

Otomatisasi Penyemprotan Polyester Menggunakan Kawasaki Cobot dengan *Human Machine Interface* (HMI) Berbasis Web

Syah Sury Alam¹, Rahmad Hidayat^{1*}, and Musta'inul Abdi¹

¹Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Email: rahmad_hidayat@pnl.ac.id

Abstrak

Brago Luchttechniek BV adalah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi saluran udara PIR, menghadapi tantangan dalam menjaga akurasi dan konsistensi penyemprotan isolasi polyester pada produknya menggunakan *collaborative robot* (cobot) Kawasaki sebagai mesin otomatisasi. Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian ini merancang *Human Machine Interface* (HMI) berbasis web untuk mengotomatisasi penyemprotan isolasi polyester pada saluran udara PIR (*Polyisocyanurate*) menggunakan Kawasaki Cobot. HMI berbasis web dipilih karena kemudahan pada pengembangan, fleksibilitas, dan kemampuan integrasinya dengan teknologi modern. HMI ini menggunakan protokol TCP/IP untuk mengirimkan sinyal perintah secara *real-time* kepada perangkat otomatisasi seperti Kawasaki Cobot dan perangkat yang terhubung *Programmable Logic Controller* (PLC). Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi proses penyemprotan, dengan waktu yang berkurang dari 15–18 menit secara konvensional menjadi 5–7 menit dengan proses otomatisasi HMI berbasis web. Selain itu, HMI berbasis web berhasil berkomunikasi dengan perangkat lain yang terhubung ke robot, seperti *conveyor belt* dan meja putar, melalui protokol TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), dengan setiap perangkat memiliki kode identifikasi dan alamat IP masing-masing untuk memfasilitasi pengiriman pesan secara linear, mencegah tabrakan, dan meminimalkan kesalahan. Setelah delapan uji otomasi yang berhasil pada empat produk berbeda, sistem beroperasi dengan lancar dan sistematis melalui kontrol HMI yang tersedia. Sistem juga ini dievaluasi oleh empat responden, dan skor keseluruhan adalah 4,33 dari 5, menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi.

Kata Kunci: *Human Machine Interface* HMI, Basis Web, *Collaborative Robot* (Cobot), TCP/IP

Abstract

Brago Luchttechniek BV is a company specializing in the production of PIR (Polyisocyanurate) air ducts, facing challenges in maintaining accuracy and consistency in the polyester insulation spraying process on its products using Kawasaki collaborative robots (cobot) for automation. To address these challenges, this study designed a web-based Human Machine Interface (HMI) to automate the polyester insulation spraying process on PIR air ducts using the Kawasaki Cobot. A web-based HMI was chosen for its ease of development, flexibility, and integration capabilities with modern technology. This HMI uses the TCP/IP protocol to send real-time command signals to automation devices such as the Kawasaki Cobot and devices connected to the Programmable Logic Controller (PLC). Testing results demonstrated an improvement in the spraying process efficiency, reducing the time from 15–18 minutes conventionally to 5–7 minutes with the web-based HMI automation. Additionally, the web-based HMI successfully communicated with other devices connected to the robot, such as the conveyor belt and rotating table, via TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), with each device having its own identification number and IP address to facilitate linear message delivery, prevent collisions, and minimize errors. After eight successful automation tests on four different products, the system operated smoothly and systematically through the available HMI controls. The system was also evaluated by four respondents, with an overall score of 4.33 out of 5, indicating a high level of satisfaction.

Keywords: *Human Machine Interface* HMI, Basis Web, *Collaborative Robot* (Cobot), TCP/IP

1. Pendahuluan

Di era sekarang Industri manufaktur saat ini semakin mengadopsi teknologi otomatisasi *robot arm* / *Collaborative robot* (COBOT) untuk meningkatkan efisiensi dan presisi dalam proses produksi [1].

Penggunaan COBOT untuk otomatisasi terus berkembang pesat di seluruh dunia. Pada tahun 2021, terdapat sekitar 517 ribu unit COBOT otomatisasi baru yang dipasang di pabrik-pabrik, mencapai rekor tertinggi dalam Sejarah [2]. Penggunaan *robot arm* dalam industri manufaktur telah terbukti

meningkatkan efisiensi dan produktivitas serta robot dapat bekerja tanpa henti selama 24/7, sehingga output produksi meningkat dan biaya produksi dapat ditekan [3]. Studi yang dilakukan oleh McKinsey Global Institute pada tahun 2017 menunjukkan bahwa sekitar 50% pekerjaan yang ada saat ini dapat diotomatisasi dengan bantuan teknologi yang ada [4]. Dalam beberapa kasus, penggunaan robot dan otomatisasi dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas hingga 20% [5]. Robot dapat digunakan untuk melakukan tugas-tugas yang berbahaya atau berisiko tinggi bagi pekerja manusia, seperti penyemprotan bahan kimia. Hal ini dapat membantu mengurangi risiko cedera pada pekerja manusia dan meningkatkan keselamatan kerja secara keseluruhan pada suatu industri [6]. Peran robot juga mampu mengoptimalkan output produksi membebaskan pekerja manusia untuk fokus pada tugas-tugas yang lebih kompleks dan kreatif [7]. Selain efisiensi dan keamanan, penggunaan robot juga berkontribusi pada peningkatan kualitas produk akhir karena kemampuan robot untuk melakukan tugas dengan presisi tinggi dan konsistensi yang tidak dapat dicapai oleh manusia [8]. Dalam jangka panjang, investasi dalam teknologi otomatisasi menggunakan cobot dapat mengarah pada pengurangan biaya operasional dan peningkatan profitabilitas bagi industri [9].

Salah satu contoh industri adalah produksi pembuatan Saluran udara PIR (Polyisocyanurate) plastik pra-insulasi adalah jenis sistem saluran udara yang memiliki lapisan insulasi terintegrasi, dan umumnya dibuat dari bahan PIR [10]. Saluran udara PIR plastik pra-insulasi umumnya digunakan untuk membentuk sistem saluran udara dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) di berbagai jenis bangunan dan lingkungan industri seperti Gudang, sekolah, fasilitas Kesehatan dan lain-lain [11].

Brago Luchttechnik BV sebagai perusahaan yang bergerak di bidang saluran udara PIR plastik pra-insulasi berkeinginan untuk membuat otomatisasi dalam proses penyemprotan isolasi polyester pada komponen PIR (*Polyisocyanurate*) menggunakan *robot arm*. Penyemprotan isolasi polyester merupakan tahap krusial dalam proses produksi yang memerlukan tingkat akurasi dan konsistensi tinggi untuk memastikan kualitas produk yang dihasilkan [12]. Dalam hal ini telah dilakukan penggunaan automasi menggunakan robot Kawasaki yang berguna untuk memudahkan pekerja dan meminimalisir kecelakaan [13]. Agar proses otomatisasi penyemprotan ini dapat dikendalikan dan dioperasikan dengan lebih efektif, dibutuhkannya suatu program untuk mengontrol atau berinteraksi dengan robot secara langsung untuk menjalankan proses otomatisasi penyemprotan tersebut. Untuk mencapai hal tersebut maka

dirancanglah sebuah HMI (Human Machine Interface) Berbasis Web. Penggunaan Basis Web Dalam HMI tersebut dipilih karena akan memudahkan dalam proses pembuatan, modifikasi, serta tampilan visual yang diperlukan sehingga komunikasi antara perangkat lain dapat terhubung dengan lancar [14]. Selain itu HMI berbasis web juga dipilih karena memungkinkan pengembangan yang lebih fleksibel dan cepat, dikarenakan 3 penyesuaian tampilan dapat dilakukan dengan mudah serta teknologi web juga memanfaatkan bahasa pemrograman yang luas seperti HTML, CSS, dan *JavaScript*, yang mempercepat proses pengembangan [15].

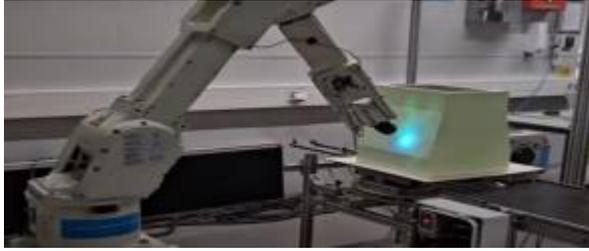
2. Landasan Teori

2.1. *Human Machine Interface (HMI)*

HMI dapat digunakan untuk menyampaikan informasi dari mesin kepada manusia, memungkinkan mereka mengendalikan, memantau, merekam, dan mendiagnosis sistem mesin melalui perangkat seperti gambar, *keyboard*, *mouse*, layar, video, radio, perangkat lunak dan lain-lain. Meskipun banyak teknik dan metode yang digunakan pada industri, antarmuka manusia-mesin selalu menjalankan dua tugas pokok: menyampaikan informasi dari mesin ke pengguna, dan menyampaikan informasi dari pengguna ke mesin. Dua jenis antarmuka pengguna saat ini yang paling umum adalah Antarmuka Pengguna Grafis (GUI) yang menerima masukan melalui perangkat masukan dan memberikan tampilan grafis terperinci pada perangkat keluaran. Antarmuka Pengguna Web (WUI) menerima masukan dan memberikan keluaran dengan menghasilkan halaman web yang dikirim melalui Internet dan dilihat oleh pengguna melalui peramban web. Jenis antarmuka pengguna ini telah menjadi komponen penting pada sistem industri modern, misalnya, antarmuka komunikasi manusia-robot, antarmuka HMI SCADA, dan layar pengemudi kendaraan jalan [16].

2.2. *Collaborative Robot (Cobot)*

Cobot (robot kolaboratif) adalah jenis robot yang dirancang untuk bekerja secara bersamaan dengan manusia di ruang kerja. Mereka memiliki sifat yang hemat biaya, aman, dan fleksibel pada penerapannya. Cobot membuat otomatisasi menjadi lebih mudah, bahkan bagi perusahaan skala kecil dan menengah di seluruh dunia [17]. Cobot (robot kolaboratif) hadir pada berbagai macam model dan konfigurasi, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan tugas tertentu. Contoh *Collaborative Robot* yang digunakan pada kasus ini tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh Collaborative Robot

Salah Satu contoh COBOT yang digunakan pada perancangan otomatisasi berbasis web adalah Kawasaki COBOT dengan Model Kategori Berat.

2.3. Basis Web

Menurut buku Elgamar [18], *website* adalah suatu media yang terdiri dari beberapa halaman yang saling berkaitan satu sama lain, dan berfungsi sebagai media untuk menampilkan suatu informasi, baik berbentuk gambar, video, teks, suara, ataupun gabungan dari semuanya. *Website* bersifat *multiplatform* yang artinya dapat dibuka dari segala perangkat yang terhubung dengan jaringan internet. Walaupun teknologi ini sudah cukup lama digunakan, namun saat ini masih banyak sekali perusahaan-perusahaan yang masih menggunakan *website* pada menampilkan profil perusahaan (*company profile*), menjual produk, ataupun sebagai sistem yang dapat digunakan oleh pelanggan. Aplikasi berbasis web pada umumnya dibangun dengan bantuan dari struktur HTML (*Hypertext Markup Language*), serta dengan kombinasi dari beberapa bahasa pemrograman lain, seperti PHP ataupun Javascript. *Website* juga dapat dipercantik tampilannya dengan bantuan CSS (*Cascading Style Sheets*). Mengenai *database* atau media penyimpanan, cukup banyak yang dapat digunakan, salah satunya adalah MySQL.

2.4. Isolasi Polyisocyanurate (PIR) Panel

Polyisocyanurate (PIR) adalah bahan isolasi termal yang banyak digunakan pada berbagai industri seperti konstruksi, pendinginan, dan perpipaan.



Gambar 2. Bentuk Pir Panel

PIR terkenal karena sifat isolasi termalnya yang unggul dan kemampuan tahan api yang baik. Contoh Isolasi Panel PIR tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Bahan ini umumnya digunakan pada bentuk panel *sandwich* yang terdiri dari dua lapisan luar tipis (seperti baja atau aluminium) dengan inti busa PIR

yang lebih tebal. Struktur ini memberikan rasio kekuatan-terhadap-berat yang baik dan efisiensi isolasi yang tinggi [19].

2.5. Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP)

TCP/IP adalah standar komunikasi data yang digunakan oleh komunitas internet pada proses tukar-menukar data dari satu komputer ke komputer lain di pada jaringan Internet. Protokol ini tidaklah dapat berdiri sendiri, karena protokol ini berupa kumpulan protokol (*protocol suite*) [20]. Cara kerja TCP/IP sebagai berikut:

1. Untuk memindahkan data antara dua komputer yang berbeda pada suatu jaringan yang terdiri dari banyak komputer, dibutuhkan alamat tujuan dan perantara untuk memindahkan sinyal elektronik pembentuk data secara aman dan langsung.
2. Saat seorang pengguna Internet mengirim sekelompok teks ke mesin lain, TCP/IP mulai bekerja. TCP membagi teks tersebut menjadi paket-paket data kecil, menambahkan beberapa informasi (dapat dianggap sebagai pengiriman barang), sehingga komputer penerima memastikan bahwa paket yang diterimanya tidak mengalami kerusakan sepanjang pengiriman. IP menambahkan label yang berisikan informasi alamat pada paket tersebut.
3. Deretan paket-paket TCP/IP berjalan menuju tujuan yang sama dengan menggunakan berbagai jalur yang berbeda. Sebuah perangkat khusus yang disebut router dipasang di titik persimpangan antar jaringan dan memutuskan jalur mana yang paling efisien yang menjadi langkah berikut dari sebuah paket. Router membantu mengatur arus lalu lintas di Internet dengan membagi beban, sehingga menghindari kelebihan beban pada suatu bagian dari sistem yang ada.
4. Saat paket-paket TCP/IP tiba di tempat tujuannya, komputer akan membuka label alamat IP lalu menggunakan daftar pengiriman yang ada pada paket TCP untuk memeriksa apakah ada kerusakan paket yang terjadi selama pengiriman, dan menyusun kembali paket-paket tsb menjadi susunan teks seperti aslinya. Saat komputer penerima menemukan paket yang rusak, komputer tersebut akan meminta komputer pengirim untuk mengirim salinan baru dari paket yang rusak.
5. perangkat khusus yang disebut *gateway* Gateway menerjemahkan protokol asli jaringan komputer tersebut menjadi TCP/IP dan sebaliknya.
6. Bagi seorang pemakai, Internet hadir seperti jaringan global raksasa yang tidak terbatas, yang langsung merespon jika diminta. Komputer, *gateway*, *router*, dan protokol yang membuat ilusi ini bekerja.

2.6. RoboDK

RoboDK adalah perangkat lunak simulasi dan

pemrograman *offline* untuk robot industri yang memungkinkan pengguna memprogram robot untuk berbagai tugas tanpa perlu menghentikan proses produksi. Dikembangkan untuk mendukung berbagai robot industri dari berbagai produsen, RoboDK mempermudah simulasi, pemrograman, dan pengoptimalan jalur robot untuk meningkatkan efisiensi.

RoboDK mendukung berbagai aplikasi industri seperti pemesinan, pengelasan, pemotongan, dan penyemprotan, dengan alat bantu analisis yang kuat untuk menguji dan mengoptimalkan jalur kerja robot. RoboDK digunakan untuk:

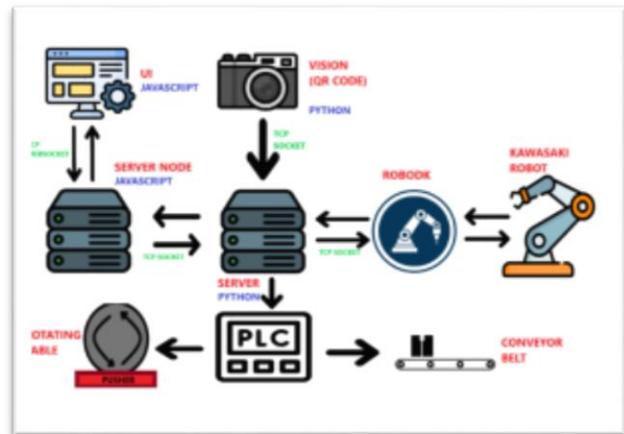
1. Memungkinkan pengguna memprogram dan menguji jalur robot tanpa mengganggu operasi produksi langsung. Ini berguna untuk menghindari waktu henti mesin.
2. Membantu dalam mensimulasikan operasi robot untuk menganalisis dan mengoptimalkan kinerja robot sebelum implementasi langsung.
3. RoboDK terintegrasi dengan perangkat lunak *Computer Aided Design (CAD)* yang memungkinkan pengguna membuat jalur robot dari model CAD dan mengimpor file jalur alat *Computer Numerical Control (CNC)*.
4. Memungkinkan robot menjalankan berbagai tugas, seperti pengelasan, pemotongan, pengeboran, pengecatan, dan pemindahan material secara otomatis.

3. Metode

3.1. Rancangan Umum Otomatisasi Basis Web

Rancangan umum merupakan cara untuk menggambarkan interaksi antara HMI dengan *hardware* dan *software* pada proses otomatisasi proses. diperlukan komunikasi yang efektif antara sistem kamera, robot, PLC, dan HMI. Komunikasi TCP/IP digunakan sebagai dasar penghubung antara komponen-komponen ini. Mengingat setiap program dikembangkan menggunakan alat perangkat lunak yang berbeda, diimplementasikan pada bentuk *client-server* untuk memastikan koneksi yang stabil dan efisien.

HMI mengirimkan instruksi ke server melalui socket TCP, yang kemudian diteruskan ke *server* Python untuk mengelola robot dan sistem pengenalan gambar (*vision*). Sistem *vision* berbasis Python membaca kode QR melalui kamera dari pemindaian data, sedangkan *server* Python mengontrol robot Kawasaki melalui RoboDK dan mengelola perangkat mekanis seperti *conveyor belt* dan meja putar yang dikendalikan oleh PLC. Semua elemen ini bekerja secara sinkron untuk menjalankan proses otomatisasi. Rancangan umum berdasarkan penjelasan sebelumnya divisualisasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan Umum

3.2. Rancangan Pengumpulan Data

Data merupakan sekumpulan fakta yang masih mentah dan perlu diolah lebih lanjut lagi agar menjadi informasi yang dapat dipahami. Pada membangun sebuah sistem diperlukan data yang relevan sehingga dapat dipertanggungjawabkan keabsahan dari penelitian yang dilakukan.

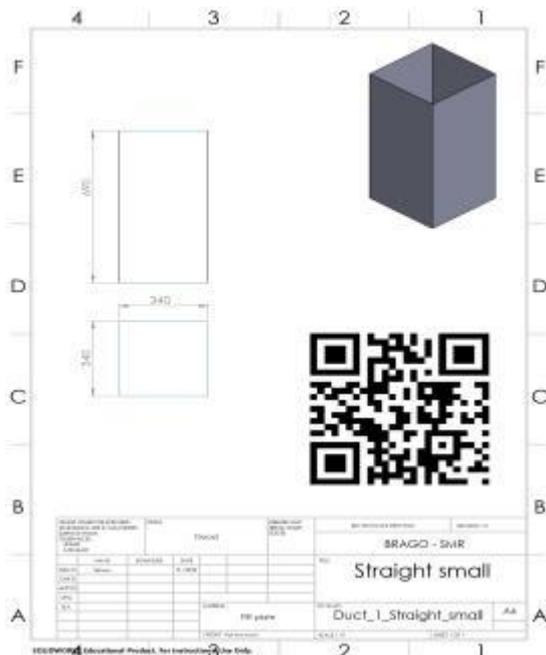
Adapun data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis. Pertama, data primer yang diperoleh langsung dari pihak Brago Luchttechnik BV, yang menjadi subjek utama penelitian ini dan berguna sebagai data untuk proses pemindaian. Tabel I merupakan data –data diperoleh dari pihak perusahaan.

TABEL I

DATA PRODUK PEMINDAIAN

| No. | Nama Produk | STL File Produk |
|-----|-----------------------|---------------------------|
| 1. | Duct 1 Straight Small | Duct_1_Straight_small.STL |
| 2. | Duct 2 Straight large | Duct_2_Straight_large.STL |
| 3. | Duct 3 Funnel | Duct_3_Funnel.STL |
| 4. | Duct 4 Jump | Duct_4_Jump.STL |

List data yang ditampilkan pada table 1. adalah data yang akan digunakan sebagai uji coba dari proses otomatisasi menggunakan HMI berbasis web. Data Produk berikut adalah salah satu data yang akan digunakan ketika pengujian yaitu data pada list pertama *duct 1 straight small*. Produk ini berjenis isolasi berbentuk persegi panjang dengan ukuran kecil untuk lebih jelasnya bentuk dari data tersebut bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Data Produk duct 1 straight small

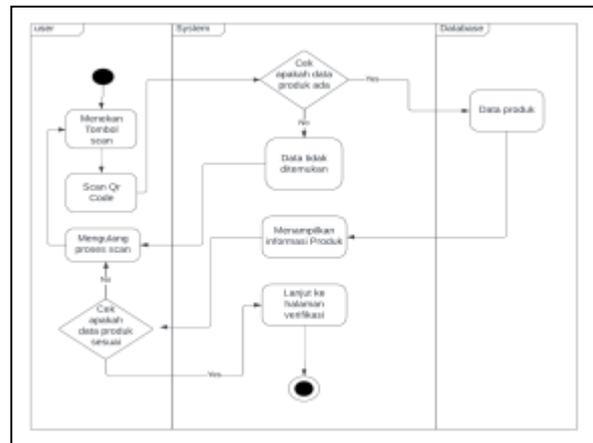
Kedua, data yang didapatkan dari kuesioner yang disebarakan kepada responden untuk mengumpulkan penilaian berdasarkan pengalaman ketika menggunakan sistem. Metode kuesioner digunakan untuk mengumpulkan data dari responden yang berinteraksi dengan sistem yang sedang diteliti. Kuesioner disusun dengan serangkaian pertanyaan yang dirancang untuk mengevaluasi pengalaman dan penilaian responden terhadap sistem. Pertanyaan kuesioner mencakup berbagai aspek seperti kemudahan penggunaan, kepuasan, serta efektivitas sistem. Kuesioner ini menggunakan skala Likert untuk mengukur tingkat persetujuan atau ketidaksetujuan responden terhadap pernyataan yang diberikan. Skala Likert terdiri dari lima tingka, yang akan ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL II
SKALA PENILAIAN RESPONDEN

| No | Jenis Nilai | Nilai |
|----|------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. | Sangat Tidak Penting/Mudah /Jelas/Lengkap/Responsive/Aman/Stabil /Puas | 1 |
| 2. | Tidak Penting/Mudah /Jelas/Lengkap/Responsive/Aman/Stabil /Puas | 2 |
| 3. | Netral | 3 |
| 4. | Penting/Mudah/Jelas/Lengkap/Responsive/Aman/Stabil/Puas | 4 |
| 5. | Sangat Penting/Mudah /Jelas/Lengkap/Responsive/Aman/Stabil /Puas | 5 |

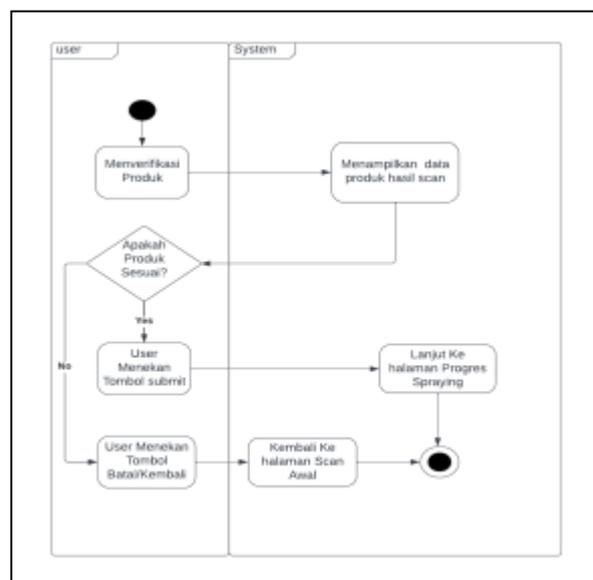
3.3. Rancangan Proses Otomatisasi

Subbab ini menjelaskan rancangan proses otomatisasi yang akan dilalalui oleh produk melalui HMI yang ditampilkan pada diagram alir berikut. Berikut adalah rancangan proses yang diawali dengan proses pemindaian yang di diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Aktivitas Pemindaian

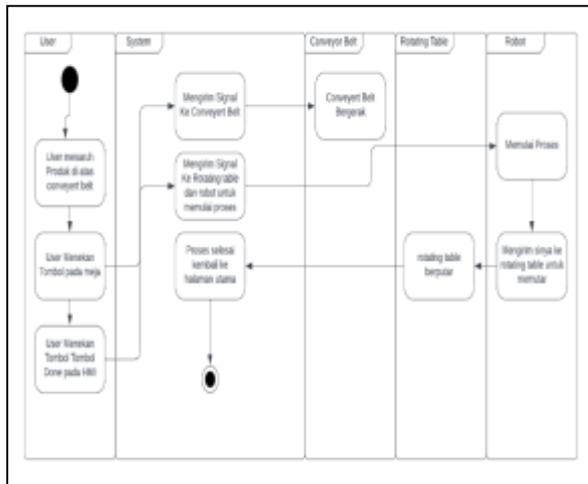
Diagram diatas menunjukkan proses dimana pengguna akan memindai *QR code* yang telah tersedia dengan nama produk sehingga ketika menekan tombol maka pengguna akan diminta untuk menscan *QR code* tersebut lalu sistem akan mencari nama dari hasil scan tersebut apabila ada maka akan dilanjutkan ke bagian verifikasi.



Gambar 6. Diagram Aktivitas Verifikasi

Gambar 6 menunjukkan proses verifikasi produk dari pengguna untuk melihat apakah produk yang dipindai pada HMI sudah benar. Apabila dan pengguna sudah yakin maka pengguna bisa submit dan lanjut kehalaman progres *spraying*. Jika produk yang dipindai salah maka *pengguna* bisa Kembali kehalaman utama untuk kembali memindai produk

yang diinginkan dan setelah itu pengguna dapat melanjutkan ke bagian proses penyemprotan otomatis.



Gambar 7. Diagram Aktivitas Proses Penyemprotan Otomatis

Gambar 7 menampilkan diagram aktivitas saat produk menjalani proses penyemprotan. Langkah pertama adalah pengguna menempatkan produk di atas sabuk konveyor. Kemudian, pengguna menekan dua tombol pada meja untuk mengaktifkan sistem, sehingga produk mulai bergerak melewati area keselamatan. Setelah melewati area keselamatan, produk secara otomatis bergerak ke *rotating table*. Pada tahap berikutnya, sistem mengirimkan sinyal ke robot untuk memulai proses penyemprotan. Robot akan mengirimkan sinyal kembali ke *rotating table* setiap kali satu sisi produk selesai disemprot, hingga keempat sisi selesai. Setelah penyemprotan selesai di keempat sisi, produk kembali menuju area keselamatan. Proses ini kemudian diulang untuk produk berikutnya, dimulai dari halaman utama. Dengan alur ini, proses penyemprotan berjalan efisien dan aman, memastikan setiap produk mendapatkan perlakuan yang konsisten sebelum kembali ke area keselamatan dan siap untuk diproses lebih lanjut.

3.4. Rancangan Integrasi RoboDK dan HMI

Rancangan ini menjelaskan proses integrasi antara RoboDK API dan program utama pada sistem otomatisasi proses *spraying* yang memastikan bagaimana data *stl.file* diolah. Dengan menggunakan RoboDK API, sistem dapat mensimulasi *file 3d* menjadi arah agar *robot arm* melakukan tugas *spraying* secara otomatis berdasarkan simulasi yang telah dibuat pada RoboDK. Integrasi RoboDK dan HMI melibatkan beberapa langkah dalam menghubungkan RoboDK API dengan HMI pada sistem otomatisasi penyemprotan. Berikut ini adalah penjelasan lebih rinci mengenai alur proses tersebut:

1. Pemindaian Produk: Proses dimulai dengan pemindaian produk untuk menghasilkan file dalam format *Stereolithography* (STL), yang

menggambarkan bentuk tiga dimensi dari objek yang akan disemprot.

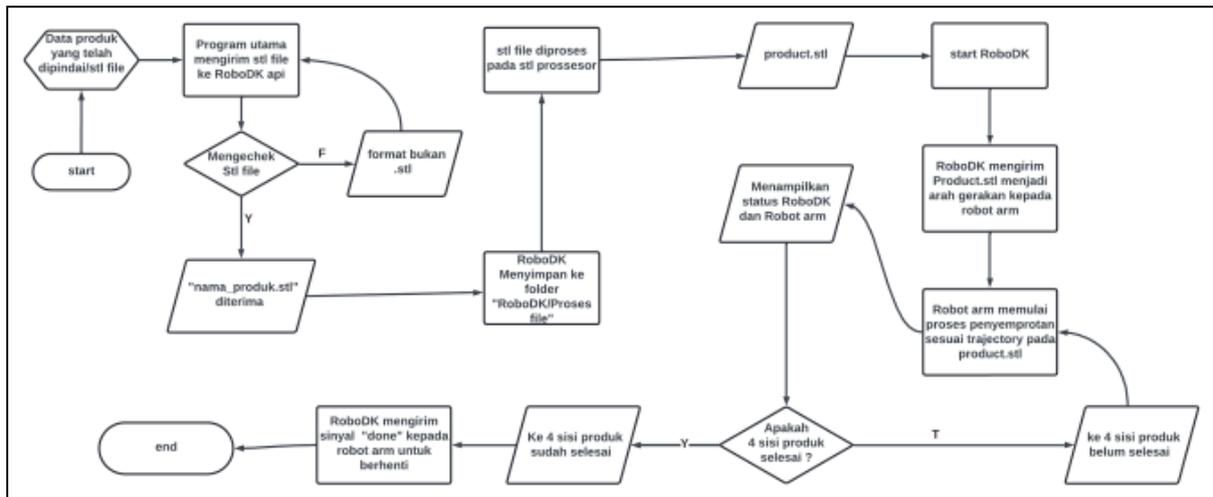
2. Pengiriman File STL: File STL yang dihasilkan kemudian dikirim ke RoboDK API oleh program utama. RoboDK API bertugas untuk menghubungkan program utama dengan perangkat keras, yaitu robot arm.
3. Penyimpanan File STL: Setelah diterima, file STL disimpan dalam folder khusus yang telah ditentukan, di mana file tersebut akan diakses dan diproses oleh sistem.
4. Pemrosesan File STL: File STL diproses menggunakan prosesor khusus untuk memetakan jalur yang akan diikuti oleh robot arm dalam proses penyemprotan. Prosesor ini menghitung arah gerakan yang sesuai dengan bentuk objek.
5. Simulasi Gerakan: RoboDK digunakan untuk mensimulasikan arah gerakan robot berdasarkan jalur yang telah dihitung dari file STL. Simulasi ini memungkinkan visualisasi dan pengujian rencana sebelum dieksekusi oleh robot arm.
6. Instruksi ke Robot Arm: Instruksi gerakan yang telah disimulasikan kemudian dikirimkan ke robot arm untuk memulai proses penyemprotan. Robot arm mengikuti jalur yang telah ditentukan untuk menyemprotkan material pada objek.
7. Monitoring Status: Status dari RoboDK dan robot arm dimonitor secara real-time untuk memastikan proses berjalan sesuai dengan rencana. Informasi seperti posisi robot, kemajuan penyemprotan, dan status penyelesaian tugas ditampilkan.
8. Pengecekan Sisi yang Disemprot: Setelah penyemprotan berlangsung, pengecekan dilakukan untuk memastikan apakah keempat sisi produk sudah selesai disemprot. Jika masih ada sisi yang belum disemprot, proses penyemprotan dilanjutkan.
9. Selesai: Setelah semua sisi produk selesai disemprot, sinyal dikirimkan ke robot arm untuk menghentikan proses penyemprotan. Hal ini menandakan bahwa seluruh proses otomatisasi telah selesai.

Langkah – langkah diatas merupakan integrasi teknologi pemrosesan gambar 3D, simulasi gerakan, dan kontrol robotik. Status RoboDK dan *robot arm* ditampilkan untuk monitoring, dan pengecekan dilakukan untuk memastikan apakah keempat sisi produk sudah selesai disemprot. Proses dari langkah - langkah diatas digambarkan pada Gambar 8.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Hasil Tampilan HMI

Pada bagian ini akan dibahas penerapan dari UI dari HMI atau *Human Machine Interface* meliputi proses dari halaman login, halaman utama, halaman verifikasi, dan halaman progres.



Gambar 8. Rancangan Integrasi Robodk Api dengan HMI

Halaman Proses login merupakan langkah penting pada sebuah sistem pada menjaga keamanan dan aksesibilitas antara pengguna dan sistem. Login hanya bisa dilakukan oleh pengguna yang sebelumnya telah melakukan registrasi pada sistem. Berikut merupakan hasil implementasi halaman login. Halaman ini dapat diakses oleh pengguna sebelum masuk ke pada sistem dengan dengan menginputkan *username* dan *password* yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Halaman Login

Selanjutnya adalah halaman utama. Halaman utama adalah halaman beranda atau halaman awal yang akan dijumpai oleh pengguna setelah berhasil melakukan login.

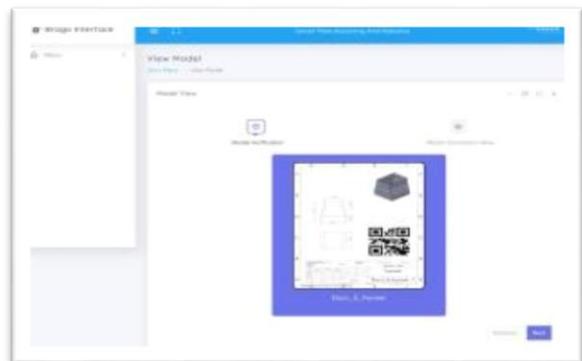


Gambar 10. Halaman Utama

Halaman ini berfungsi untuk memberikan gambaran umum tentang apa saja yang dapat

dilakukan pada sistem yang diakses oleh pengguna. Halaman utama juga adalah langkah awal pada proses penyemprotan produk. Langkah pertama ini bertujuan memindai *QR Code* yang sudah dipersiapkan dan dipilih oleh pengguna sebelum proses penyemprotan dengan cara menekan tombol start yang dapat dilihat pada Gambar 10.

Selanjutnya merupakan Halaman Verifikasi adalah halaman Dimana pengguna akan mengecek apakah produk sudah sesuai dengan apa yang pengguna inginkan. Pada halaman ini juga terdapat halaman orientasi, disini pengguna diarahkan menaruh produk sesuai yang diperlihatkan pada halaman orientasi yang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Halaman Verifikasi

Selanjutnya adalah halaman antarmuka *Human Machine Interface* (HMI) yang dirancang untuk memantau proses penyemprotan robot secara *real-time*. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat video langsung dari lingkungan tempat robot bekerja, memungkinkan monitoring visual terhadap setiap langkah proses penyemprotan yang dapat dilihat pada Gambar 12.

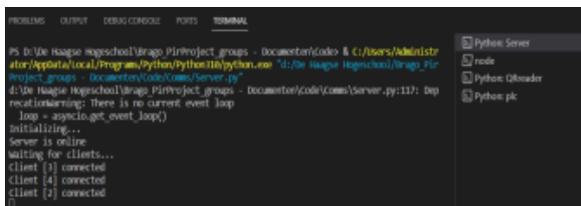


Gambar 12. Halaman Progres

4.2. Hasil Komunikasi HMI dengan Hardware dan Software

Proses integrasi dan komunikasi antar perangkat merujuk pada cara menyatukan atau menghubungkan beberapa perangkat elektronik sehingga dapat berkomunikasi dan berinteraksi satu sama lain. Proses ini memungkinkan perangkat-perangkat tersebut saling bertukar informasi, menerima instruksi, atau melakukan tindakan sesuai dengan perintah yang diberikan. Kemudian, komunikasi antar perangkat tersebut dilakukan dengan menggunakan protokol TCP/IP. TCP/IP adalah protokol komunikasi standar yang digunakan dalam jaringan komputer dan internet. Setiap perangkat dalam jaringan memiliki identitas unik yang disebut ID. ID ini membedakan satu perangkat dari yang lain dalam jaringan. Selain itu, setiap perangkat juga memiliki alamat IP (Internet Protocol) yang unik. Alamat IP adalah alamat numerik yang digunakan untuk mengidentifikasi perangkat dalam jaringan TCP/IP.

Dengan menggunakan alamat IP, perangkat dapat diketahui di mana letaknya dalam jaringan. Selain alamat IP, setiap perangkat juga memiliki port. Port adalah titik akhir dalam komunikasi antar-perangkat yang ditetapkan oleh sistem operasi untuk menyediakan akses ke layanan tertentu. Dengan port ini, perangkat dapat menentukan layanan mana yang ingin diakses atau dituju oleh perangkat lain dalam jaringan yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Output Komunikasi Telah terhubung

Gambar 13 memperlihatkan hasil komunikasi antara Human Machine Interface (HMI) dengan berbagai perangkat keras dan perangkat lunak yang terlibat dalam proses otomatisasi. Pada tahap ini, seluruh komponen, baik hardware seperti robot, PLC (Programmable Logic Controller), serta software seperti server dan aplikasi monitoring, telah berhasil terhubung satu sama lain melalui jaringan.

Gambar ini menunjukkan bahwa setiap *client*, termasuk HMI, server, robot, dan perangkat tambahan lainnya, siap untuk saling berkomunikasi dan bertukar sinyal serta data yang diperlukan selama proses otomatisasi.

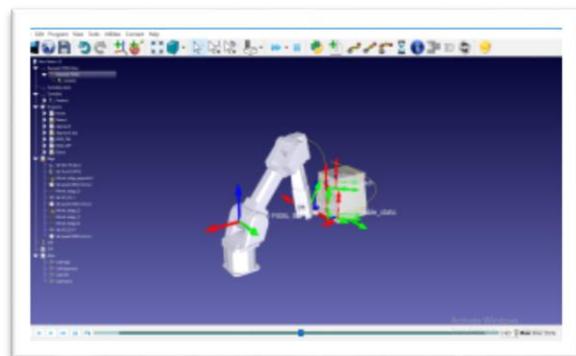
4.3. Hasil Integrasi RoboDK dan HMI

RoboDK mempunyai *function* atau *library* sendiri pada program utama yang merupakan program yang akan menjalankan seluruh Langkah dan proses pada kasus ini, mulai dari awal proses pemindaian berjalan sampai produk selesai sehingga koneksi program utama ini menerima dan mengirim pesan keseluruhan *client* melalui server sampai akhirnya ke RoboDK. Awal proses pemindaian dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses pemindaian dan pengiriman data ke roboDK

Proses integrasi dimulai dengan pemindaian data menggunakan kamera yang terhubung dengan HMI, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Kamera ini berfungsi sebagai alat input untuk memindai objek atau kode (misalnya, QR code) yang berada di sekitar robot. Setelah data dipindai, HMI akan memverifikasi apakah data tersebut sudah ada di dalam database. Jika data ditemukan di *database*, HMI akan melanjutkan dengan mengirimkan informasi tersebut ke API RoboDK. Apabila integrasi berhasil, aplikasi RoboDK akan terbuka secara otomatis untuk memulai proses kontrol robotik, Aplikasi RoboDK kemudian akan mengirimkan status konfirmasi bahwa proses telah berjalan.



Gambar 15. Proses Dari RoboDK

Saat sebelum memulai penyemprotan RoboDK akan mengirim output berupa proses simulasi yang telah dibuat pada roboDK yang akan mengikutinya pada saat proses spraying di produknya dapat dilihat pada Gambar 15 di halaman selanjutnya.

Status atau notifikasi yang diterima oleh HMI setelah RoboDK berhasil melakukan tugas yang diminta. Seluruh proses ini memastikan bahwa HMI berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengelola data, mengirimkan perintah, dan memantau respon dari RoboDK serta perangkat keras lainnya secara otomatis dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Output Dari RoboDK

Setelah RoboDK menyelesaikan simulasi, data berupa jalur penyemprotan dikirim langsung ke robot Kawasaki. Jalur ini, yang dihasilkan dari simulasi, digunakan oleh robot untuk melakukan penyemprotan pada produk secara akurat. Robot akan mengikuti jalur yang sudah dioptimalkan dari simulasi RoboDK untuk memastikan penyemprotan berjalan sesuai rencana dengan efisiensi tinggi hasil proses yang sudah dikirim ke robot dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Proses spraying yang telah dikirim ke robot Kawasaki

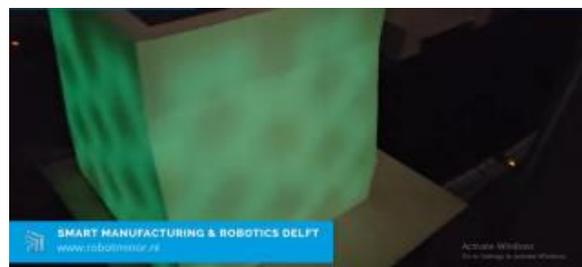
4.4. Hasil Produk Dari Otomatisasi HMI

Setelah melalui serangkaian prosedur yang ditetapkan, tahapan berikutnya pada penelitian ini adalah pengambilan produk untuk mengevaluasi kualitas pola dan efisiensi penyemprotannya. Untuk perbandingannya akan penyemprotan secara konvensional tanpa menggunakan proses otomatisasi robot dengan tenaga manusia memakan waktu 15 – 18 menit proses penyemprotan dimulai dari memasukan sampai pengambilan produk proses secara konvensional dapat dilihat pada Gambar 18 berikut.



Gambar 18. Proses penyemprotan secara konvensional

Pada prinsipnya, penyemprotan yang ideal seharusnya menggunakan bahan penyemprot polyester asli namun seperti pada Gambar 18 diatas, pada konteks proyek yang dilakukan di lingkungan sekolah, adaptasi diperlukan. Sebagai alternatif, metode penyinaran produk menggunakan sinar ultraviolet (UV) diadopsi untuk mereplikasi proses penyemprotan. Dengan demikian, hasil dari produk yang telah melalui proses tersebut akan dikaji untuk menilai efektivitasnya pada mencapai standar yang diinginkan. Pada hasil pengujian, dari 8 kali percobaan dengan menggunakan 4 produk yang berbeda, semua percobaan mendapatkan hasil yang sangat baik pada kecepatan robot sekitar 40%. Ini menunjukkan bahwa produk-produk yang diuji telah memberikan kinerja yang konsisten dan memuaskan. salah satu hasil dari produk yang telah melewati proses otomatisasi yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil Produk yang telah selesai

Evaluasi terhadap hasil yang terpapar di atas menunjukkan bahwa produk berhasil merepresentasikan pola penyemprotan dengan baik. Metode penyemprotan yang diterapkan mengikuti pendekatan konvensional yang sering digunakan pada praktik industri, yaitu penyemprotan manual dengan pola zigzag. Pendekatan ini memastikan bahwa seluruh sisi dan permukaan produk tercakup dengan baik, sehingga menghasilkan hasil yang memuaskan sesuai dengan standar yang diinginkan. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu produk mulai dari produk berjalan dari conveyor belt ke rotating table setelah itu proses penyemprotan dan akhirnya kembali ke awal mula menghabiskan waktu sekitar 5 – 7 menit tergantung tingginya produk yang di proses dibandingkan proses penyemprotan konvensional memerlukan waktu lebih lama untuk memasukkan dan mengambil produk, serta melibatkan tenaga kerja

manusia yang harus menggunakan perlengkapan keselamatan tingkat tinggi agar tidak terkena bahan kimia polyester selama proses penyemprotan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses penyemprotan menggunakan otomatisasi yang dilakukan telah berhasil menghasilkan produk dengan kualitas yang memadai dan menghemat waktu produksi.

4.5. Hasil Kuesioner Responden

Pada bagian ini merupakan penilaian dari responden yang terlibat dalam penelitian ini dari kuesioner yang telah disediakan. Jumlah responden yang terlibat dalam penelitian ini berjumlah 4 orang 2 mahasiswa *Mechanical Engineering*, satu mahasiswa *Telecommunication Engineering* dan satu orang lagi adalah ketua program leader pada suatu universitas. Responden yang terlibat dalam penelitian ini telah

mengisi kuesioner yang disebarakan melalui form Google. Berdasarkan kuesioner yang telah disediakan, Kuesioner dirancang menggunakan skala likert (penilaian 1 – 5. Berdasarkan hasil penilaian dari kuesioner pada tabel 3 dibawah yang telah disebarakan dan diisi oleh 4 responden, dapat disimpulkan bahwa HMI (*Human-Machine Interface*) untuk otomatisasi penyemprotan isolasi poliester dinilai sangat positif oleh para pengguna. Rata-rata keseluruhan skor adalah 4.28, menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan HMI ini dianggap efektif dan memuaskan oleh para pengguna. Evaluasi ini memberikan umpan balik positif yang menunjukkan bahwa sistem HMI ini telah berhasil memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna pada otomatisasi penyemprotan isolasi polyester hasil tersebut yang dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III
HASIL KUESIONER

| NO | Nama | Profesi | Pertanyaan | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| | | | Seberapa penting menurut Anda HMI yang otomatisasi? | Bagaimana Anda menilai kemudahan navigasi HMI? | Seberapa jelas antar muka HMI ini? | Seberapa lengkap fitur-fitur yang tersedia pada HMI ini? | Seberapa responsif HMI ini terhadap input Anda? | Seberapa aman Anda saat menggunakan HMI ini untuk? | Seberapa stabil kinerja HMI ini selama penggunaan Anda? | Seberapa puas Anda secara keseluruhan dengan HMI ini? | Seberapa puas Anda dengan desain HMI ini? |
| 1 | Marcos Barrera Area | Student | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 2 | Arjan Neelis | Student | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 3 | Tiemen van Rijswijk | Student | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| 4 | Thijs Brilleman | Program Leader | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Rata – rata skor | | | 4.75 | 4.00 | 4.25 | 4.00 | 4.50 | 4.25 | 3.75 | 4.75 | 4.25 |
| Rata – Rata keseluruhan | | | 4.28 | | | | | | | | |

5. Kesimpulan

Otomatisasi Penyemprotan Polyester Menggunakan Kawasaki Cobot dengan *Human Machine Interface* (HMI) berbasis web, memiliki beberapa simpulan yang dapat diambil diantaranya adalah sebagai berikut. Komunikasi antara HMI berbasis web dengan perangkat lain yang terhubung dengan robot, seperti *conveyer belt* dan *rotating table*, dilakukan melalui protokol TCP/IP. Setiap perangkat memiliki ID dan IP sendiri untuk mengirimkan sinyal dan pesan kepada perangkat yang dituju melalui *server*. Proses komunikasi mengikuti urutan program utama, memastikan pengiriman pesan secara linear

untuk menghindari tabrakan pesan dan meminimalkan kesalahan. Setelah 8 kali percobaan otomatisasi penyemprotan kepada 4 produk yang berbeda semua percobaan tersebut sukses atau berhasil dan dapat dapat dikendalikan dengan

lancar dan sistematis melalui setiap tombol yang tersedia pada *Human Machine Interface* berbasis web yang disediakan. Efisiensi waktu dari implementasi HMI pada otomatisasi penyemprotan dapat diukur dari perbedaan signifikan waktu antara proses otomatisasi dan cara konvensional, di mana proses otomatisasi memerlukan waktu yang lebih efisien dan cepat, yaitu sekitar 5 - 7 menit dibandingkan

dengan 15 - 18 menit menggunakan cara konvensional yang melibatkan tenaga kerja manusia. Hasil tersebut didapatkan setelah 8 kali percobaan dengan 4 produk yang berbeda. Produk yang memiliki proses terlama adalah *duct 2 straight large* yaitu 7 menit dan yang tercepat adalah 5 menit yaitu produk *duct 1 straight small*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa implementasi HMI berbasis web mendukung efisiensi waktu proses otomatisasi penyemprotan isolasi polyester. Keberhasilan dari proses otomatisasi HMI berbasis web juga dibuktikan dari hasil penilaian kuesioner dari 4 responden menunjukkan bahwa HMI untuk otomatisasi penyemprotan isolasi poliester dinilai sangat positif dengan rata-rata keseluruhan skor 4.33. Ini menunjukkan bahwa HMI tersebut efektif dan memuaskan, serta berhasil memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna dalam proses otomatisasi.

Referensi

- [1] U. Othman and E. Yang, "Human-Robot Collaborations in Smart Manufacturing Environments: Review and Outlook," 2023. doi: 10.3390/s23125663.
- [2] International Robotic Federation, "IFR Press room World Robotics Report: 'All-Time High' with Half a Million Robots Installed in one Year," <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed>.
- [3] Ş. Çiğdem, I. Meidute-Kavaliauskiene, and B. Yıldız, "Industry 4.0 and Industrial Robots: A Study from the Perspective of Manufacturing Company Employees," 2023. doi: 10.3390/logistics7010017.
- [4] J. Bughin, "Artificial Intelligence The Next Digital Frontier?," 2017. [Online]. Available: www.mckinsey.com/mgi.
- [5] Fakultas Teknik Universitas Kahuripan Kediri, "Akankah Teknologi dapat Menggantikan Pekerjaan Manusia di Masa yang Akan Datang?," <https://ft.kahuripan.ac.id/akankah-teknologi-dapat-menggantikan-pekerjaan-manusia-di-masa-yang-akan-datang>.
- [6] F. Sholih, "Manfaat Robot bagi Industri," <https://sariteknologi.com/inialah-5-manfaat-robot-bagi-industri>.
- [7] Alexander Obaigbena *et al.*, "AI and human-robot interaction: A review of recent advances and challenges," *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 18, no. 2, pp. 321–330, Feb. 2024, doi: 10.30574/gscarr.2024.18.2.0070.
- [8] V. Wakchaure, K. Nandurkar, and S. Kallurkar, "Enhancing manufacturing excellence through integrated manufacturing programme," *International Journal of Integrated Supply Management*, vol. 5, pp. 376–400, Jun. 2010, doi: 10.1504/IJISM.2010.035644.
- [9] S. K. Arumugam and E. Iyer, "An Industrial IOT in Engineering and Manufacturing Industries - Benefits and Challenges," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 9, Jun. 2019
- [12] H. A. Gabbar and M. Idrees, "Arsip: Automated Robotic System for Industrial Painting," *Technologies (Basel)*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.3390/technologies12020027.
- [13] W. Chen, "Trajectory Planning for Spray Painting Robot Based on Point Cloud Slicing Technique," *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 6, 2020, doi: 10.3390/electronics9060908.
- [14] S. L. Jeng, W. H. Chieng, and Y. Chen, "Web-Based Human-Machine Interfaces of Industrial Controllers in Single-Page Applications," *Mobile Information Systems*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6668843.
- [15] N. Adha, O. Saputri, and M. P. Hannah, "Nurul Adha Oktarini Saputri dan Merrieayu Puspita Hannah Analisis Efektifitas Penggunaan Web Based Learning Pada Matakuliah Praktikum Struktur Data," *Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 8, no. 2, [Online]. Available: www.tutorialspoint.com.
- [16] P. Zhang, "Advanced Industrial Control Technology," *Advanced Industrial Control Technology*, Jan. 2010, doi: 10.1016/C2009-0-20337-0.
- [17] I. Universal Robots USA, "Why cobots?," <https://www.universal-robots.com/products/collaborative-robots-cobots-benefits/>.
- [18] Elgamar, "Buku Ajar Konsep Dasar Pemrograman Websi," *Ahlimedia Book*, 2020.
- [19] S. Steineck and J. Lange, "Material Behavior of PIR Rigid Foam in Sandwich Panels: Studies beyond Construction Industry Standard," *Materials*, vol. 17, no. 2, 2024, doi: 10.3390/ma17020418.
- [20] Behrouz A. Forouzan, *TCP/IP protocol suite*. McGraw-Hill Higher Education, 2010. Accessed: May 17, 2024. [Online]. Available: <http://www.myilibrary.com?id=338713>