini tidak hanya memungkinkan penempatan komponen secara presisi, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi proses produksi [3].

Salah satu tahapan penting dalam proses SMT adalah *reflow soldering*, yaitu proses pemanasan pasta solder di area *reflow oven* yang berfungsi untuk menyatukan terminal komponen elektronik dengan *pad* pada PCB [4]. Dalam proses ini, gas nitrogen (N₂) digunakan untuk menciptakan *inert atmosphere* atau kondisi bebas oksigen. Hal ini bertujuan untuk mencegah oksidasi pada hasil solderan, sehingga menghasilkan sambungan solder yang optimal [5].

Namun, di PT XYZ, penggunaan gas nitrogen dalam proses *reflow soldering* belum diatur secara efisien. Dimana aliran gas nitrogen kerap dibiarkan aktif meskipun tidak ada PCB yang sedang diproses, seperti saat jeda produksi atau ketika *line* produksi sedang tidak beroperasi. Hal ini disebabkan karena pengendalian aliran gas nitrogen masih bergantung pada intervensi manusia (teknisi), yang terkadang lupa atau mengabaikan mematikan aliran gas nitrogen. Akibatnya, terjadi pemborosan gas nitrogen yang berdampak pada peningkatan biaya operasional.

Permasalahan ini menunjukkan perlunya solusi otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi operasional. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Padole et al. (2020) mengembangkan mekanisme otomatis katup gas pada instalasi biogas menggunakan pengontrol *on-off* (LC5926H). Sistem ini berfungsi untuk mengendalikan *solenoid valve* berdasarkan tekanan dalam digester (tangki fermentasi). Sistem ini dilengkapi dengan *pressure transmitter* yang secara terus-menerus mengukur tekanan gas dalam digester dan mengirimkan sinyal ke pengontrol LC5926H. Ketika tekanan gas melebihi ambang batas yang telah ditentukan yaitu 9.2 mbar, *controller* LC5926H akan mengaktifkan *solenoid valve* untuk membuka aliran gas ke *storage ballon* (balon penyimpanan), Sehingga mencegah pemborosan atau kebocoran gas. Sebaliknya, ketika tekanan gas turun di

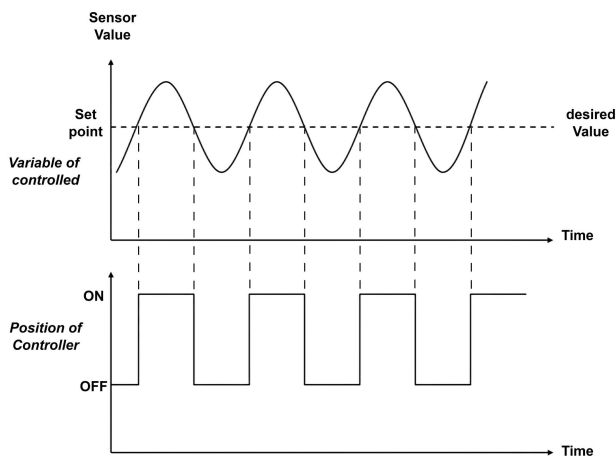
bawah ambang batas yaitu 7 mbar, pengontrol secara otomatis menutup kembali katup solenoid untuk menghentikan aliran gas. Dengan penerapan sistem ini memberikan solusi yang efisien dalam dalam pengelolaan limbah biogas dengan mengurangi intervensi manusia serta mencegah pemborosan dan kebocoran gas yang tidak diinginkan [6].

Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan yang sedang dihadapi perusahaan, maka dirancanglah Sistem Kendali Otomatis Valve Nitrogen berbasis Bluetooth yang dapat mengatur *on-off solenoid valve* gas nitrogen secara otomatis berdasarkan keberadaan PCB di jalur produksi. Sistem ini menggunakan *photoelectric sensor* untuk mendeteksi PCB dan secara otomatis mematikan aliran gas nitrogen ketika tidak ada PCB yang terdeteksi selang waktu tertentu. Sistem ini akan terdiri dari modul Master yang menerima input sensor dan modul Slave yang mengontrol *solenoid valve* gas nitrogen melalui relay. Komunikasi antara modul Master dan Slave akan menggunakan komunikasi *wireless* berbasis Bluetooth. Dengan Implementasi sistem ini, diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi oleh perusahaan dan dapat memberikan dampak positif dalam mengurangi pemborosan gas nitrogen serta meningkatkan efisiensi produksi di PT XYZ.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode Kontrol ON-OFF (bang-bang Control)

Kontrol *on-off* atau *bang-bang control* adalah salah satu metode pengendalian yang banyak digunakan dalam sistem kontrol otomatis, khususnya pada aplikasi industri, dikarenakan metode ini mudah untuk diterapkan dan tidak memerlukan perangkat keras atau algoritma yang rumit [7].

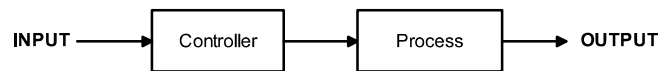


Gambar 1. Karakteristik Kontrol On-Off

Metode ini hanya memiliki dua kondisi keluaran, yaitu HIGH (aktif) dan LOW (nonaktif). Prinsip kerjanya adalah dengan membandingkan nilai aktual yang diperoleh dari sensor dengan nilai referensi (setpoint). Dapat dilihat pada Gambar 1, ketika nilai aktual melebihi *setpoint*, maka perangkat akan diaktifkan (output HIGH). Sebaliknya, jika nilai aktual lebih rendah dari *setpoint*, maka perangkat akan dimatikan (output LOW). Kontrol *on-off* ini memberikan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi, karena perangkat langsung beralih antara status aktif dan nonaktif. Pendekatan ini sangat sesuai untuk sistem yang hanya memerlukan dua status logika yang tegas, yaitu HIGH (1) atau LOW (0) [8].

B. Sistem Kontrol Open Loop

Sistem *open-loop* atau loop terbuka merupakan salah satu jenis sistem kendali yang bekerja tanpa melibatkan mekanisme umpan balik (*feedback*). Pada sistem ini, *output* yang dihasilkan tidak digunakan untuk memengaruhi atau mengoreksi input, sehingga seluruh proses kendali hanya didasarkan pada sinyal Input atau data awal [9]. Secara umum, sistem *open-loop* memiliki arsitektur sederhana yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu *input*, *controller*, *process* dan *output* seperti diagram berikut [10]:



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kontrol Open Loop

1. **Input** adalah sinyal atau variabel yang dimasukkan ke dalam *Controller* untuk diatur atau dikendalikan.
2. **Controller** adalah perangkat yang menerima *input*, kemudian memproses informasi tersebut untuk menghasilkan sinyal kontrol yang diperlukan untuk mengatur *output*.
3. **Process** adalah bagian dari sistem yang menghasilkan output yang diinginkan berdasarkan sinyal kontrol dari *controller*.
4. **Output** adalah hasil dari proses yang dikendalikan. *Output* ini adalah kondisi aktual yang ingin dicapai atau dikendalikan.

C. Bluetooth

Bluetooth adalah teknologi komunikasi nirkabel yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dan termasuk dalam kategori *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Teknologi ini dikembangkan untuk memungkinkan pertukaran data antara perangkat elektronik tanpa memerlukan koneksi kabel. Salah satu jenis Bluetooth yang umum digunakan adalah Bluetooth (Classic atau BR/EDR) yang mengadopsi protokol *Serial Port Profile* (SPP) untuk mentransmisikan data secara serial antar perangkat secara berkelanjutan [11].

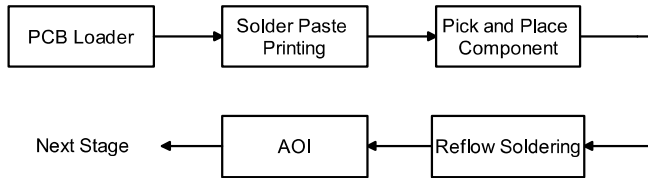
Bluetooth Classic menggunakan metode *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), yaitu teknik transmisi yang secara cepat berpindah-pindah frekuensi (*hopping*) untuk menghindari interferensi sinyal dari perangkat lain. Hal ini menjadikan koneksi Bluetooth lebih stabil dan tahan terhadap gangguan sinyal dari perangkat lain yang bekerja pada frekuensi yang sama [12]. Berikut adalah spesifikasi umum dari Bluetooth Classic dapat dilihat pada Tabel 1 [13].

Tabel 1. Spesifikasi Bluetooth Classic

No	Item	Keterangan
1.	Frekuensi	2.4 Ghz
2.	Jumlah Saluran	79
3.	Kecepatan Standar Maksimum	1 Mbps
4.	Kecepatan Efektif Maksimum	0.7 Mbps
5.	Transmisi Data Maksimum	100 mW
6.	Pemasangan (Pairing)	Diperlukan
7.	Keamanan Komunikasi	Enkripsi/Otentikasi
8.	Ukuran Data Maksimum	1021 Byte

D. Tahapan Proses *Surface Mount Technology (SMT)*

Surface Mount Technology (SMT) adalah suatu metode perakitan komponen elektronik ke permukaan papan PCB secara otomatis yang memungkinkan pemasangan komponen elektronik dengan kecepatan, presisi, dan efisiensi yang tinggi [14]. Proses SMT secara umum terdiri dari beberapa tahapan, mulai dari *PCB loader*, *solder paste printing*, *pick and place component*, *reflow soldering*, dan *Automatic Optical Inspection (AOI)* [15].

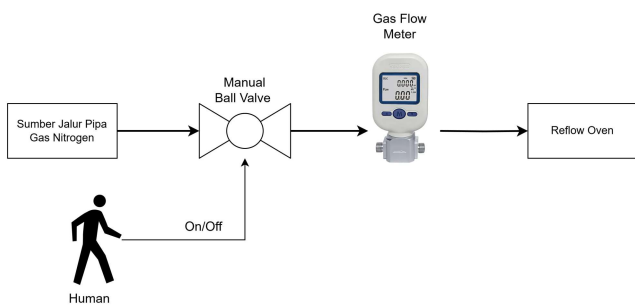


Gambar 3. Tahapan proses pada SMT

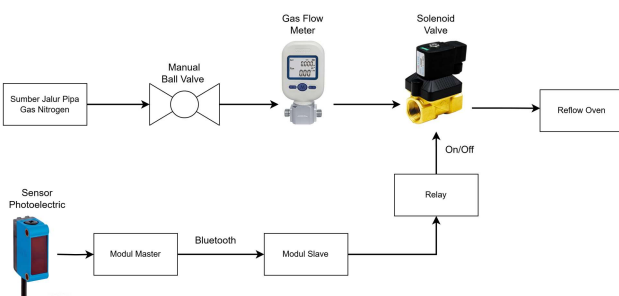
1. **PCB Loader** adalah proses memasukkan PCB ke dalam *conveyor loader* untuk diteruskan ke proses selanjutnya.
2. **Solder Paste Printing** adalah proses pencetakan pasta solder pada permukaan PCB menggunakan stensil.
3. **Pick and Place Component** adalah proses pemasangan komponen elektronik secara otomatis pada PCB, komponen diambil dari pita atau wadah komponen dan ditempatkan pada posisi yang tepat di atas PCB.
4. **Reflow Soldering** adalah proses pemanasan pasta solder hingga meleleh di area *reflow oven* sehingga komponen dan PCB saling terhubung. Pada proses ini gas nitrogen digunakan untuk menjaga kualitas solderan agar optimal.
5. **AOI (Automatic Optical Inspection)** adalah proses inspeksi visual otomatis pada PCBA untuk mendeteksi cacat produksi.

E. Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini menggambarkan perbedaan metode dalam mengendalikan gas nitrogen antara sistem manual (sebelum) pada Gambar 4 dan sistem otomatis (setelah) pada Gambar 5.

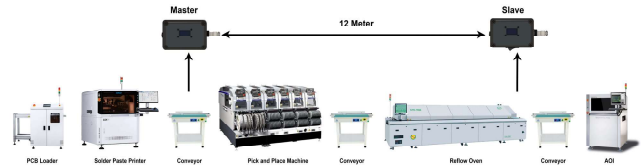


Gambar 4. Sistem Manual



Gambar 5. Sistem Otomatis

Pada sistem manual, pengendalian aliran nitrogen sepenuhnya bergantung pada manusia, yang mana berisiko terjadi *human error* dan potensi pemborosan gas nitrogen. Sebaliknya, sistem otomatis yang dirancang mengandalkan sensor dan mikrokontroler untuk mengatur aliran gas nitrogen secara otomatis, hal ini mengurangi ketergantungan pada intervensi manusia dan risiko pemborosan gas nitrogen.

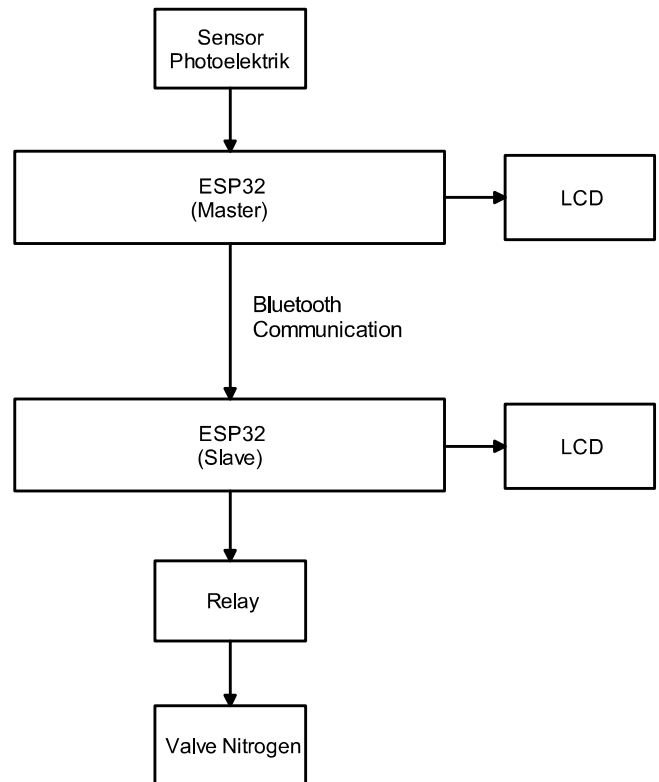


Gambar 6. Posisi Alat pada Line SMT

Dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan lokasi penempatan modul Master dan Slave, dimana modul Master ditempatkan di area conveyor, tepatnya setelah proses *solder paste printer*, sedangkan modul Slave berada di area *reflow oven*, dengan Jarak antara keduanya mencapai 12 meter. Komunikasi antara kedua modul tersebut menggunakan teknologi Bluetooth Classic yang mana memungkinkan pengiriman data secara *wireless*, sehingga mempermudah instalasi, mengurangi kerumitan pengaturan kabel, dan meningkatkan fleksibilitas sistem.

F. Blok Diagram Sistem

Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai alur kerja sistem yang dirancang, digunakan sebuah blok diagram yang menggambarkan hubungan antara setiap komponen utama. Blok diagram ini menunjukkan bagaimana sensor, mikrokontroler, serta aktuator saling berinteraksi dalam Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis. Berikut blok diagram sistem yang telah dirancang.

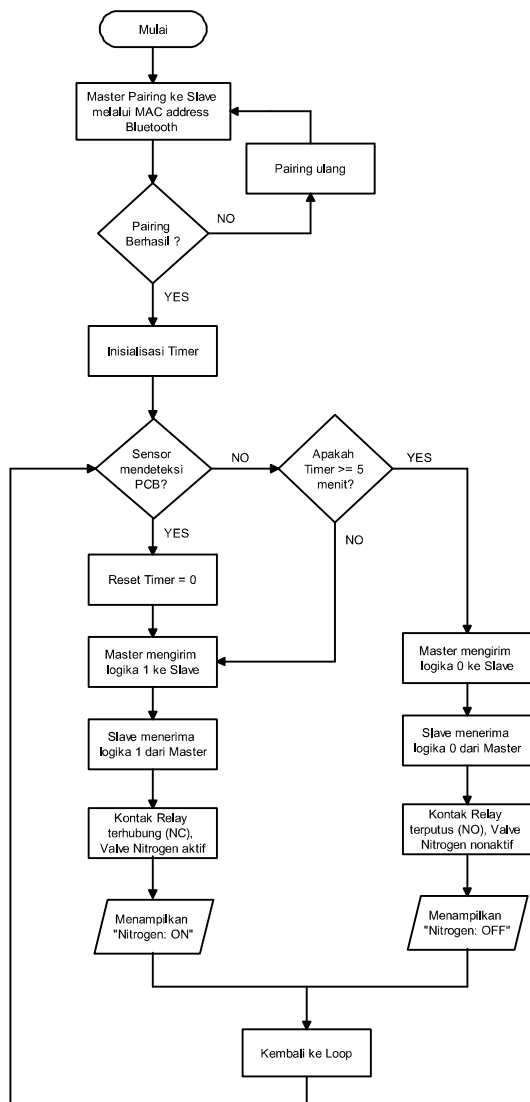


Gambar 7. Blok Diagram

1. **Sensor Photoelektrik:** Mendeteksi PCB pada conveyor di area line SMT.
2. **Mikrokontroler ESP32 (Master):** Menerima sinyal dari sensor dan kemudian memproses sinyal tersebut untuk dikirim ke ESP32 (Slave).
3. **Komunikasi Bluetooth:** Saluran komunikasi *wireless* antara mikrokontroler ESP32 (Master) dan ESP32 (Slave).
4. **Mikrokontroler ESP32 (Slave):** Menerima sinyal dari ESP32 (Master) kemudian memproses sinyal menjadi perintah.
5. **Relay:** Menerima sinyal dari Slave untuk mengontrol *solenoid valve* gas nitrogen.
6. **Solenoid Valve:** Katup yang digunakan untuk mengatur aliran gas nitrogen.
7. **LCD:** Menampilkan informasi yang dibutuhkan terkait sistem.

G. Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 8 menjelaskan keseluruhan alur proses sistem kerja pada alat yang dirancang.



Gambar 8. Flowchart Sistem Kerja Alat

Flowchart pada Gambar 8 menggambarkan alur kerja pada sistem pengendalian gas nitrogen otomatis dalam mengontrol *solenoid valve* gas nitrogen berdasarkan deteksi PCB dengan komunikasi antara Master dan Slave melalui Bluetooth. Berikut adalah penjelasan alur kerja sistem:

1. Inisialisasi Sistem

Master menghubungkan diri ke Slave melalui Bluetooth. Jika gagal, Master akan terus mencoba hingga koneksi berhasil.

2. Deteksi PCB dan Pengaktifan Gas Nitrogen

- Setelah koneksi berhasil, Master membaca sensor untuk mendeteksi PCB.
- Jika PCB terdeteksi, timer direset ke 0 dan Master mengirim logika 1 ke Slave.
- Jika PCB tidak terdeteksi namun timer kurang dari 5 menit, Master tetap mengirim logika 1.
- Slave menerima data dari Master dan kemudian mengaktifkan relay sehingga *solenoid valve* gas nitrogen terbuka (ON).

3. Penghentian Gas Nitrogen

- Jika PCB tidak terdeteksi namun timer lebih atau sama dengan dari 5 menit, Master mengirimkan logika 0 ke Slave.
- Slave menerima data dari Master dan kemudian menonaktifkan relay, sehingga *solenoid valve* gas nitrogen nitrogen tertutup (OFF).

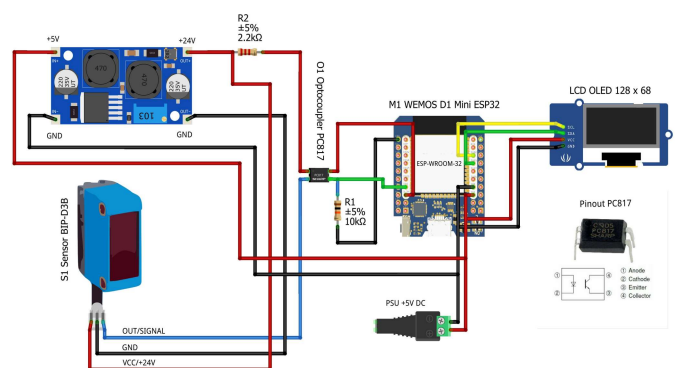
4. Sistem Berulang (Looping)

- Sistem terus berjalan untuk memastikan gas nitrogen hanya aktif saat diperlukan.

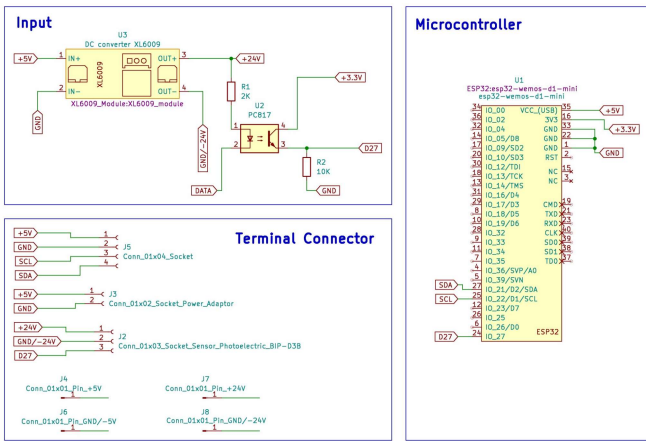
H. Perancangan Elektrikal

Pada penelitian ini, perancangan elektrikal dilakukan untuk mendukung perancangan Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP32, yang mana sudah memiliki fitur Bluetooth dan WiFi yang terintegrasi dalam satu modul. Selain itu, ukurannya yang mini memungkinkan integrasi yang lebih efisien dalam ruang terbatas. Perancangan elektrikal ini terdiri dari dua rangkaian utama, yaitu rangkaian Master yang berfungsi sebagai pengirim dan rangkaian Slave yang berfungsi sebagai penerima.

1. Rangkaian Master



Gambar 9. Elektrikal Wiring Diagram Master



Gambar 10. Skematik Diagram Modul Master

Rangkaian Master adalah rangkaian yang berfungsi mengirim data ke rangkaian Slave. Master akan menerima sinyal hasil pembacaan *photoelectric sensor* yang kemudian diproses oleh ESP32 dan menghasilkan sebuah output sinyal yang akan dikirim ke Slave melalui komunikasi Bluetooth. Rangkaian Master ini terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain:

1. **Wemos D1 mini ESP32**

Merupakan jenis mikrokontroler yang menggunakan chip Xtensa LX6 dual-core 32-bit. Komponen ini berfungsi sebagai otak sistem atau pemroses utama pada modul Master. Pada mikrokontroler ini juga dilengkapi 2 pilihan jenis Bluetooth, yaitu Bluetooth Classic/BR-EDR dan Bluetooth Low Energy/BLE serta terintegrasi dengan WiFi 802.11 b/g/n.

2. **Sensor Photoelektrik**

Sensor yang digunakan adalah *photoelectric sensor* BION BIP-D3B, yang memiliki spesifikasi tegangan input sebesar 10-28 VDC dengan tipe sensor NPN (Negatif Positif Negatif). Output dari sensor ini kemudian dihubungkan dengan pin katoda dari LED optocoupler PC817.

3. **Optocoupler PC817**

Optocoupler PC817 berfungsi sebagai jembatan isolasi antara *photoelectric sensor* dan ESP32, memungkinkan sinyal data dari *photoelectric sensor* diterima dan diteruskan ke ESP32 dengan tegangan yang sesuai, yaitu 3.3 VDC pada pin collector-emitter, sehingga tidak melebihi batas aman input ESP32.

4. **Modul Step Up XL6009**

Modul Step Up XL6009 digunakan untuk menaikkan tegangan power utama pada modul Master dari 5 VDC menjadi 24 VDC, sehingga memenuhi kebutuhan tegangan yang diperlukan oleh komponen-komponen pada modul Master.

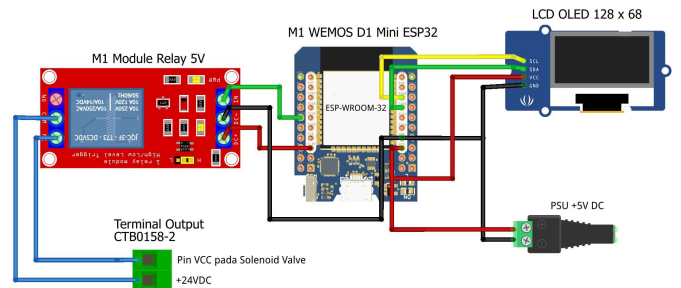
5. **Resistor**

Resistor 2kΩ berfungsi sebagai pembatas arus dari output tegangan step-up XL6009 menuju IR LED internal pada optocoupler PC817 (pin anoda dan katoda), agar arus yang mengalir tetap aman. Sedangkan resistor 10kΩ berperan sebagai *pull-down* resistor yang memastikan pin digital ESP32 menerima logika 0 saat sensor tidak aktif, dan logika 1 saat sensor aktif.

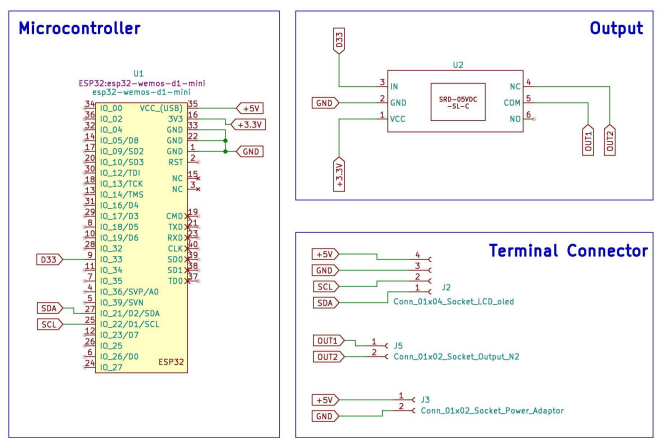
6. **LCD oled 0.96 Inch**

LCD berfungsi menampilkan informasi yang di perlukan oleh sistem, komunikasi yang digunakan pada komponen ini adalah Serial I2C (Inter-Integrated Circuit).

2. Rangkaian Slave



Gambar 11. Elektrikal Wiring Diagram Slave



Gambar 12. Skematik Diagram Modul Slave

Rangkaian Slave adalah rangkaian digunakan untuk menerima data dari Master. Data yang terima kemudian diolah oleh ESP32 Slave menjadi perintah untuk mengontrol *valve* gas nitrogen melalui relay. Pada rangkaian ini terdapat beberapa komponen utama antara lain:

1. **Wemos D1 ESP32 Mini**

Merupakan jenis mikrokontroler yang menggunakan chip Xtensa LX6 dual-core 32-bit. Komponen ini berfungsi sebagai otak sistem atau pemroses utama pada modul Slave. Pada mikrokontroler ini juga dilengkapi 2 pilihan jenis Bluetooth, yaitu Bluetooth Classic/BR-EDR dan Bluetooth Low Energy/BLE serta terintegrasi dengan WiFi 802.11 b/g/n.

2. **Relay 3.3 - 5 VDC Coil**

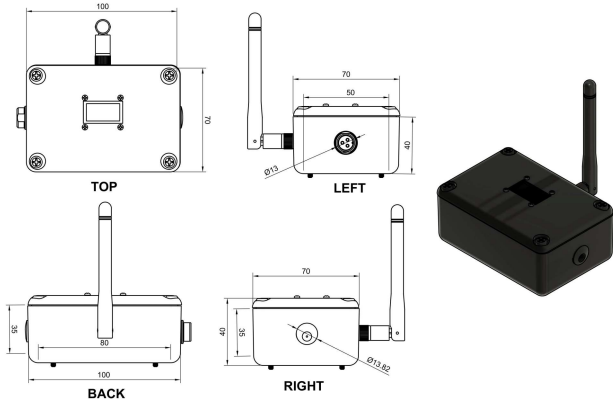
Relay ini berfungsi sebagai penghubung antara ESP32 Slave dan *Solenoid Valve* gas nitrogen, dengan menerima sinyal logika dari ESP32 Slave untuk mengontrol status On-Off *Valve* nitrogen melalui kontak *Normally Closed* (NC) Relay.

3. **LCD oled 0.96 Inch**

LCD berfungsi menampilkan informasi yang di perlukan oleh sistem, komunikasi yang digunakan pada komponen ini adalah Serial I2C (Inter-Integrated Circuit) yang akan terhubung pada pin SCL (Serial Clock Data) dan SDA (Serial Data Line) mikrokontroler.

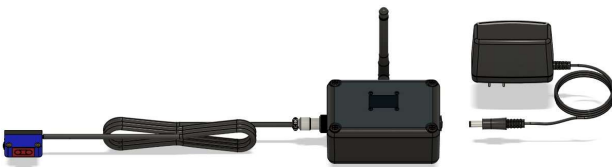
I. Perancangan Mekanikal

Desain mekanikal dari modul Master ditampilkan pada Gambar 13 yang menggambarkan tampilan atas, samping kiri, kanan, serta tampilan 3D. Box ini berukuran $100 \times 70 \times 40$ mm dan dilengkapi dengan lubang konektor untuk adaptor berdiameter 13.82 mm pada sisi kanan, serta lubang konektor GX12 untuk kabel sensor berdiameter 13 mm pada sisi kiri. Bahan yang digunakan adalah plastik ABS tipe X3 yang ringan namun kokoh untuk melindungi komponen elektronik di dalamnya.



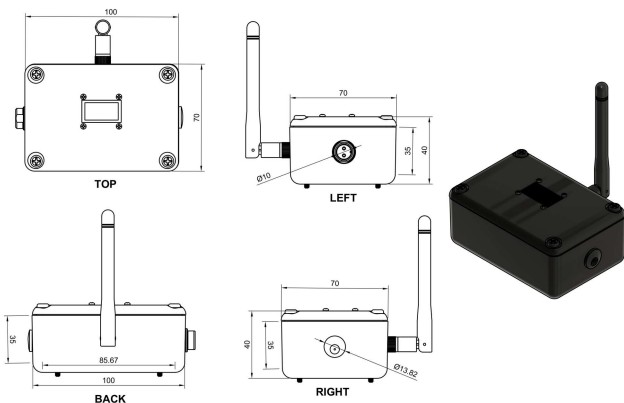
Gambar 13. Dimensi Modul Master

Gambar 14 menunjukkan model perakitan lengkap dari modul Master, termasuk konektor daya dan kabel *output* yang terhubung ke *photoelectric sensor*.



Gambar 14. Assembly Modul Master

Kemudian, Modul Slave memiliki desain fisik yang hampir sama dengan modul Master, dapat dilihat pada Gambar 15 Modul ini juga menggunakan box ABS berukuran $100 \times 70 \times 40$ mm dan dilengkapi dengan lubang konektor untuk adaptor berdiameter 13.82 mm pada sisi kanan, serta lubang konektor GX12 untuk kabel output kontak NC (normally closed) relay berdiameter 10 mm pada sisi kiri. Bahan yang digunakan adalah plastik ABS tipe X3.



Gambar 15. Dimensi Modul Slave

Gambar 16 menunjukkan model perakitan lengkap dari modul Slave, termasuk konektor daya dan kabel *output* yang terhubung ke *valve nitrogen*.



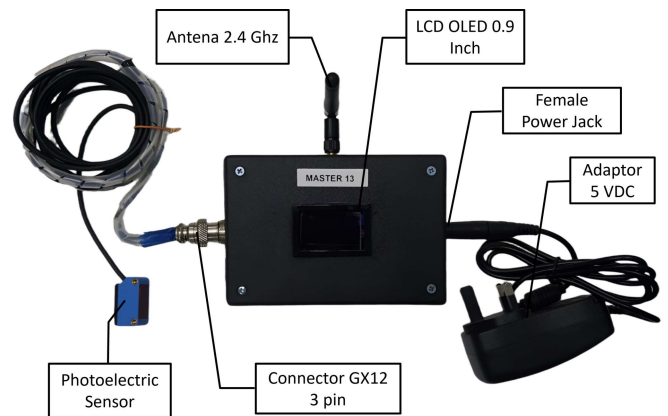
Gambar 16. Assembly Modul Slave

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

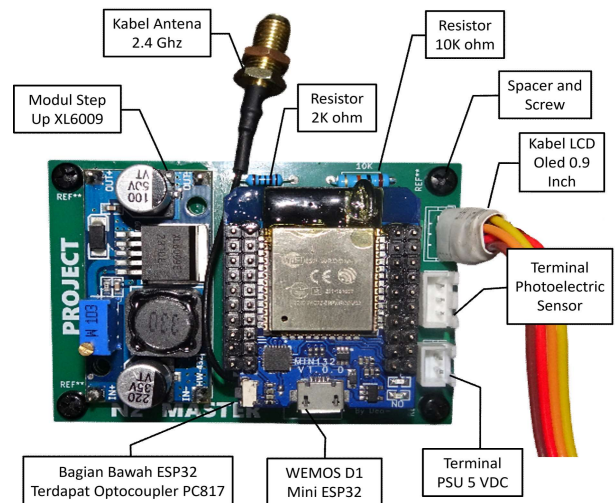
Pada bab ini akan membahas terkait hasil dari perancangan sistem dan pengujian alat yang dibuat. Hal ini bertujuan agar alat yang dibuat sejalan dengan yang di rancanakan.

A. Hasil Perancangan Alat

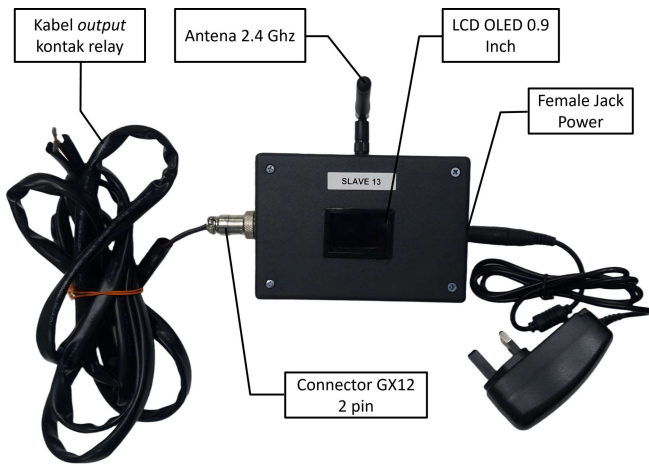
Sistem yang dirancang terdiri atas dua modul utama, yaitu Master sebagai pengirim sinyal dan Slave sebagai penerima. Modul beserta PCB dari Master ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18, sedangkan modul dan PCB dari Slave ditampilkan pada Gambar 19 dan Gambar 20.



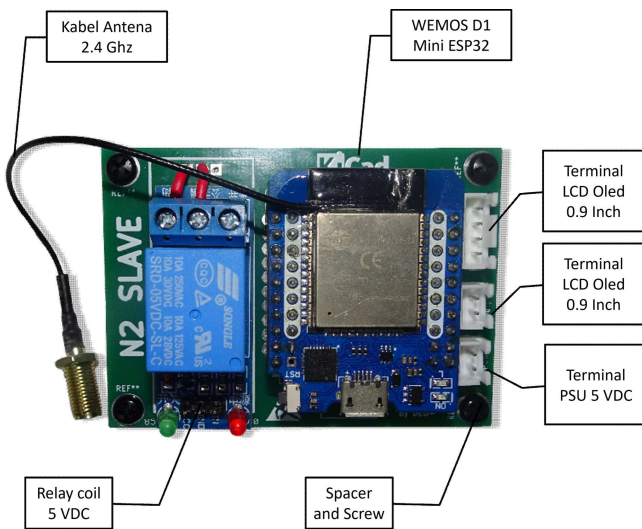
Gambar 17. Modul Master



Gambar 18. PCB Modul Master



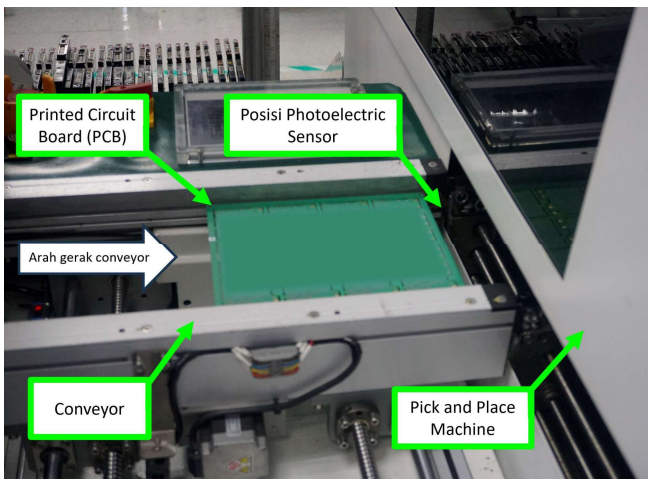
Gambar 19. Modul Slave



Gambar 20. PCB Modul Slave

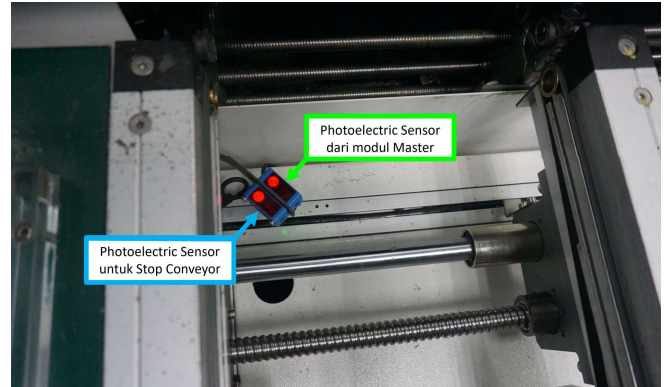
B. Pemasangan Photoelectric Sensor

Pemasangan *photoelectric sensor* dilakukan pada bagian ujung conveyor, tepat setelah proses *solder paste printing*. Penempatan ini dipilih karena area setelah conveyor merupakan proses *pick and place component* yang memiliki keterbatasan ruangan, sehingga tidak memungkinkan untuk pemasangan sensor di area tersebut.



Gambar 21. Conveyor PCB

Selain itu, lokasi tersebut juga sulit dijangkau jika terjadi kerusakan, yang dapat menyulitkan proses perawatan. Dengan menempatkan sensor di ujung conveyor, sistem memperoleh jeda waktu yang cukup agar gas nitrogen pada *reflow oven* mencapai kondisi stabil sebelum komponen memasuki tahap penyolderan. Hal ini diharapkan dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya cacat (*reject*) pada hasil solder.



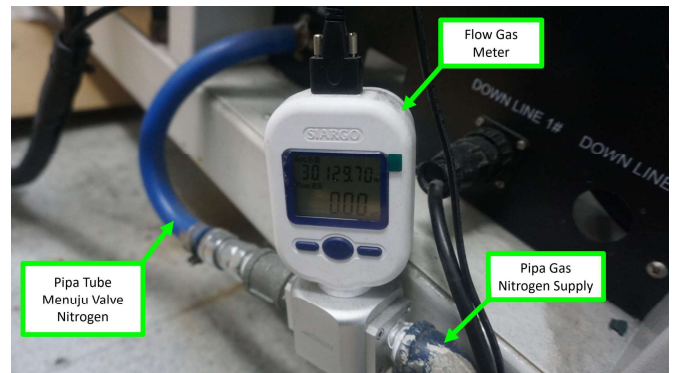
Gambar 22. Posisi photoelectric sensor pada conveyor

Gambar 20 menunjukkan posisi dua *photoelectric sensor* pada sistem conveyor, yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Sensor pertama (ditunjukkan oleh panah hijau) merupakan sensor tambahan yang terhubung dengan modul Master dan berfungsi untuk mendeteksi keberadaan PCB yang akan memasuki proses *pick and place component*. Setiap kali PCB melewati sensor ini, modul Master akan mengirimkan sinyal ke modul Slave untuk mengaktifkan suplai gas nitrogen, sehingga penggunaannya menjadi lebih efisien karena hanya aktif saat diperlukan.

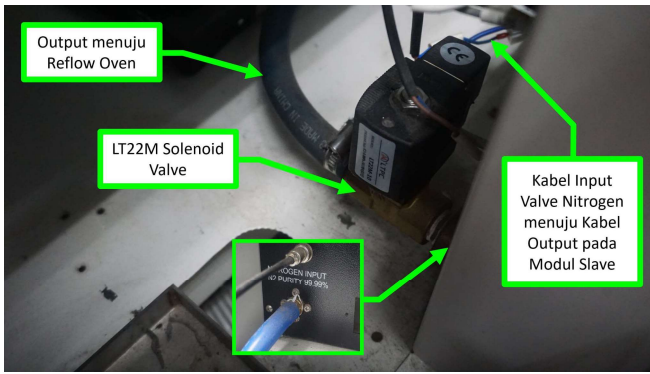
Sementara itu, sensor kedua (ditunjukkan oleh panah biru) merupakan sensor *stopped* bawaan dari sistem conveyor dan tidak termasuk dalam sistem yang dirancang. Sensor ini berfungsi untuk menghentikan pergerakan conveyor apabila masih terdapat PCB yang sedang diproses oleh mesin *pick and place component*. Mekanisme ini bertujuan untuk mencegah terjadinya penumpukan atau tabrakan antar PCB yang dapat mengakibatkan kerusakan.

C. Valve Nitrogen

Valve nitrogen di pasang pada area *reflow oven machine* dimana pada bagian tersebut terdapat pipa suplai gas nitrogen. Posisi pemasangan *valve* gas nitrogen dipasang setelah *flow gas meter*.



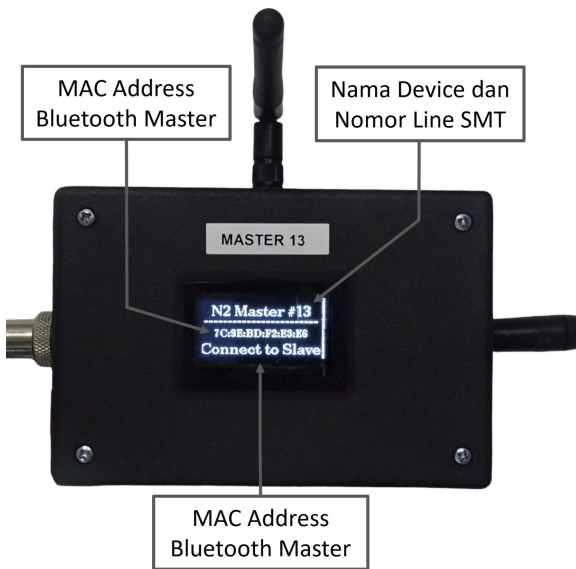
Gambar 23. Layout supply gas nitrogen



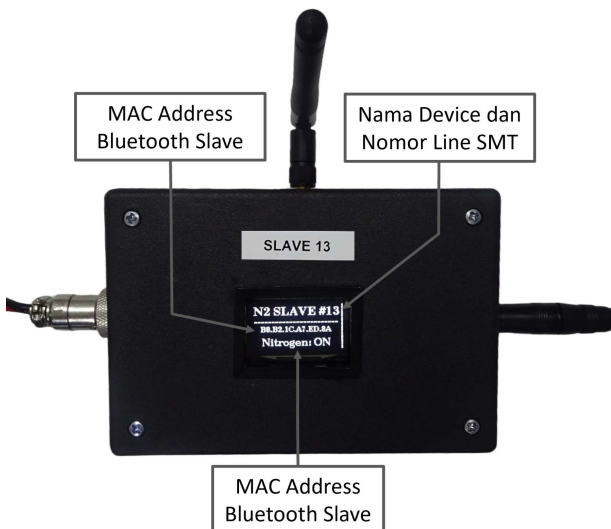
Gambar 24. LT22M Solenoid Valve

D. Tampilan LCD

Tampilan LCD berfungsi untuk memberikan informasi bagi pengguna terkait kondisi sistem. Yang mana informasi tersebut terkait status On-Off valve nitrogen dan koneksi Bluetooth antara modul Master dan Slave (terhubung/tidak terhubung) dapat dilihat pada tampilan tersebut. Dapat dilihat seperti Gambar 23 dan Gambar 24.



Gambar 25. Tampilan LCD Master



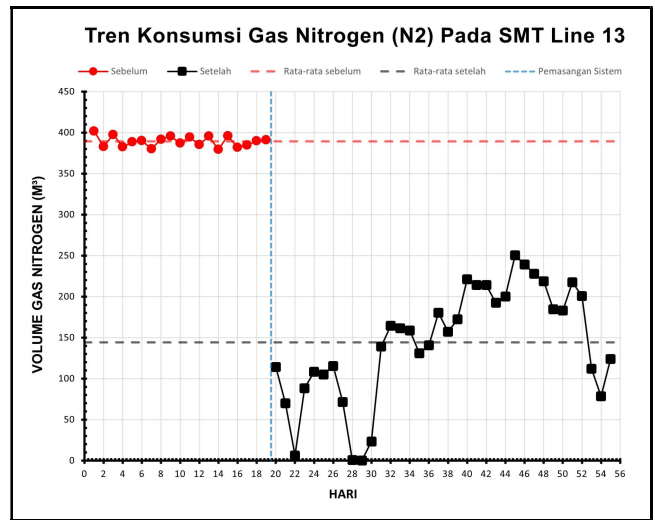
Gambar 26. Tampilan LCD Slave

E. HASIL PENGUJIAN

Untuk mengetahui kinerja sistem yang dirancang maka dilakukan pengujian pada setiap bagiannya, hal ini bertujuan untuk memastikan sistem yang di rancang memiliki efektifitas dalam mengatasi permasalahan yang sedang dihadapi. Pengujian ini dilakukan pada SMT Line 13.

1. Pengujian Konsumsi Gas Nitrogen

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem otomatis dalam mengurangi konsumsi gas nitrogen harian yang tidak diperlukan pada mesin *reflow oven*. Sistem dirancang agar gas nitrogen hanya aktif saat dibutuhkan, sehingga diharapkan penggunaan gas nitrogen lebih efisien. Oleh karena itu, dilakukan pengambilan data pemakaian gas nitrogen sebelum dan sesudah sistem diterapkan sebagai dasar analisis.



Gambar 27. Tren Pemakaian Gas Nitrogen Harian

Dapat dilihat pada Gambar 27 menunjukkan tren grafik data pemakaian gas nitrogen harian sebelum (garis solid merah) dan setelah (garis solid hitam) penerapan Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis. Pada grafik tersebut, sumbu horizontal (x) menunjukkan jumlah hari pengamatan, sedangkan sumbu vertikal (y) menunjukkan volume pemakaian gas nitrogen dalam satuan meter kubik (m^3). Data yang dikumpulkan merupakan hasil pencatatan konsumsi gas nitrogen harian selama 55 hari. Periode pengumpulan data dibagi menjadi dua bagian, yaitu 19 hari pertama data sebelum penerapan sistem otomatis (sebelum) dan 36 hari berikutnya data setelah sistem diterapkan (setelah). Pengambilan data sebelum dan setelah penerapan sistem dilakukan pada hari yang berbeda karena pengujian ini hanya dilakukan pada salah satu Line SMT sehingga tidak memungkinkan pengambilan data secara bersamaan.

Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai perbedaan konsumsi gas nitrogen sebelum dan setelah penerapan Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis. Maka ditampilkan rata-rata pemakaian gas nitrogen pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Pemakaian Gas Nitrogen Harian

Keterangan	Jumlah Hari	Rata-rata Konsumsi Gas Nitrogen Harian (m^3 /hari)
Sebelum Penerapan	19	389.25
Setelah Penerapan	36	144.07

Untuk mengetahui seberapa besar selisih perbedaan antara rata-rata konsumsi gas nitrogen sebelum dan setelah implementasi, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$Selisih = R_{sebelum} - R_{setelah} \quad (1)$$

Berdasarkan Persamaan (1), di peroleh bahwa:

$$Selisih = 389.25 - 144.07 = 245.18 \text{ m}^3$$

Keterangan:

- **Selisih** = hasil pengurangan antara $R_{sebelum} - R_{setelah}$
- $R_{sebelum}$ = rata-rata sebelum penerapan sistem
- $R_{setelah}$ = rata-rata setelah penerapan sistem

Selanjutnya untuk mengetahui persentase penurunan yang dicapai, digunakan persamaan berikut:

$$P_{penurunan}(\%) = \frac{Selisih}{R_{sebelum}} \times 100 \quad (2)$$

Berdasarkan Persamaan (2), diperoleh bahwa:

$$P_{penurunan}(\%) = \frac{245.18}{389.25} \times 100 = 62.98 \%$$

Keterangan:

- $P_{penurunan}$ = persentase penurunan konsumsi gas nitrogen
- **Selisih** = hasil pengurangan antara $R_{sebelum} - R_{setelah}$
- $R_{sebelum}$ = rata-rata sebelum penerapan sistem

Berdasarkan data hasil pengujian konsumsi gas nitrogen sebelum dan setelah pemasangan Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis menunjukkan adanya penurunan konsumsi gas nitrogen yang sangat signifikan. Sebelum sistem ini diterapkan, konsumsi gas nitrogen per hari cenderung stabil dan tinggi, dengan angka yang berkisar antara 379.41 hingga 401.83, dengan rata-rata konsumsi gas nitrogen perhari sebesar 389.25 m³. Hal ini menandakan bahwa gas nitrogen tetap aktif sepanjang waktu meskipun mesin tidak beroperasi. Sistem manual yang bergantung pada pengawasan manusia sering kali menyebabkan kelalaian, sehingga menyebabkan gas nitrogen tetap aktif selama 24 jam meskipun sedang tidak digunakan. Namun, setelah sistem pengendalian otomatis dipasang, pola konsumsi gas nitrogen berubah dengan lebih banyak fluktuasi, mulai dari 0 hingga 221,1. rata-rata konsumsi gas nitrogen perhari sebesar 144.07 m³. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa gas nitrogen hanya aktif ketika sensor mendeteksi PCB, serta mati otomatis saat tidak ada aktivitas. Penurunan konsumsi gas nitrogen yang sangat drastis ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang efektif dalam mengurangi pemborosan gas nitrogen, dengan penurunan konsumsi gas nitrogen mencapai 62.98% dibandingkan sistem manual. Hal ini menunjukkan bahwa Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis lebih efisien dalam mengatur penggunaan gas nitrogen, sehingga mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual, dan memastikan gas nitrogen hanya digunakan saat dibutuhkan.

2. Pengujian Durasi Komunikasi Bluetooth

Pengujian durasi komunikasi Bluetooth bertujuan untuk mengevaluasi performa transmisi data antara modul Master dan Slave dalam sistem yang dikembangkan. Fokus utama pengujian ini adalah untuk mengetahui kestabilan dan kecepatan pengiriman data pada berbagai jarak, guna

memastikan sistem dapat beroperasi secara andal dalam kondisi lingkungan yang dibutuhkan. Proses pengujian dilakukan di area *indoor* produksi perusahaan. Metode perbandingan *timestamp* digunakan untuk mengukur waktu komunikasi Bluetooth dari Master menuju Slave. Setiap jarak diuji sebanyak 100 kali untuk memperoleh data yang representatif terhadap kondisi sebenarnya. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk tabel dan divisualisasikan melalui grafik agar pola perubahan durasi pengiriman data terhadap jarak dapat diamati dengan lebih jelas dan memudahkan proses analisis. Pada Tabel 3 dapat dilihat data pengujian durasi komunikasi Bluetooth pada modul Master-Slave.

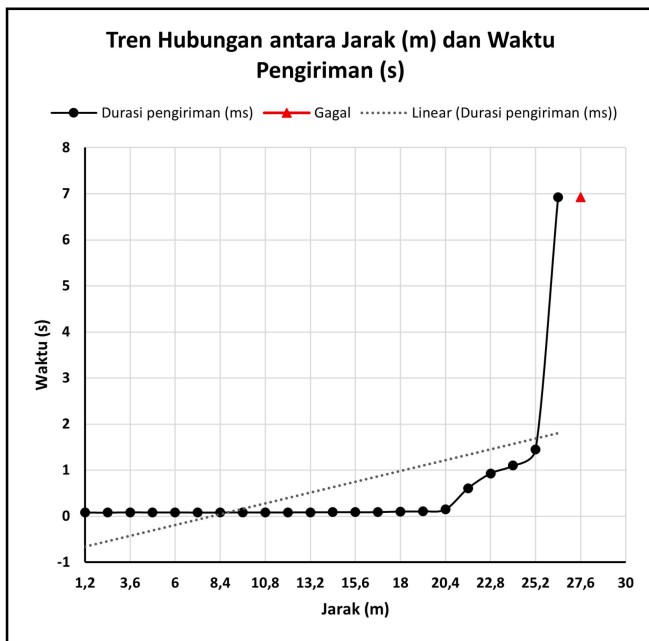
Tabel 3. Durasi Pengiriman Data dari Master - Slave

No	Jarak (m)	Rata-rata Durasi Pengiriman (ms)	Kategori Delay	Status
1	1.2	81.46	VG	Berhasil
2	2.4	79.26	VG	Berhasil
3	3.6	85.35	VG	Berhasil
4	4.8	82.01	VG	Berhasil
5	6	82.66	VG	Berhasil
6	7.2	81.23	VG	Berhasil
7	8.4	81.83	VG	Berhasil
8	9.6	83.53	VG	Berhasil
9	10.8	82.79	VG	Berhasil
10	12	83.48	VG	Berhasil
11	13.2	85.65	VG	Berhasil
12	14.4	88.06	VG	Berhasil
13	15.6	87.99	VG	Berhasil
14	16.8	89.41	VG	Berhasil
15	18	102.73	VG	Berhasil
16	19.2	107.63	VG	Berhasil
17	20.4	149.92	VG	Berhasil
18	21.6	606.19	B	Berhasil
19	22.8	928.62	B	Berhasil
20	24	1099.2	B	Berhasil
21	25.2	1450.3	B	Berhasil
22	26.4	6925.5	B	Berhasil
23	27.6	-	B	Gagal

Tabel 4. Kategori Klasifikasi Delay [16]

Kategori	Singkatan	Rentang Delay
Very Good	VG	< 150 ms
Good	G	150 ms hingga < 300 ms
Medium	M	300 ms hingga 450 ms
Bad	B	> 450 ms

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 3, diperoleh bahwa pada rentang jarak 1.2 meter hingga 16.8 meter, durasi pengiriman data relatif stabil, yaitu berkisar antara 79.26 ms hingga 89.41 ms. Sementara itu, pada jarak 18 meter hingga 20.4 meter, mulai terjadi peningkatan durasi secara bertahap, dari 102.73 ms hingga mencapai 149.92 ms. Seluruh rentang jarak tersebut masih berada dalam batas kategori Sangat Bagus (Very Good) Berdasarkan klasifikasi pada Tabel 4, Selanjutnya, ketika jarak mencapai 21.6 meter dan lebih, peningkatan durasi pengiriman data terjadi secara signifikan, dengan nilai mencapai 606.19 ms pada jarak 21.6 meter, kemudian meningkat menjadi 928.62 ms pada jarak 22.8 meter, 1099.2 ms pada jarak 24 meter, 1450.3 ms pada jarak 25.2 meter, dan mencapai 6925.5 ms pada jarak 26.4 meter. Berdasarkan klasifikasi pada Tabel 4, rentang ini termasuk dalam kategori Jelek (Bad). Selain itu, pada jarak 27.6 meter, komunikasi antar perangkat gagal, yang menandakan bahwa koneksi antar perangkat sudah berada diluar batas efektif jangkauan Bluetooth pada sistem yang dirancang.



Gambar 28. Tren Hubungan Jarak dengan Durasi Pengiriman

Untuk mendukung pemahaman terhadap hasil pengujian, disajikan grafik hubungan antara jarak dengan rata-rata durasi pengiriman data pada Gambar 28. Grafik tersebut memperlihatkan adanya tren peningkatan durasi pengiriman secara bertahap, yang kemudian meningkat drastis setelah melewati jarak 20.4 meter. Dari grafik ini dapat diidentifikasi titik kritis performa sistem, yaitu mulai dari jarak 20.4 meter ke atas, di mana komunikasi mulai tidak stabil dan mengalami penundaan signifikan. Tanda segitiga merah pada grafik menunjukkan jarak 27.6 meter sebagai titik terjauh yang diuji, di mana komunikasi antar perangkat gagal dilakukan, menandakan sistem sudah berada di luar jangkauan efektif Bluetooth.

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan, sistem yang dikembangkan untuk beroperasi pada jarak 12 meter, menunjukkan kinerja yang stabil dan efektif dalam pengujian, dengan rata-rata durasi pengiriman data sebesar 83.48 milidetik (0.08348 detik) dan termasuk dalam kategori *Very Good* (VG). Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat diandalkan untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan komunikasi Bluetooth pada jarak pendek hingga menengah. Untuk kebutuhan komunikasi pada jarak yang lebih jauh, disarankan penggunaan teknologi nirkabel lain atau modul penguat sinyal untuk menjaga kualitas komunikasi. Dengan demikian, analisis ini menunjukkan bahwa jarak komunikasi Bluetooth memiliki pengaruh terhadap kualitas transmisi data, dan sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang efektif dalam jarak yang dirancang.

3. Pengujian Receiver Signal Strength Indicator (RSSI) Bluetooth

Receiver Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan indikator yang menunjukkan seberapa kuat sinyal yang diterima oleh perangkat, di mana nilainya dinyatakan dalam satuan desibel miliwatt (dBm) dan bernilai negatif. Semakin tinggi nilai RSSI (mendekati nol), maka semakin kuat sinyal yang diterima. Sebaliknya, semakin rendah nilai RSSI (menjauhi 0), maka semakin lemah sinyal tersebut. Pengujian RSSI ini penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana

perangkat dapat saling berkomunikasi secara stabil dan optimal dalam berbagai jarak. Pengukuran dilakukan menggunakan aplikasi *Bluetooth Signal Meter*, dan dilakukan di area *indoor* pada area produksi SMT yang menggambarkan kondisi operasional sistem sebenarnya. Pengujian ini dilakukan sebanyak 23 titik dengan jarak bertahap dari 1.2 meter hingga 27.6 meter. Pada setiap titik, dilakukan 20 kali pengukuran nilai RSSI baik dari sisi master maupun slave, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.

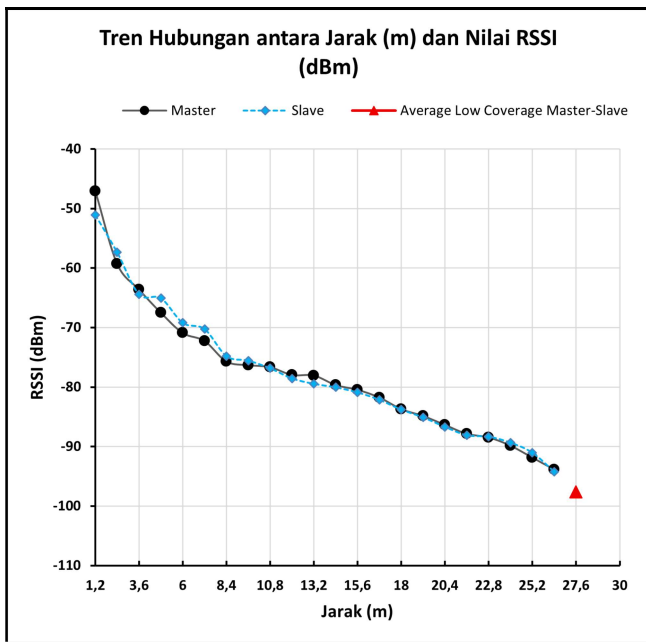
Tabel 5. Data Pengujian RSSI Bluetooth

No	Jarak (m)	Rata-rata Nilai RSSI (dBm)		Keterangan	
		Master	Slave	Master	Slave
1	1.2	-47.05	-51.05	VG	VG
2	2.4	-59.3	-57.35	VG	VG
3	3.6	-63.6	-64.4	VG	VG
4	4.8	-67.5	-65.05	VG	VG
5	6	-70.9	-69.2	G	VG
6	7.2	-72.25	-70.25	G	G
7	8.4	-75.7	-74.8	G	G
8	9.6	-76.3	-75.55	G	G
9	10.8	-76.65	-76.85	G	G
10	12	-77.95	-78.55	G	G
11	13.2	-78.05	-79.45	G	G
12	14.4	-79.65	-80.05	G	G
13	15.6	-80.45	-80.9	G	G
14	16.8	-81.75	-82.15	G	G
15	18	-83.7	-83.8	G	G
16	19.2	-84.85	-85.1	G	G
17	20.4	-86.35	-86.7	F	F
18	21.6	-87.85	-88.1	F	F
19	22.8	-88.45	-88.35	F	F
20	24	-89.85	-89.35	F	F
21	25.2	-91.85	-91.05	F	F
22	26.4	-93.85	-94.25	F	F
23	27.6	-97.5	-97.65	F	F

Tabel 6. Kategori Klasifikasi Sinyal RSSI [17]

Kategori	Rentang Nilai RSSI	Keterangan
Very Good (VG)	> -70 dBm	Sinyal sangat kuat dan stabil
Good (G)	-70 dBm hingga -85 dBm	Sinyal kuat dan cukup stabil.
Fair (F)	-86 dBm hingga -100 dBm	Sinyal cukup, namun mulai menunjukkan potensi gangguan
Poor (P)	<-100 dBm	Sinyal lemah dan tidak stabil

Berdasarkan hasil pengujian, di peroleh bahwa rentang antara jarak 1.2 meter hingga 4.8 meter nilai RSSI untuk modul master berkisar antara -47.05 dBm hingga -67.5 dBm dan pada jarak 1.2 meter hingga 6 meter untuk modul slave berkisar antara -51.05 dBm hingga -69.2 dBm, yang mana sinyal kedua modul tersebut tergolong sangat kuat dan masuk kedalam kategori *Very Good*. Memasuki jarak 6 meter hingga 19.2 meter nilai RSSI pada modul master berkisar antar -70.9 dBm hingga -84.85 dBm dan pada jarak 7.2 meter hingga 19.2 meter untuk modul slave berkisar antara -70.25 dBm sampai -85.1 dBm, yang mana sinyal kedua modul tersebut tergolong kuat dan masuk kedalam kategori *Good*. Kemudian, pada jarak 20.4 meter hingga 27.6 meter nilai RSSI pada modul master berkisar antara -86.35 dBm hingga -97.5 dBm dan pada modul slave berkisar antara -86.7 dBm hingga -97.65 dBm, dimana sinyal kedua modul tersebut tergolong cukup, namun mulai menunjukkan potensi gangguan dan masuk kedalam kategori *Fair*.



Gambar 29. Tren hubungan jarak dengan nilai RSSI

Untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap hasil pengujian, ditampilkan grafik yang menggambarkan hubungan antara jarak dengan nilai RSSI pada modul Master dan Slave. Pada Gambar 29 grafik menunjukkan adanya tren penurunan nilai RSSI yang konsisten pada kedua modul seiring dengan bertambahnya jarak. Dalam grafik tersebut, garis berwarna hitam merepresentasikan nilai RSSI pada modul Master, sedangkan garis biru menggambarkan nilai RSSI pada modul Slave. Selain itu, terdapat tanda segitiga berwarna merah yang menunjukkan status gagal komunikasi pada titik jarak 27.6 meter dengan nilai RSSI -97.5 dBm pada modul Master dan -97.65 dBm pada modul Slave. Berdasarkan Tabel 6 Nilai tersebut masih termasuk dalam kategori *Fair*. Namun nilai tersebut sudah mendekati batas kategori *Poor* sehingga kualitas sinyal pada titik ini menjadi lemah dan tidak stabil. Hal ini diperkuat oleh hasil pengujian pada Tabel 3 di mana komunikasi antar perangkat tidak dapat dilakukan pada jarak tersebut.

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan, sistem yang beroperasi pada jarak 12 meter, menunjukkan kinerja yang baik, dimana rata-rata nilai RSSI yang diperoleh dari perangkat Master sebesar -77.95 dBm dan dari Slave sebesar -78.55 dBm. Kedua nilai tersebut masih termasuk dalam kategori *Good* berdasarkan klasifikasi pada Tabel 6 yang menunjukkan bahwa kualitas sinyal kuat dan cukup stabil untuk mendukung komunikasi antara kedua perangkat secara optimal dalam sistem yang dirancang.

4. Pengujian Akurasi Timer pada Modul Master

Pengujian akurasi *timer* pada modul Master dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *timer* internal berbasis *millis()* yang digunakan dalam sistem. *Timer* ini mengandalkan clock internal mikrokontroler, yang mana keakuratan timer tersebut perlu diverifikasi. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa tepat dan andal *timer* internal dalam menghitung waktu, serta mengetahui apakah *timer* ini dapat memenuhi kebutuhan sistem yang dibuat. Dalam sistem ini, *timer* berfungsi untuk menghitung *interval* waktu selama 5 menit (300.000 milidetik) sejak deteksi terakhir oleh sensor.

Metode pengujian dilakukan dengan membandingkan *timestamp* saat timer mulai dan berhenti, sehingga dapat diketahui konsistensi dan akurasi timer dalam menghitung waktu. Berikut pada Tabel 7 merupakan data hasil pengujian kinerja timer pada modul Master.

Tabel 7. Data Pengujian Timer pada Modul Master

Uji ke-	Waktu Aktual (mm:ss:ms)	Error (ms)	Uji ke-	Waktu Aktual (mm:ss:ms)	Error (ms)
1	05:00:308	308	31	05:00:310	310
2	05:00:289	289	32	05:00:340	340
3	05:00:294	294	33	05:00:293	293
4	05:00:276	276	34	05:00:357	357
5	05:00:329	329	35	05:00:298	298
6	05:00:306	306	36	05:00:269	269
7	05:00:273	273	37	05:00:291	291
8	05:00:297	297	38	05:00:324	324
9	05:00:256	256	39	05:00:333	333
10	05:00:317	317	40	05:00:325	325
11	05:00:294	294	41	05:00:318	318
12	05:00:322	322	42	05:00:257	257
13	05:00:306	306	43	05:00:317	317
14	05:00:268	268	44	05:00:360	360
15	05:00:269	269	45	05:00:281	281
16	05:00:287	287	46	05:00:345	345
17	05:00:271	271	47	05:00:299	299
18	05:00:265	265	48	05:00:310	310
19	05:00:289	289	49	05:00:306	306
20	05:00:277	277	50	05:00:292	292
21	05:00:272	272	51	05:00:262	262
22	05:00:286	286	52	05:00:287	287
23	05:00:279	279	53	05:00:293	293
24	05:00:310	310	54	05:00:273	273
25	05:00:319	319	55	05:00:316	316
26	05:00:316	316	56	05:00:323	323
27	05:00:333	333	57	05:00:302	302
28	05:00:301	301	58	05:00:274	274
29	05:00:336	336	59	05:00:296	296
30	05:00:351	351	60	05:00:286	286

Selisih waktu atau error dihitung dengan membandingkan waktu aktual (*timestamp*) yang tercatat dengan waktu yang telah ditentukan (*setpoint*), menggunakan persamaan berikut:

$$Error = W_{aktual} - W_{setpoint} \quad (3)$$

Keterangan:

- **Error** = selisih antara waktu aktual dengan waktu *setpoint*
- **W_{aktual}** = waktu yang sebenarnya diukur
- **$W_{setpoint}$** = waktu target sistem yaitu 5 menit

Selanjutnya, untuk mengevaluasi akurasi timer, dihitung rata-rata *error* menggunakan rumus:

$$RE_{timer} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (4)$$

Berdasarkan Persamaan (4), diperoleh bahwa:

$$RE_{timer} = \frac{18003}{60} = 300.55 \text{ ms}$$

Keterangan:

- **RE_{timer}** = rata-rata error timer
- **E_1, E_2, \dots, E_n** = nilai error timer dari setiap pengujian
- **n** = Total jumlah data pengujian timer

Kemudian untuk melihat persentase *error timer* terhadap *set point timer*, maka dihitung menggunakan rumus:

$$PE_{timer}(\%) = \frac{RE_{timer}}{W_{setpoint}} \times 100 \quad (5)$$

Berdasarkan Persamaan (5), diperoleh bahwa:

$$PE_{timer}(\%) = \frac{300.55}{300000} = 0.1\%$$

Keterangan:

- $PE_{timer}(\%)$ = selisih waktu aktual dengan waktu setpoint
- RE_{timer} = rata-rata error timer
- $W_{setpoint}$ = waktu target sistem yaitu 5 menit

Dan untuk menghitung persentase akurasi *timer*, maka dihitung menggunakan rumus:

$$PA_{timer}(\%) = 100\% - PE_{timer} \quad (6)$$

Berdasarkan Persamaan (6), diperoleh bahwa:

$$PA_{timer}(\%) = 100\% - 0.1\% = 99.9\%$$

Keterangan:

- $PA_{timer}(\%)$ = persentase akurasi timer (%)
- $PE_{timer}(\%)$ = persentase error timer (%)

Dengan demikian, pengujian *timer* internal berbasis *millis()* yang dilakukan selama 5 jam dengan jumlah pengujian sebanyak 60 kali menunjukkan bahwa *timer* ini memiliki kinerja yang cukup akurat. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata *error* yang dihasilkan hanya sebesar 300.55 ms atau 0.3 detik dari total durasi 5 menit, yang setara dengan persentase *error* sebesar 0.1%. Meskipun masih terdapat *error*, tingkat keakuratan *timer* mencapai 99.9% yang menandakan bahwa fluktuasi waktu yang terjadi sangat kecil dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hasil ini menandakan bahwa *timer* internal berbasis *millis()* bekerja dengan baik pada Sistem Pengendalian Gas Nitrogen Otomatis. Dengan keandalan dan akurasi yang ditunjukkan, *timer* ini dapat diandalkan untuk memastikan operasional sistem berjalan lancar dan efisien.

5. Pengujian Sensor Photoelektrik

Pengujian *photoelectric sensor* dilakukan untuk memastikan bahwa sensor tersebut mampu mendeteksi objek dengan baik pada jarak yang diperlukan. Pada sistem ini, sensor digunakan untuk mendeteksi setiap PCB yang melewati conveyor, dengan jarak antara sensor dan PCB sebesar 14 cm. Berikut ini pada Tabel 8 merupakan hasil pengujian jarak deteksi sensor photoelektrik.

Tabel 8. Pengujian Jarak Deteksi Sensor Photoelektrik

No	Jarak (cm)	Status Deteksi	Keterangan
1.	0.5	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
2.	1	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
3.	5	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
4.	10	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
5.	15	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
6.	20	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
7.	25	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
8.	29	Terdeteksi	Sensor dapat mendeteksi PCB
9.	30	Tidak terdeteksi	Sensor tidak mendeteksi PCB

Berdasarkan Tabel 8 hasil pengujian dapat dilihat bahwa *photoelectric sensor* dapat mendeteksi PCB dengan baik pada jarak 0.5 cm hingga 29 cm. Pada jarak 30 cm sensor

tidak dapat lagi mendeteksi PCB. Dapat disimpulkan bahwa *photoelectric sensor* dapat mendeteksi objek dengan jarak efektif hingga 29 cm. Pada sistem yang dirancang, jarak antara sensor dan PCB adalah 14 cm, yang mana jarak tersebut masih berada dalam jarak efektif deteksi sensor. Oleh karena itu *photoelectric sensor* dapat diandalkan untuk mendeteksi PCB pada sistem yang dirancang.

IV. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Sistem Kendali Otomatis *Valve Nitrogen* Berbasis Komunikasi Bluetooth Untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Nitrogen (N₂) Pada Proses *Reflow Oven* SMT di PT XYZ. Sistem mampu mengurangi konsumsi gas nitrogen harian sebesar 62.98%, dibandingkan sistem manual sebelumnya. Kemudian komunikasi yang digunakan antara modul Master dan Slave mampu mentransmisikan data secara stabil pada jarak operasional 12 meter dengan durasi rata-rata 83.48 milidetik dengan kategori *Very Good*, serta kekuatan sinyal (RSSI) sebesar -77.95 dBm (Master) dan -78,55 dBm (Slave) yang tergolong dalam kategori *Good*. Kemudian timer berbasis *millis()* yang digunakan memiliki akurasi yang sangat bagus mencapai 99.9% dalam penghitungan *timer* selama 5 menit. *Photoelectric sensor* yang digunakan dapat mendeteksi PCB hingga jarak 29 cm, melebihi kebutuhan sistem yaitu 14 cm. Hasil ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang memberikan solusi efektif dalam mengurangi pemborosan gas nitrogen, mengatasi kelemahan sistem manual, serta meningkatkan efisiensi dan keandalan proses produksi pada sektor manufaktur elektronik di PT.XYZ.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. R. Insights, "Electronics Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (Entertainment Devices, Communications Devices, Home-office Devices & Others), By Application (Household, Office & School & Others), and Regional Forecast to 2033," Business Research Insights. Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: source:https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/electronics-market-117477
- [2] H. T. Anaam K I and P. A. Y. W. Pranata R Y, Abdullah h, "Pengaruh Trend Otomasi Dalam Dunia Manufaktur dan Industri," Vocat. Educ. Natl. Semin., vol. 1, no. 1, pp. 46–50, 2022.
- [3] V. W. C. Fung and K. C. Yung, "An intelligent approach for improving printed circuit board assembly process performance in smart manufacturing," Int. J. Eng. Bus. Manag., vol. 12, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1177/1847979020946189.
- [4] N. H. Batubara et al., "Efektivitas ContraFlux-FM dan Isopropyl Alcohol Pada Proses Preventive Maintenance Dari Mesin Reflow," Innov. J. Soc. Sci. Res., vol. 4, no. 1, pp. 5635–5643, 2024, doi: 10.31004/innovative.v4i1.7919.
- [5] X. Zhao, P. Lehrer, and D. Heller, "Fluxless Reflow Technology for Combination Fine-Pitch and SMT-Level Component Attach," Rocoedings SMTA Int. Oct 20 - 24, 2024, Rosemont, IL, USA., 2024.
- [6] N. Padole, S. Adhau, and A. Kadu, "Intelligent automation based gas valve control mechanism in biogas plant," Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Sustain. Syst. ICISS 2020, pp. 611–615, 2020, doi: 10.1109/ICISS49785.2020.9315847.
- [7] F. Silva et al., "On/Off Control Versus PID Control: A Comparative Case Study On Condensers of Cooling Systems," 4th Int. Conf. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. [Internet], no. December, 2022, doi: 10.33422/4th.raseconf.2022.09.48.
- [8] Y. Zulrahma and R. H. Triyanto, "Pengendalian Temperatur Fluida dengan Menggunakan Kontrol On-Off Berbasis IoT," J. Instrum. Hardw., vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2024.
- [9] L. Lestari, S. Syahwin, and T. Haramaini, "Pemanfaatan Teknologi Internet of Things untuk Kendali Lampu menggunakan Android," Blend Sains J. Tek., vol. 2, no. 2, pp. 112–124, 2023, doi:

10.56211/blendsains.v2i2.312.

- [10] R. W. Kusuma, D. Faiza, and S. Anori, "Automatic Light Control System for Bathroom Using Arduino Uno," *J. Hypermedia Technol. Learn.*, vol. 2, no. 3, pp. 214–228, 2024.
- [11] C. Tåqvist and J. Luks, "Analysis of effective energy consumption of Bluetooth Low Energy versus Bluetooth Classic," *Digit. Vetenskapliga Ark.*, 2022.
- [12] E. Anthi, L. Williams, V. Ieropoulos, and T. Spyridopoulos, "Investigating Radio Frequency Vulnerabilities in the Internet of Things (IoT)," *Internet of Things*, vol. 5, no. 2, pp. 356–380, 2024, doi: 10.3390/iot5020018.
- [13] T. Martono and K. Martono, "Comparative Analysis on the Performance of Bluetooth 3.0 and Bluetooth 4.0 in the monitoring system of Toddler Growth," *J. Sist. Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [14] D. C. da Cruz Junior and M. V. Junior, "Proposed checklist for the implementation of the SMT component assembly process Proposta de lista de verificação para a implementação do processo de montagem de componentes com tecnologia SMT Lista de comprobación propuesta para la implementación del proc," *Rev. Gestão e Secr.*, vol. 15, no. 10, pp. 1–24, 2024.
- [15] D. B. Anitha and M. K. Rao, "SMT component inspection in PCBA's using image processing techniques," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 8, no. 12, pp. 541–547, 2020, doi: 10.35940/ijitee.L3422.1081219.
- [16] A. Basri and B. Yuliadi, "Wireless Network Bandwidth Quality Measurement Using Qos Standard Tiphon," *PIKSEL Penelit. Ilmu Komput. Sist. Embed. Log.*, vol. 11, no. 2, pp. 283–292, 2023, doi: 10.33558/piksel.v11i2.7109.
- [17] A. Maulana and W. Sulisty, "Analisis Kualitas Signal Wireless Menggunakan Received Signal Strength Indicator (Rssi) Di Smp Negeri 10 Salatiga," *IT-Explore J. Penerapan Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 3, no. 1, pp. 63–78, 2024, doi: 10.24246/itexplore.v3i1.2024.pp50-65.