

# OPTIMASI PROSES *STITCHING CHAFER* DALAM MENGURANGI *DEFECT BLOWN BEAD TOE GREEN TIRE* MENGGUNAKAN PLC SIEMENS

Yoga Sanjaya<sup>1\*</sup>, Henri P. Uranus<sup>2</sup>, Julinda Pangaribuan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan; Jl. M. H. Thamrin Boulevard 1100 Lippo Village Tangerang 15811 Indonesia; Telp (021) 546 0901

## Keywords:

*Stitching Chafer;  
Blown Bead Toe;  
Green Tire;*

*Intisari— Tulisan ini membahas mengenai modifikasi sistem stitcher chafer otomatis berbasis PLC Siemens pada fabrikasi ban. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi. Tujuan dari perancangan sistem ini adalah untuk mengurangi cacat Blown Bead Toe yang disebabkan oleh adanya udara pada Joint Chafer. Penelitian ini berfokus pada penggunaan Proportional Valve dan motor AC sebagai komponen kunci dalam proses ini. Dengan sistem ini, diperoleh cacat pada Blown Bead Toe berkurang sebesar 78%.*

## Correspondent Email:

01035230013@student.uph.edu



Copyright © **JITET** (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

*Abstract— This paper discusses the modification of the Siemens PLC-based automatic stitcher chafer system in tire fabrication. This system is designed to increase efficiency. The aim of designing this system is to reduce Blown Bead Toe defects caused by the presence of air in the Joint Chafer. This research focuses on the use of Proportional Valve and AC motor as key components in this process. With this system, defects in Blown Bead Toe were reduced by 78%.*

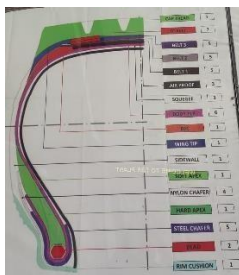
## 1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan ban adalah salah satu kegiatan manufaktur yang paling penting dalam industri otomotif. Pada proses pembuatan ban, terdapat berbagai macam proses yang harus dilalui [1]. Ban berfungsi sebagai elemen penghubung antara kendaraan dan jalan, yang berarti kualitas dan performanya sangat berpengaruh pada keselamatan, kenyamanan, serta efisiensi berkendara. Ban harus mampu menghadapi berbagai kondisi lingkungan, beban berat, dan kecepatan tinggi,

sehingga dalam proses produksinya diperlukan kombinasi teknologi, ilmu material, dan standar kualitas yang ketat.

Pada PT. YS, dalam memproduksi ban terdapat 4 bagian. Yang pertama bagian material yaitu tempat produksi berbagai macam komponen penyusun ban, seperti *Tread, Sidewall, Belt Edge Cushion, Bead, Inner Liner, Steel Chafer, Nylon Chafer, Steel Belt, Body Ply*. Berikutnya, ada bagian *Building* yaitu tempat penggabungan (*Assembly*)

material yang telah diproduksi oleh bagian Material menjadi ban setengah jadi (*Green Tire*). Kemudian, ada bagian *Curing* yaitu tempat pemasakan *Green Tire* menjadi ban. Selanjutnya, ada bagian *Final Inspection* yaitu tempat melakukan pengecekan kualitas ban, seperti pengecekan fisik, keseimbangan, dan *defect* yang muncul pada ban sehingga kualitasnya terjamin. Setiap material mempunyai kemungkinan untuk menghasilkan *defect*, termasuk *Bead*. *Bead* adalah bagian dari ban yang terbuat dari kawat baja dan dilapisi dengan karet yang keras. Bagian ini terletak di sepanjang tepi dalam ban, seperti bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Tire

Salah satu *defect* pada ban yaitu *defect Blown Bead Toe* yang terdapat pada *Bead*. *Blown Bead Toe* pada ban adalah istilah yang merujuk pada kerusakan yang terjadi pada bagian *bead* dari ban, khususnya di area "*toe*" (ujung). *Blown Bead Toe* ini terdapat pada bagian *Building* yang disebabkan oleh sambungan *Steel Chafer* yang kurang rapat sehingga ada udara yang terjebak. Bentuk *defect Blown Bead Toe* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Defect BBT

Pada *Steel Chafer*, terdapat proses *Stitching Chafer* yang masih dilakukan *manual* dengan *handroll stitcher* berpotensi menimbulkan *defect Blown Bead Toe*. Data yang telah diambil dari produksi PT. YS bulan Juni 2024 – Agustus 2024, didapat rata-rata

*defect Blown Bead Toe* per bulannya yaitu 9 ban. Dari permasalahan tersebut, perlu dilakukan modifikasi yaitu sistem *Stitching Chafer* agar tekanan *stitcher* menjadi lebih terukur dan presisi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian berjudul "Rancang Bangun Miniatur Konveyor Pemisah Barang Berdasarkan Tinggi Benda Berbasis PLC Siemens S7- 300", Hidayat [ 2 ] membahas pengembangan sistem otomasi industri berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) Siemens S7-300 untuk menyortir barang secara otomatis berdasarkan ketinggian benda. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia. Sistem ini bekerja dengan prinsip mendeteksi ketinggian benda dengan *photocell* yang lewat pada konveyor, yaitu 26 cm, 18 cm, dan 10 cm. Berdasarkan data dari sensor, PLC memberikan perintah pada aktuator untuk memisahkan benda sesuai dengan kategori tinggi tersebut. Penelitian ini berhasil menciptakan alat penyortiran otomatis yang mampu memproses barang dengan waktu tempuh 10,56 detik per siklus [2].

Dalam penelitian berjudul "Pemrograman PLC Pada Sistem Kontrol Kecepatan Motor AC 3 Phase", Baihaqy [3] membahas pengembangan dan implementasi sistem kontrol kecepatan motor AC tiga fasa menggunakan teknologi PLC (*Programmable Logic Controller*). Penelitian ini berfokus pada pemrograman PLC untuk mengatur variasi kecepatan motor melalui bantuan VSD (*Variable Speed Drive*) atau *Inverter* yang telah diatur parameternya. Sistem kontrol yang dirancang memiliki dua mode operasi, yaitu mode *manual* dan otomatis, serta dua arah putaran motor, yaitu *forward* dan *reverse*. Komponen-komponen utama seperti PLC, VSD, dan perangkat lunak SCADA telah diintegrasikan dan diatur untuk memastikan alat dapat berfungsi sesuai kebutuhan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem kontrol motor yang efisien, fleksibel, dan mudah digunakan [3].

Dalam penelitian berjudul "Pemrograman PLC Siemens Pada Aplikasi Sistem Mixing Plant Berbasis SCADA", Setya [4] membahas pengembangan sistem kontrol

mixing plant berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* dan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* digunakan sebagai sistem kontrol terpusat. Sistem ini dikembangkan dengan memanfaatkan perangkat lunak *TIA Portal V*. Penelitian ini mencakup visualisasi grafik yang menunjukkan kecepatan motor serta tabel analisis yang membandingkan performa kecepatan motor dengan sinyal *analog* dari *PLC* dan frekuensi *VSD.16*, dengan *PLC* diprogram menggunakan *TIA Portal* dan desain *SCADA* dilakukan dengan *WinCC* [4].

Penelitian-penelitian di atas menggunakan *PLC* untuk mengotomasi proses di industri. Namun, belum ditemukan penggunaan *PLC* untuk mengotomasi proses *stitching chafer*. Makalah ini melaporkan penggunaan *PLC* untuk aplikasi tersebut, dan dampaknya pada perbaikan efisiensi produksi dengan kasus di PT. YS.

Penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian yaitu, sebagai berikut :

### 2.1 PLC



Gambar 3. PLC

Gambar 3 merupakan *PLC* Siemens S7-300. Penelitian ini menggunakan *PLC* Siemens S7-300 sebagai unit pengendali utama dalam sistem otomasi, dengan pemrograman yang dilakukan melalui *software* *Simatic Manager* [5]. *PLC* S7-300 dipilih karena keandalannya dalam proses kontrol industri [6], dan kemampuannya untuk menangani berbagai sinyal input/output secara *real-time*. *Simatic Manager* digunakan untuk membuat, mengelola, dan memprogram blok logika (*ladder diagram*) serta untuk melakukan konfigurasi hardware dan pemantauan proses secara langsung. Implementasi sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, meminimalisir kesalahan proses, serta mempermudah *troubleshooting* melalui fitur *diagnostik* yang tersedia pada platform Siemens.

### 2.2 HMI



Gambar 4. HMI

*Human Machine Interface (HMI)* atau sering juga disebut dengan *Man Machine Interface (MMI)* adalah *software* yang digunakan untuk memonitor dan mengontrol mesin atau proses di suatu pabrik [7]. *HMI* bekerja dengan menghubungkan sistem otomasi dan perangkat antarmuka operator, mengumpulkan data dari sensor atau kontroler, lalu mengolahnya menjadi informasi yang mudah dipahami, seperti grafik atau indikator. Operator dapat memberikan input melalui *HMI* untuk mengatur parameter, mengelola alarm, atau mengontrol mesin, sementara *HMI* mengirimkan perintah kontrol ke perangkat seperti *PLC* untuk mengubah keadaan sistem. *HMI* ditunjukkan pada Gambar 4.

### 2.3 Signal Module

*Signal Module (SM)* adalah modul (*I/O*) *input* (masukan) dan *output* (keluaran) yang digunakan untuk komunikasi antarmuka masukan dan keluaran [7] seperti dapat dilihat pada Gambar 5. Pada *PLC* Siemens, *signal module* dapat berupa modul *input*, *output*, atau kombinasi keduanya.



Gambar 5. Signal Module

Jenis-jenis Signal Module, yaitu :

- *Modul Digital Input*  
*Modul digital input* digunakan untuk menerima sinyal *biner (ON/OFF)* dari perangkat *eksternal*. Misalnya, saklar, sensor, dll.
- *Modul Digital Output*  
*Modul digital output* digunakan untuk mengendalikan perangkat yang bekerja dalam *mode biner (ON/OFF)*, seperti relay, kontaktor, atau lampu indikator [8].

- Modul *Analog Input*

*Modul analog input* digunakan untuk menerima sinyal dari perangkat yang memberikan keluaran *analog*, seperti *sensor* suhu, tekanan, atau panjang. *Sinyal analog* ini dapat berupa tegangan (misalnya, 0-10V) atau arus (misalnya, 4- 20mA), yang kemudian dikonversi oleh *modul input analog* menjadi data yang dapat diproses oleh PLC.

- Modul *Analog Output*

*Modul analog output* digunakan untuk mengontrol perangkat yang membutuhkan sinyal keluaran *analog*, seperti penggerak katup yang menggunakan posisi variabel atau pengendalian kecepatan motor [9]. Modul ini mengubah data *digital* dari PLC menjadi *sinyal analog* yang dapat diterima oleh perangkat *eksternal*.

#### 2.4 Linear Position Transducer

*Linear position transducer* adalah alat pengukur posisi yang memanfaatkan teknologi *magnetostriktif* untuk mendeteksi posisi *absolut*. Berdasarkan permintaan dari PLC atau pengontrol, *transducer* mengirimkan semburan *pulsa* yang sama dengan posisi *absolut* penanda magnet [10]. *Linear position transducer* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Linear Position Transducer*

Alat ini digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengukur pergerakan linear dengan sangat presisi.

#### 2.5 Proportional Valve



Gambar 7. *Proportional Valve*

Gambar 7 menampilkan *Proportional valve*. *Proportional Valve* atau katup *proporsional* adalah komponen yang digunakan untuk mengatur aliran fluida (cairan atau gas) dalam sistem dengan proporsi yang

tepat, berdasarkan sinyal input yang diterima [11]. Katup ini dapat mengubah laju aliran fluida secara bertahap, berbeda dengan katup *on/off* biasa yang hanya memiliki dua posisi (terbuka atau tertutup). Katup *proporsional* umumnya digerakkan oleh aktuator elektronik yang menerima *sinyal analog* dari kontroler (misalnya, PLC atau sistem kontrol lainnya) untuk membuka atau menutup katup sesuai kebutuhan.

#### 2.6 Variable Frequency Drive (VFD)



Gambar 8. *VFD*

Gambar 8 merupakan gambar *VFD*. *Variable Frequency Drive (VFD)* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dan torsi motor listrik AC dengan mengubah frekuensi dan tegangan pasokan listrik yang diberikan ke motor [12]. *VFD* bekerja dengan mengubah frekuensi sinyal input dari sumber daya AC menjadi sinyal yang dapat dikendalikan, memungkinkan penyesuaian kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan proses.

#### 2.7 Motor AC



Gambar 9. *Motor AC*

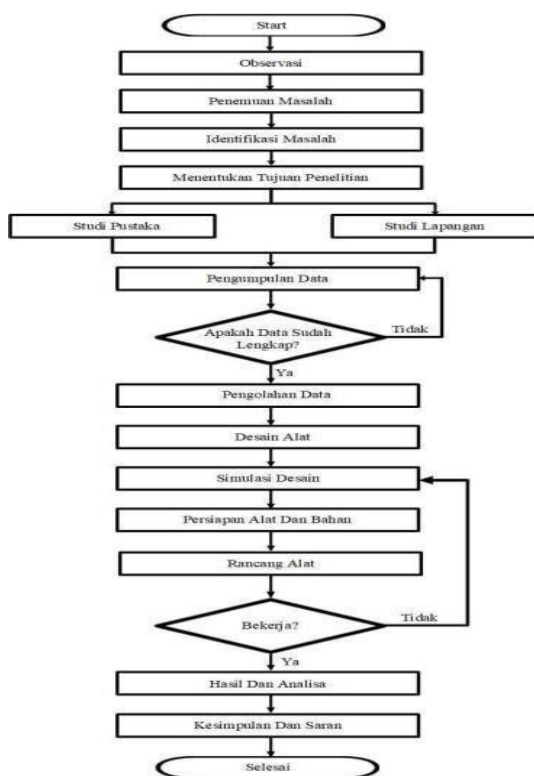
Istilah motor listrik ditemukan pada Tahun 1834 [13]. Motor listrik pada Gambar 9 merupakan motor listrik jenis AC. Motor AC 3-Phase adalah jenis motor listrik yang digerakkan oleh arus bolak-balik (AC) tiga fase. Motor ini adalah motor yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri karena daya yang dihasilkannya lebih besar dan lebih efisien dibandingkan dengan motor satu fase. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik

menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet [14]. Motor AC tiga fase bekerja berdasarkan prinsip medan magnet yang berputar, yang dihasilkan oleh arus listrik tiga fase yang terhubung ke kumparan stator.

### 2.8 Koil Solenoid

Dalam proses manufaktur ban, khususnya pada tahap *Stitching Chafer*, pengendalian aktuator *pneumatik* berperan penting dalam menekan *steel chafer* melalui gerakan *linier* dari aktuator [15]. Untuk itu diperlukan komponen *solenoid valve*. *Solenoid valve* dikendalikan secara otomatis melalui PLC Siemens S7-300 untuk memastikan respon cepat dan akurat terhadap perintah logika yang telah diprogram dalam Simatic Manager. Perintah dari PLC akan mengaktifkan atau menonaktifkan *koil solenoid*, yang pada gilirannya mengatur posisi katup untuk membuka atau menutup jalur udara.

## 3. METODE PENELITIAN



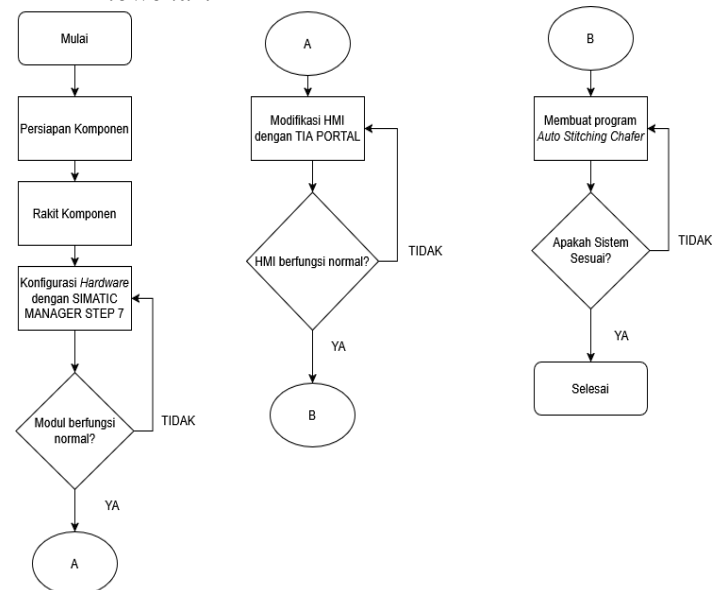
Gambar 10. Alur Penelitian

Diagram alur penelitian dapat dilihat dari Gambar 10. Penelitian dimulai dengan observasi untuk mengidentifikasi fenomena dan menemukan masalah utama, yang kemudian

dianalisis guna menentukan tujuan penelitian. Studi pustaka dan studi lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data, yang dievaluasi kelengkapannya sebelum diolah dan dianalisis. Berdasarkan hasil analisis, desain alat dirancang, disimulasikan, dan diuji menggunakan komponen yang disiapkan. Jika alat bekerja, hasil dan analisis dilakukan untuk menyusun kesimpulan dan saran pengembangan; jika tidak, desain direvisi. Penelitian diakhiri setelah mencapai kesimpulan.

## 4. REALISASI DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Flowchart sistem kontrol



Gambar 11. Flowchart Sistem Control

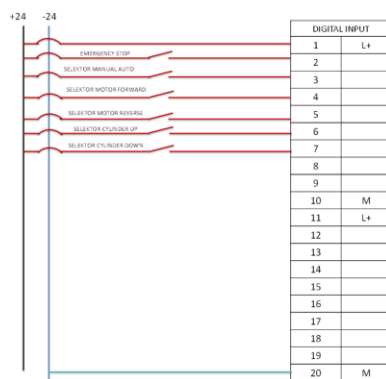
Dari Gambar 11, terlihat bahwa proses dimulai dari tombol *Selector* pada posisi *Auto* dan tombol *Auto Step* ditekan, sehingga motor *Stitcher Chafer* akan bergerak ke posisi awal (*Home*). Selanjutnya, *stitcher wheel* akan bergerak ke posisi *Start Position*. Jika sudah tercapai, kemudian *drum* akan berputar dan *stitcher wheel* akan bergerak menempel ke *drum*, dan *stitcher wheel* akan bergerak sampai posisi akhir. Jika sudah melebihi posisi akhir, lalu *stitcher wheel* akan bergerak naik dan tidak menempel *drum* dan *drum* pun berhenti, dilanjutkan *stitcher wheel* akan bergerak ke posisi awal (*Home*).

### 4.2 Wiring

Ada 4 *signal module* yang digunakan.

Yang pertama, *digital input*. *Digital input* dihubungkan ke perangkat *input* seperti *emergency stop*, *selector switch*. *Wiring digital input* dapat dilihat pada Gambar 12. Yang kedua, ada *digital output*. *Digital output* dihubungkan ke perangkat *output* seperti koil *solenoid* dan *command inverter*. *Wiring digital output* dapat dilihat pada Gambar 13. Yang ketiga, ada *analog input*. *Analog input* dihubungkan ke perangkat *input* yang bervariasi seperti *sensor posisi*. *Wiring analog input* dapat dilihat pada Gambar 14. Yang keempat, ada *analog output*. *Analog output* dihubungkan ke perangkat *output* yang bervariasi seperti *proportional valve* dan *command inverter* yang bervariasi. *Wiring analog output* dapat dilihat pada Gambar 15.

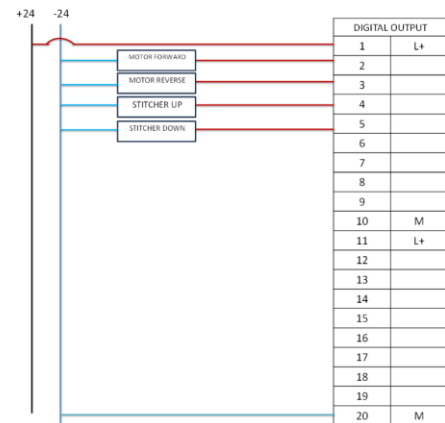
#### 4.2.1 Rangkaian Kontrol PLC (*Digital Input*)



Gambar 12. *Wiring Diagram Modul Digital Input*

Gambar 12 merupakan *wiring diagram modul digital input*. Terdapat *emergency stop* untuk tombol darurat apabila terjadi hal yang abnormal pada mesin. Kemudian ada 3 *selector switch*, yang pertama digunakan untuk memilih mode mesin, *manual* atau *auto* dan yang kedua digunakan untuk menggerakkan motor *stitcher* dengan gerakan melebar dan mengecil lalu yang ketiga digunakan untuk gerakan naik turun *stitcher wheel*.

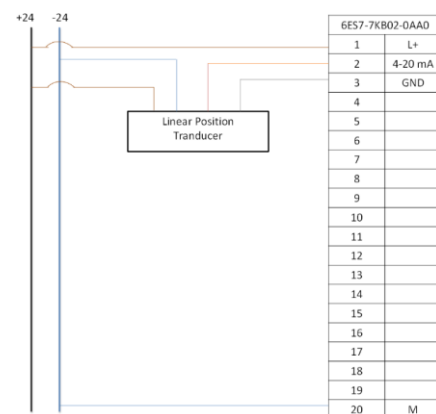
#### 4.2.2 Rangkaian Kontrol PLC (*Digital Output*)



Gambar 13. *Wiring Diagram Modul Digital Output*

Gambar 13 merupakan *wiring diagram modul digital output*. Terdapat *command inverter motor forward* dan *reverse* untuk menggerakkan motor *stitcher* secara melebar dan mengecil. Perintah tersebut akan dikirim ke *inverter*. Kemudian terdapat koil *stitcher up* dan *down* untuk menggerakkan *stitcher wheel* melalui *solenoid valve* yang terhubung ke aktuator.

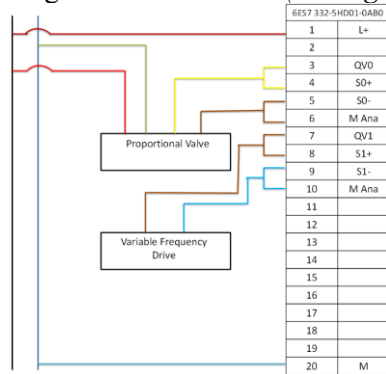
#### 4.2.3 Rangkaian Kontrol PLC (*Analog Input*)



Gambar 14. *Wiring Diagram Modul Analog Input*

Gambar 14 merupakan *wiring diagram modul analog input*. Terdapat sensor *linier position transducer* untuk membaca posisi dari *stitcher*.

#### 4.2.4 Rangkaian Kontrol PLC (*Analog Output*)



Gambar 15. *Wiring Diagram Modul Analog Output*

Gambar 15 merupakan *wiring diagram modul analog output*. Terdapat *proportional valve* yang digunakan untuk mengatur besarnya tekanan angin yang masuk ke *stitcher*. Kemudian, ada yang tersambung ke VFD yang digunakan untuk memberi kecepatan yang bervariasi kepada VFD dari modul *analog output*.

#### 4.3 Hasil

Setelah modifikasi direalisasi, dilakukan pengujian parameter-parameter fisis proses dan dilakukan pengamatan perubahan luaran produksi dengan mengamati *defect blown bead toe*.

Tabel 1 Hasil Pengujian

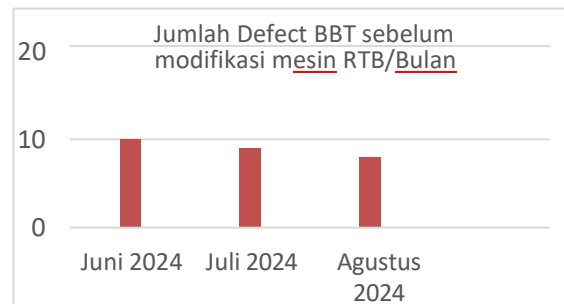
| No | Parameter | Error | %Rata rata error | Nilai Akurasi |
|----|-----------|-------|------------------|---------------|
| 1  | Kecepatan | 0,026 | 0,102%           | 99,898%       |
| 2  | Tekanan   | 0,04  | 2,18%            | 97,82%        |
| 3  | Posisi    | 1,48  | 0,21%            | 99,79%        |

Dari Tabel 1, nilai akurasi yang didapatkan dari masing-masing pengujian parameter yaitu :

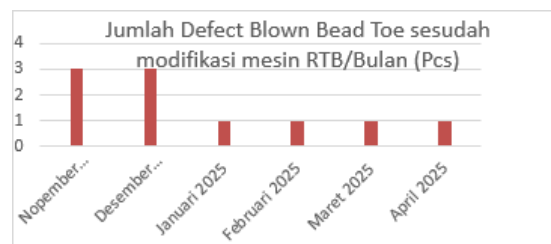
- Kecepatan nilai akurasi nya 99,898%
- Tekanan memiliki nilai akurasi 97,82%.
- Posisi memiliki nilai akurasi 99,79%.

Nilai akurasi tertinggi diperoleh pada parameter kecepatan (99,898%), menandakan sistem pengendalian pada kecepatan sangat presisi. Tekanan memiliki tingkat kesalahan

tertinggi (% rata-rata error 2,18%), sehingga perlu perhatian atau pengendalian lebih lanjut. Meskipun *error* posisi terlihat cukup besar (1,48), persentase *error*-nya kecil (0,21%) karena kemungkinan rentang nilai posisi lebih besar.



(a). *Defect blown bead toe* sebelum modifikasi



(b). *Defect blown bead toe* setelah modifikasi

Gambar 16. Data *Defect* (a). *Defect blown bead toe* sebelum modifikasi dan (b). *Defect blown bead toe* setelah modifikasi

Gambar 16 menunjukkan tren penurunan jumlah *defect* dari waktu ke waktu, baik sebelum maupun sesudah modifikasi mesin, yang membuktikan bahwa modifikasi memberikan penurunan *defect blown bead toe* dari rata-rata 9 *green tire*/bulan menjadi 2 *green tire*/bulan sehingga terjadi penurunan *defect* sebesar 78%.

## 5. KESIMPULAN

- Sistem kontrol yang diuji menunjukkan akurasi sangat tinggi, terutama untuk kecepatan dan posisi.
- Defect blown bead toe* dapat diturunkan sebesar 78%. Sebelum modifikasi *defect blown bead toe* pada *green tire* sebesar 9 *green tire*/bulan, sedangkan setelah modifikasi, *defect blown bead toe*

pada *green tire* hanya sebesar 2 *green tire*/bulan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Setiawan and E. Sumarno, "Modifikasi Sistem Kontrol Mesin Curing Guna Mengurangi Defect Leaky Bladder Di Pt Xyz Tbk," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 3, Aug. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3249.
- [2] M. A. Hidayat, "Tugas Akhir Rancang Bangun Miniatur Konveyor Pemisah Barang Berdasarkan Tinggi Benda Berbasis Plc Siemens S7-300," *Laporan Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, 2017.
- [3] A. Baihaqy, "Pemrograman Plc Pada Sistem Kontrol Kecepatan Motor Ac Tiga Fasa Tugas Akhir," *Laporan Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jakarta*, 2021.
- [4] R. S. D. Setya, "Pemrograman Plc Siemens Pada Aplikasi Sistem Mixing Plant Berbasis Scada," *Laporan Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jakarta*, 2024.
- [5] Apriansyah Zulatama, Putri Mayang Sari, and Asni Tafrikhatin, "Pemrograman Sistem Integrasi PLC Logo! Siemens Dan PLC Siemens S7-300 Pada CE 34 Dan CE 35 Project Elevasi 35 PT. Bukit Asam Tbk.," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 93–99, Dec. 2023, doi: 10.62278/jits.v1i2.17.
- [6] M. Faris Akbar, "Penerapan Plc Siemens Pada Area Industri Rokok Tresno Pt. Bentoel Group," *Laporan Kerja Praktik, Fakultas Teknologi dan Informatika, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya*, 2018.
- [7] Febryanto, "Modul Pembelajaran PLC dan HMI Siemens," *Laporan Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta*, 2015. in *Programmable Smart Microcontroller Cards*, Ed. S. Kocer, O. Dunder, R. Butuner, ISRES Publishing, 2021.
- [8] A. Noeman, "PLC Analog Output Module Architectures," *Application Note*, Texas Instruments, 2025. [Online]. Available: [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [9] Y. Zhang, W. Liu, H. Zhang, J. Yang, and H. Zhao, "Design and analysis of a differential waveguide structure to improve magnetostrictive linear position sensors," *sensors*, vol. 11, no. 5, pp. 5508–5519, May 2011, doi:10.3390/s110505508.
- [10] M. S. K. Al Hameedi, G. M. A. Alnajedin Albtoosh, S. A. A. Haddad, S. A. A. Albashabsheh, and O. H. Suliman Al-Aliemat, "An Overview of Proportional Valves," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 14, no. 11, pp. 225–229, Nov. 2024, doi: 10.29322/IJSRP.14.11.2024.p15530.
- [11] M. Z. Hamim, S. Salimin, and A. A. Bakar, "Analysis of Variable Frequency Drive for Induction Motor using Matlab Software," *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, vol. 116, no. 1, pp. 117–129, Apr. 2024, doi: 10.37934/aram.116.1.117129.
- [12] F. Butar Butar, J. Candra Situmorang, R. M. Sitorus Pane, A. H. Silaen, O. Valdano, and S. Aryza, *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS) Peningkatan Efisiensi dan Performa Motor Listrik Berbasis PID dan Fuzzy*. 2019. [Online]. Available: <https://seminar-id.com/semnas-sainteks2019.html>
- [13] I Nyoman Bagia and I Made Parsa, *Motor-Motor Listrik*. Kupang, CV. Rasi Terbit, 2018.
- [14] Hadimi, *Sistem Kontrol Pneumatik*. Solok. PT. Mafy Media Literasi Indonesia, 2024.