

Simulasi dan Analisa Time Motion Robot Lengan 6-Axis Pada Proyek Otomasi Heating Line untuk Manufaktur Pegas Daun di PT.XYZ

Simulation and Time Motion Analysis of 6-Axis Arm Robot on Heating Line Automation Project for Leaf Spring Manufacturing at PT.XYZ

Arini Latifah¹, Denny Irawan²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik

^{1,2} Jl. Sumatera No.101, Kec. Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61121, Indonesia

email: ¹arinilatifah16@gmail.com, ²den2mas@umg.ac.id

Informasi Artikel

Diajukan, 5 Mei 2025
Diterima, 22 Mei 2025
Diterbitkan, 10 Juni 2025

Kata Kunci :

Manufaktur, Otomasi, Robot,
Studi Kelayakan

Keyword :

Manufacturing, Automation,
Robot, Feasibility Study

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi kelayakan berbasis simulasi terhadap penerapan sistem otomasi menggunakan robot lengan 6-axis pada lini produksi *heating* di industri manufaktur pegas daun. Studi kelayakan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Roboguide* untuk menganalisis kelayakan teknis, waktu siklus, dan produktivitas dari sistem yang diusulkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem robotik mampu mengurangi waktu siklus transfer material sebesar 50%, di mana waktu siklus transfer robot tercatat 17 detik, dibandingkan dengan 34 detik pada transfer manual. Penggunaan robot juga berhasil mengoptimalkan suhu pemanasan material, dengan suhu yang tercatat 920°C, lebih rendah 5% dibandingkan dengan transfer manual 970°C, yang berdampak pada efisiensi bahan bakar dari *heating furnace*. Dalam hal produktivitas, sistem robotik meningkatkan output produksi hingga 200%, dengan biaya operasional yang berkurang 64%, serta biaya manufaktur per unit yang turun hingga 82%. Secara keseluruhan, simulasi ini mengindikasikan bahwa integrasi robot lengan dalam sistem otomasi dapat meningkatkan efisiensi biaya, kualitas produk, serta daya saing industri manufaktur.

ABSTRACT

This study aims to conduct a feasibility analysis based on simulation regarding the implementation of an automation system using a 6-axis robotic arm in the heating production line of a leaf spring manufacturing industry. The feasibility study is carried out using *Roboguide* software to analyze the technical feasibility, cycle time, and productivity of the proposed system. The simulation results indicate that the robotic system can reduce the material transfer cycle time by 50%, with the robot's transfer cycle recorded at 17 seconds, compared to 34 seconds for manual transfer. The use of the robot also successfully optimized the material heating temperature, with a recorded temperature of 920°C, 5% lower than the manual transfer at 970°C, which contributes to improved fuel efficiency in the heating furnace. In terms of productivity, the robotic system increases production output by up to 200%, with operational costs reduced by 64%, and the manufacturing cost per unit decreased by 82%. Overall, this simulation suggests that the integration of robotic arms into automation systems can enhance cost efficiency, product quality, and the competitiveness of the manufacturing industry.

1. PENDAHULUAN

Pegas daun (*leaf spring*) merupakan komponen vital dalam industri manufaktur otomotif, terutama dalam sistem suspensi kendaraan. Fungsinya yang utama adalah meredam guncangan dan mengontrol transfer energi yang berpotensi merusak chassis kendaraan, sehingga pegas daun berperan penting dalam meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengendara. Dalam konteks ini, industri manufaktur pegas daun dituntut untuk mampu memenuhi standar kualitas yang tinggi, mengoptimalkan biaya produksi, serta menjamin ketepatan

waktu pengiriman. Keberhasilan dalam hal ini sangat penting untuk memastikan daya saing dan keberlanjutan industri otomotif secara keseluruhan [1].

Robot lengan memiliki peran penting pada penerapan industri 4.0 dalam manufaktur otomotif dengan meningkatkan kemampuan sistem otomasi pada tugas-tugas seperti *assembly*, *welding*, dan *material handling*, peran robot lengan tersebut berdampak pada peningkatan produktivitas serta penurunan biaya produksi [2], [3]. Dengan integrasi antara robot lengan dan sistem otomasi pada industri manufaktur otomotif banyak keuntungan yang dapat didapatkan, Namun juga terdapat sejumlah tantangan baik dari segi teknis seperti integrasi sistem otomasi dan robot lengan maupun dari segi non-teknis seperti kebutuhan tenaga kerja yang memiliki keahlian khusus dalam mengoperasikan dan merawat sistem yang telah diimplementasikan [4].

Dalam proses integrasi robot, pemrograman pada robot dapat dikategorikan menjadi 2 tipe yaitu *Offline programming* dan *online programming*. *Online programming* merupakan pemrograman yang membutuhkan robot aktual dimana operator menggerakkan robot pada posisinya dengan menggunakan *teach pendant*, sedangkan *offline programming* adalah pemrograman yang tidak membutuhkan robot aktual dalam proses pengembangan program pergerakan dan logika yang akan diimplementasikan [5], Sehingga pengembangan dan uji coba program robot dapat dilakukan tanpa mengganggu produksi, meminimalisir *down-time* dari proses produksi [6], [7]. Pemrograman *offline* dilakukan melalui perangkat lunak salah satu perangkat lunak yang digunakan adalah Roboguide. Roboguide merupakan perangkat lunak simulasi robot yang dikembangkan oleh FANUC yang memberikan *user* kemampuan untuk mendesain lingkungan virtual yang kompleks serta mensimulasikan robot pada lingkungan tersebut [8]. Roboguide juga memiliki beberapa fitur seperti simulasi *cycle-time* [9], serta integrasi dengan PLC dan HMI untuk melakukan simulasi *Hardware-in-Loop* (HiL) [10].

Integrasi sistem otomasi dan robot lengan pada lini produksi pegas daun menjadi salah satu solusi efektif untuk memastikan tercapainya aspek kualitas, efisiensi, dan ketepatan waktu pengiriman,. Dengan sistem otomasi robotik, variabilitas dari produk yang dihasilkan berkurang, memberikan kontribusi pada peningkatan konsistensi dan kualitas produk [11]. Selain itu, sistem otomasi memungkinkan pengurangan tenaga kerja untuk proses manual, yang menjadikan biaya produksi berkurang [12]. Penggunaan sistem otomasi juga dapat mempercepat waktu siklus produksi atau *cycle-time* produksi yang secara linear meningkatkan kapasitas produksi dari sebuah lini produksi, hal ini dikarenakan sistem otomasi dapat mengerjakan pekerjaan repetitif tanpa henti [13]. Maka dari itu, sistem otomasi pada industri manufaktur pegas daun merupakan sebuah solusi efektif yang mampu meningkatkan performa produksi baik dari segi kualitas maupun kuantitas, serta memberikan dampak positif pada efisiensi biaya operasional produksi [14].

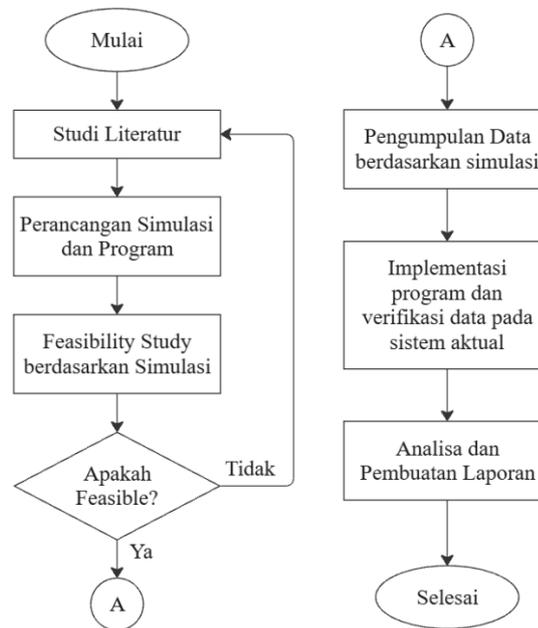
Feasibility study berbasis simulasi pada aplikasi robot dalam sistem otomasi industri manufaktur otomotif memberikan keuntungan berupa peningkatan efisiensi, akurasi, dan efektivitas biaya pada proyek yang dikerjakan. Simulasi memberikan representasi pergerakan sistem yang akurat dari sistem aktual, sehingga implementasi pada line produksi dapat dilakukan dengan tepat dan presisi, meningkatkan tingkat kesuksesan proyek yang dijalankan [15]. Selain itu, simulasi virtual memfasilitasi pemrograman *offline* yang memberikan kesempatan untuk melakukan pengembangan dan *debugging* sebelum instalasi pada *line* produksi dilakukan [16], Sehingga pengetesan dari program pergerakan dan logika robot dapat dilakukan tanpa mengganggu lini produksi [17], [18]. Pengetesan yang dilakukan melalui *offline programming* dapat mendeteksi potensi bahaya sehingga kerugian berupa kerusakan pada mesin maupun *safety* dari operator dapat dihindarkan dengan pembuatan dan implementasi standar operasi mesin yang tepat guna dan akurat [15], [19]. Maka dari itu, dengan melakukan *feasibility study* berbasis simulasi secara komprehensif, pengurangan waktu *commissioning* dan percepatan waktu *deployment* dari sistem otomasi dapat dicapai sehingga dapat mengurangi *down time* dari produksi.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, akan dilakukan *feasibility study* berbasis simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Roboguide pada sistem transfer *camber* di lini produksi heating pada manufaktur pegas daun untuk meningkatkan efisiensi dari integrasi sistem robot dan sistem otomasi baik pada fase instalasi maupun fase produksi.

Penelitian ini mengarah pada *feasibility study* dari proyek otomasi transfer *heating production line* pada industri manufaktur pegas daun dimana proyek otomasi memodifikasi proses transfer konvensional yang menggunakan tenaga manusia menjadi proses transfer otomatis menggunakan 2 buah robot lengan. Studi kelayakan dilakukan menggunakan perangkat lunak Roboguide untuk meneliti kelayakan teknis, waktu-siklus, serta produktivitas dari sistem yang telah dirancang. Metodologi penelitian terbagi menjadi beberapa tahapan yang terstruktur. Penelitian memiliki 4 tahapan utama yaitu perancangan simulasi dan pemrograman pada

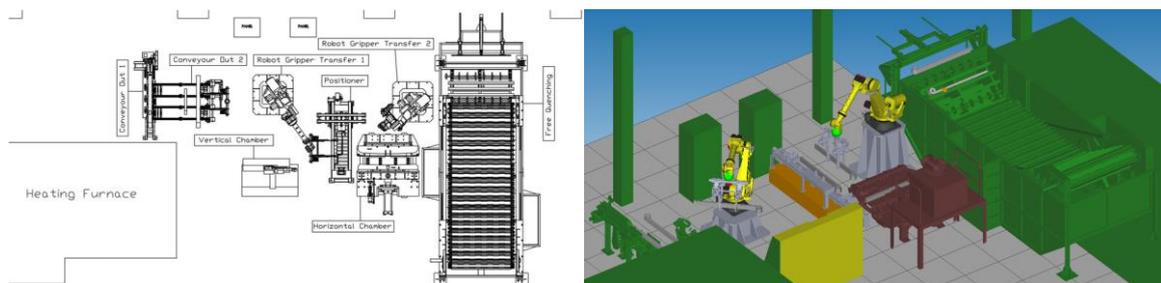
Roboguide, analisa kelayakan teknis sistem pada Roboguide, implementasi program serta verifikasi data pada sistem aktual, dan analisa produktivitas dari sistem yang akan diimplementasikan, Gambar 1 merupakan *flowchart* yang memvisualisasikan tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

2.1. Perancangan Simulasi dan Pemrograman

Perancangan simulasi dilakukan di dalam lingkungan virtual Roboguide, dengan memanfaatkan aset tiga dimensi yang disediakan oleh Roboguide serta desain tiga dimensi dari sistem yang akan dibangun, yang dihasilkan melalui perangkat lunak eksternal. Aset-aset ini digunakan untuk membangun lingkungan virtual tiga dimensi yang merepresentasikan sistem yang sedang dikembangkan. Penataan dan penempatan aset tersebut dilakukan berdasarkan *layout* yang telah dirancang pada modifikasi sistem aktual. *Layout* ini mengacu pada sistem terdahulu yang menggunakan transfer konvensional dengan tenaga manusia. Dengan demikian, penyesuaian dilakukan untuk menggantikan sistem transfer manual dengan sistem transfer otomatis yang memanfaatkan dua buah robot lengan 6-axis. Gambar 2 memperlihatkan perbandingan antara *layout* dua dimensi dari sistem terdahulu dan lingkungan virtual yang telah dibuat di dalam Roboguide.



Gambar 2. Perbandingan *Layout* 2D dan Lingkungan 3D pada Perangkat Lunak Roboguide

Setelah membangun lingkungan 3 dimensi pada Roboguide, langkah selanjutnya adalah pemilihan model robot lengan 6-axis dan kontroler yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada penelitian ini, robot tipe R2000i/165F dan kontroler Robot R30i Plus dipilih untuk diterapkan pada sistem transfer yang akan dibangun. Roboguide menyediakan pilihan untuk memilih model robot, kontroler, serta perangkat lunak yang digunakan pada kontroler tersebut. Selain itu, desain dan data terkait *workpiece* yang akan dikerjakan, yaitu KR-15 yang merupakan varian dengan spesifikasi terberat pada spesifikasi kerja yang telah dirancang untuk lini produksi *Heating Line*, akan dimasukkan ke dalam lingkungan 3 dimensi. Dengan memilih varian dengan spesifikasi terberat, seluruh varian produk dapat direpresentasikan dalam simulasi karena konfigurasi *payload* pada robot

dapat mengakomodasi varian-varian lain yang lebih ringan. Dengan memasukkan data *workpiece* yang akurat, simulasi yang dibangun semakin mendekati sistem aktual dan memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap kinerja sistem. Data parameter terkait simulasi, spesifikasi kerja, serta spesifikasi dari varian KR-15 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Parameter Simulasi Sistem

Parameter	Keterangan
Model Robot	R2000i/165F
Model Kontroler	R30iB Plus
Versi Perangkat Lunak	V9.10
Versi Workcell	HandlingPRO

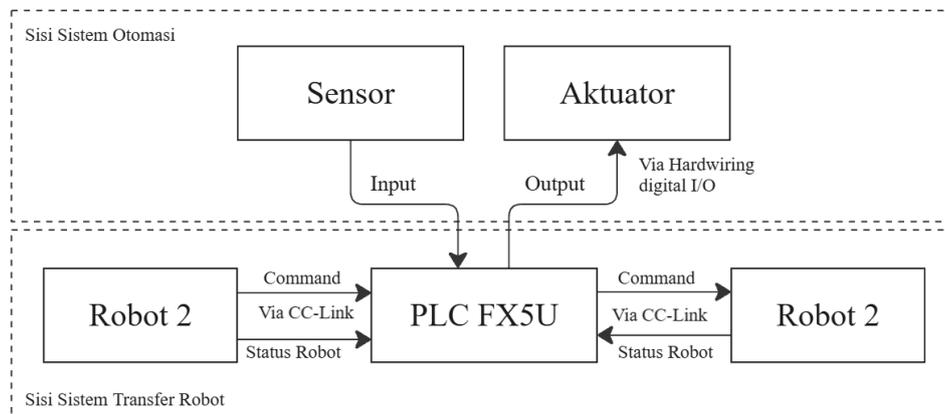
Tabel 2. Tabel Spesifikasi Kerja

Keterangan	Spesifikasi Kerja
Panjang Material	750 mm – 2500 mm
Lebar Material	70 mm – 120 mm
Tebal Material	26mm – 48 mm
Berat Material	Maksimal 45 kg

Tabel 3. Spesifikasi Material Tipe KR-15

Panjang	Lebar	Tebal	Berat
965 mm	100 mm	38 mm	43 kg

Setelah dilakukan konfigurasi sistem pada perangkat lunak Roboguide, dilakukan proses pemrograman *offline* pada Roboguide. Pemrograman *offline* dilakukan dengan beberapa tahap, pertama dilakukan pemetaan *input* dan *output digital* sebagai sarana komunikasi antara robot dan PLC, kemudian dilakukan konfigurasi komunikasi antara robot dan PLC via protokol komunikasi *CC-Link*, dimana Robot 1 dan 2 akan bertindak sebagai *slave* dan PLC sebagai *master* konfigurasi komunikasi ini dapat dilihat pada Gambar 3. Selanjutnya, dilakukan pemrograman pergerakan dengan menyimpan posisi robot pada titik-titik tertentu untuk menentukan jalur pergerakan, memilih tipe pergerakan seperti *linear* atau *joint*, serta mengatur kecepatan dan akselerasi pada setiap pergerakan. Terakhir dilakukan pemrograman logika dengan memasukkan syarat-syarat dan trigger dari PLC, serta memberikan informasi mengenai posisi robot kepada PLC. Terdapat 4 program yang akan dibuat pada tahap ini, pertama adalah program *manual run* untuk menggerakkan robot dengan instruksi operator via *Human Machine Interface* (HMI), kedua adalah program *auto run* untuk menggerakkan robot secara otomatis sesuai sekuens dari sistem *heating line*, ketiga adalah program *homing* yang digunakan untuk menggerakkan robot dari posisi mana saja kembali ke posisi *home* atau posisi awal.

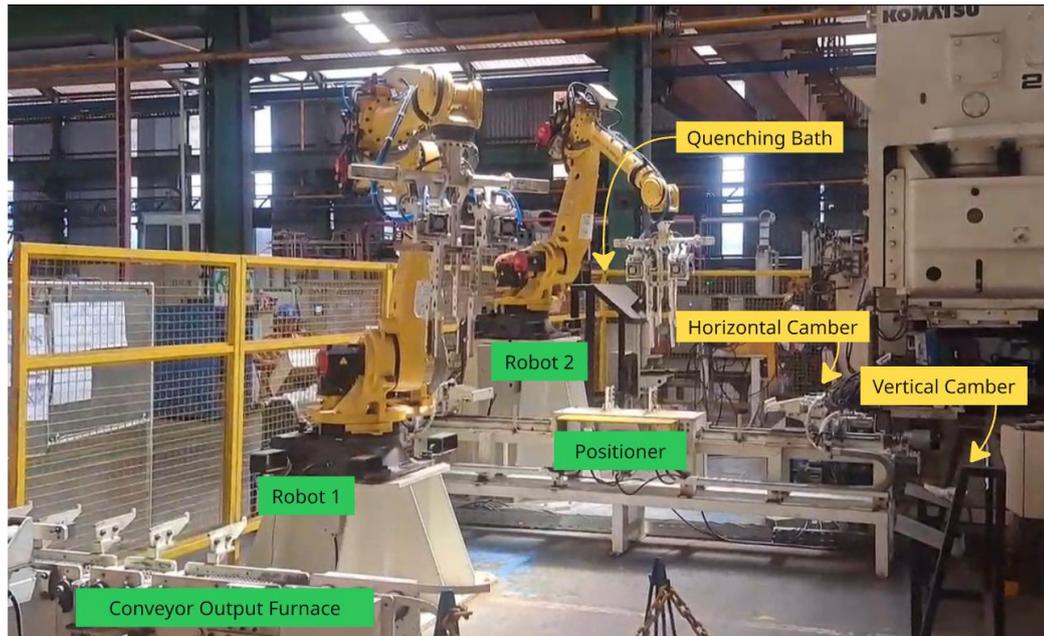


Gambar 3. Skema Sistem Transfer Otomatis

2.2. Pengujian pada Sistem *Hardware-in-Loop*

Setelah dilakukan pemrograman *offline* kemudian dilakukan pengujian dengan melibatkan dua buah robot dan sistem otomasi yang diajarkan dengan metode *Hardware-in-Loop*. Metode HiL dilakukan dengan

tujuan percobaan integrasi sistem, verifikasi data dari simulasi, dan melakukan uji coba sistem secara keseluruhan tanpa mengganggu aktivitas produksi pada lini produksi yang akan diotomasi. Dalam pengujian HiL yang akan dilakukan, sistem diposisikan berdasarkan desain *layot* yang telah dibuat. Sistem tambahan seperti *conveyor output furnace* dan *material positioner* diinstall dan difungsikan seperti pada sistem aktual nantinya berjalan, sedangkan sistem *vertical* dan *horizontal press camber* akan digantikan dengan meja peraga untuk menaruh material. Fungsi kerja *vertical* dan *horizontal press camber* akan direpresentasikan dengan lampu LED yang menandakan status dari mesin. Pada sisi robot, robot akan dikonfigurasi dan di *backup* dengan program hasil dari pemrograman *offline*. Akan ditambahkan fungsi *timer* untuk mengukur waktu dari tiap-tiap sekuens pergerakan dari robot. Pada Gambar 4 dapat dilihat area untuk pengujian HiL dengan dua robot yang telah dipasang oleh *gripper*.



Gambar 4. Layout untuk Proses Pengujian HiL

Pengujian juga dilakukan dengan membawa berbagai macam *workpiece* dari beberapa varian yang terdapat pada menu sistem *Heating Line*. Pengujian ini dimaksudkan untuk melihat kinerja robot dalam mengakomodasi berbagai macam varian produk, kinerja dilihat dari *lead time* dari masing-masing varian dengan pengaturan kecepatan yang sama. Pengujian dilakukan untuk menguji stabilitas dan fleksibilitas sistem terhadap variasi varian produk.

2.3. Analisa Produktivitas

Analisis produktivitas dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dampak implementasi sistem otomasi berbasis robot lengan 6-axis pada lini produksi *heating line*. Tujuan utama dari analisa produktivitas ini adalah untuk mengukur sejauh mana sistem baru meningkatkan output produksi serta efisiensi operasional dibandingkan dengan sistem konvensional yang sebelumnya digunakan. Perhitungan *Return on Investment* juga akan dilakukan pada sistem yang diajukan.

Pertama, analisa produktivitas dimulai dengan membandingkan waktu siklus antara sistem konvensional dan sistem otomasi berbasis robot lengan 6-axis yang diajukan. Waktu siklus dari masing-masing sistem digunakan untuk menghitung jumlah produk yang dihasilkan dalam satuan waktu. Hasil analisa dapat digunakan untuk menentukan kapasitas produksi dari sistem otomasi yang akan diimplementasikan. Untuk menghitung kapasitas produksi per-*shift* waktu siklus akan dibagi dengan waktu kerja selama satu *shift* dikurangi *downtime* mesin untuk melakukan *set-up* dan persiapan, kemudian hasil akan dikalikan dengan konstanta *availability* mesin yang merupakan rata-rata *availability* mesin pada PT.XYZ yaitu sebesar 80%. Perhitungan kapasitas produksi akan menjadi acuan penentuan target dari sistem otomasi yang akan diimplementasikan

$$\text{Kapasitas Produksi} = \frac{(\text{Waktu dalam satu shift} - \text{Waktu Downtime Mesin}) \times 3600}{\text{Waktu siklus mesin}} \times 0.8 \quad (1)$$

Selain itu, untuk memastikan efisiensi dari sistem, dilakukan juga perbandingan biaya operasional per-unit yang mencakup biaya *manpower* dan energi karena pada sistem ini dilakukan penghematan biaya operasional untuk *manpower* yang dialihkan pada energi yang dibutuhkan oleh sistem otomasi. Pada sistem robot juga dapat ditarik data pemakaian kWh dalam satu hari dari perangkat lunak Roboguide sehingga perhitungan biaya operasional bisa dihitung lebih akurat. Selain itu, perhitungan dari biaya manufaktur per kilogram juga akan dilakukan untuk mengetahui perbandingan dan penghematan yang dilakukan dalam aktivitas produksi. Diketahui pada sistem *heating line* yang akan diotomasi pada satu hari, rata-rata terdapat 4 kali set-up sehingga diketahui secara harian terdapat rata-rata 3 varian yang dikerjakan. Dari data yang didapatkan terdapat 2 varian yang dikerjakan secara reguler. Dari data output produksi *Heating Line*, didapatkan rata-rata berat dari satu buah produk yang keluar dari lini produksi adalah 27 kg. Data tersebut akan digunakan dalam perhitungan biaya manufaktur per kilogram. Rumus dari perhitungan tersebut dapat ditemui pada persamaan (2) dan (3).

$$\text{Biaya Operasional} = (\text{Jumlah manpower} \times \text{gaji manpower}) + \text{Biaya energi} \quad (2)$$

$$\text{Biaya Manufaktur} = \frac{\text{Biaya Operasional}}{\text{Output dalam Kg}} \quad (3)$$

Kemudian, perhitungan ROI juga dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas investasi dalam sistem otomasi. ROI dihitung dengan mengukur penghematan biaya yang dihasilkan dari peningkatan produktivitas dan pengurangan biaya tenaga kerja. ROI dihitung dengan membagi hasil penghematan dari sistem yang diajukan dengan total investasi dikalikan 100%. Dihitung juga *break-even point* atau BEP dari sistem berdasarkan penghematan sistem, dari hasil penghematan pertahun akan dikalkulasikan berapa tahun sistem akan mencapai BEP. Perumusan ROI dapat dilihat pada rumus (4)

$$\text{ROI} = \frac{\text{Penghematan per Tahun}}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \quad (4)$$

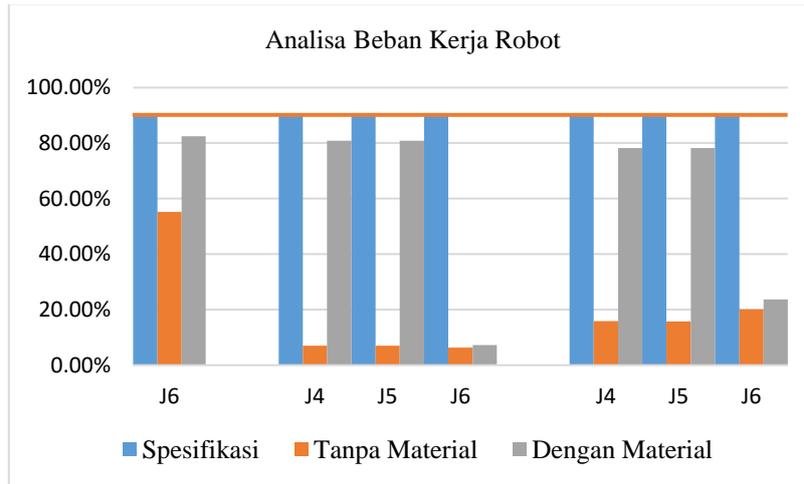
$$\text{BEP} = \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Penghematan per Tahun}} \quad (5)$$

Biaya investasi mencakup 2 buah robot FANUC model R2000i/165F yang dibeli dengan harga diskon atas pembelian dengan jumlah banyak yang dilakukan PT.XYZ, biaya unit mekanik tambahan yaitu positioner yang, serta perangkat elektrik berupa sensor dan aktuator juga akan dihitung. Dikarenakan instalasi dilakukan oleh departemen proyek maka biaya instalasi akan dihitung dengan biaya *manpower* yang mengeksekusi proyek dikalikan jangka waktu 6 bulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat beberapa hasil dan analisa yang didapatkan pada penelitian yaitu studi kelayakan teknis, waktu siklus sistem, dan produktivitas. Pertama dilakukan analisa terhadap kelayakan teknis beban muat terhadap spesifikasi robot. Dimana dilakukan ekstraksi data berupa data berat, serta koordinat pusat masa dan inersia pada sumbu x, y, z dari gripper robot dan material KR-15 pada perangkat lunak Solidworks, Material KR-15 digunakan sebagai acuan material terberat pada menu dikarenakan bobot material KR-15 berada pada 95% daripada bobot maksimal spesifikasi sistem. Kemudian dilakukan kalkulasi pada perangkat lunak Roboguide dan didapatkan hasil momen inersia terhadap J4, J5, dan J6 dari robot. Pada Gambar 5 terlihat bahwa dengan dan tanpa beban material, beban kerja dari robot masih sesuai dengan spesifikasi dari robot tipe R2000i/165F dimana presentase beban kerja pada lengan J4-J5 robot masih berada pada presentase 82.42%, hal ini masih dapat diterima karena beban kerja maksimal robot adalah 90% dari spesifikasi robot. Sehingga, varian-varian lain yang memiliki bobot kurang dari varian KR-15 dapat diakomodasi oleh sistem transfer yang dikerjakan.

Setelah dilakukan validasi terkait *payload* dari *workpiece* dilakukan pengujian waktu siklus dari robot baik dari simulasi maupun dengan metode HiL, pertama dibandingkan hasil simulasi dari perangkat lunak Roboguide dan metode HiL.



Gambar 5. Analisa Beban Kerja Robot

Dilakukan pengujian dan pengambilan data waktu siklus kedua robot baik dari simulasi dan dari metode HiL dengan kecepatan optimal yang didapatkan yaitu 85%. Dari data yang diperoleh, terdapat deviasi antara waktu siklus pada simulasi dan metode HiL, dimana waktu pada simulasi Robot 1 dan Robot 2 memiliki waktu siklus *Home-Home* yang lebih cepat dibandingkan metode HiL, dimana pada Robot 1 terdapat deviasi sebesar 0.21 detik dan pada Robot 2 terdapat deviasi sebesar 0.4 detik. Deviasi yang dialami tidak terlalu signifikan dikarenakan konfigurasi *payload* yang sudah sesuai antara simulasi dan kondisi aktual. Perbedaan didapatkan karena terdapat penyesuaian posisi yang dilakukan pada metode HiL pada robot 1 dan robot 2, pergeseran posisi tersebut mengakibatkan perbedaan waktu tempuh antara satu titik posisi ke titik posisi lainnya. Sehingga pada metode HiL dan metode simulasi terdapat perbedaan *lead time* sebesar 1 detik. Perbandingan antara waktu siklus dari data simulasi dan metode HiL dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Waktu Siklus Simulasi dan HiL

Simulasi		Metode HiL	
Keterangan	Waktu	Keterangan	Waktu
<i>Home-Home</i> Robot 1	17.44 detik	<i>Home-Home</i> Robot 1	17.65 detik
<i>Home-Home</i> Robot 2	15.05 detik	<i>Home-Home</i> Robot 2	15.45 detik
<i>Lead Time</i>	46.9 detik	<i>Lead Time</i>	47.51 detik

Setelah itu, dilakukan pengujian untuk berbagai tipe varian pada metode HiL untuk menguji stabilitas dan fleksibilitas robot terhadap varian produksi dari lini produksi *heating*. Pengujian dilakukan dengan 4 tipe yaitu KR-15, MSM 02358-01, MSM 03630-02, dan MSM 02838-01. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem stabil dalam melakukan transfer dengan berbagai macam varian. Tidak ada perbedaan waktu antara 1 varian dengan varian lainnya. Hal ini dapat terjadi karena konfigurasi *payload* yang telah diset-up pada robot merupakan *payload* dengan varian terberat, sehingga varian-varian dibawah konfigurasi tersebut dapat teratasi dengan *tuning* robot terhadap *payload* terberat. Tabel 5 menunjukkan data *lead time* dari masing-masing varian pada pengujian HiL.

Tabel 5. Pengujian Metode HiL dengan Berbagai Varian Produk

Tipe Varian Produk	Waktu
KR-15	47.51 detik
MSM 02358-01	47.5 detik
MSM 03630-02	47.49 detik
MSM 02838-01	47.5 detik

Dari hasil pengujian metode HiL didapatkan waktu siklus untuk kedua robot, kemudian dilakukan analisa pergerakan waktu untuk menentukan waktu *feeding* dari *furnace*, Pada tabel 6 terlihat didapatkan waktu siklus untuk *feeding* dari *furnace* adalah 17 detik, dibandingkan dengan transfer manusia yang memiliki waktu *feeding* 34 detik. Selain itu waktu material dari keluar *furnace* hingga masuk pada proses *quenching* adalah 47.5 detik sedangkan transfer manusia membutuhkan waktu 72 detik. Hal ini berefek pada suhu pemanasan

dari *heating furnace*. Waktu proses transfer berpengaruh pada kebutuhan suhu pemanasan material dimana semakin lama waktu proses transfer maka semakin tinggi pula suhu yang harus dicapai oleh material. Hal ini dikarenakan terdapat standar proses *quenching* membutuhkan suhu diatas 750°C. Dengan konstanta pendinginan material sebesar 3°C per detik didapati bahwa suhu pemanasan material pada sistem transfer menggunakan robot adalah 920°C dimana suhu pemanasa 5% lebih rendah bila dibandingkan dengan suhu pada transfer manusia berefek pada efisiensi bahan bakar yang digunakan pada *furnace*. Penurunan suhu *heating furnace* juga berdampak pada efisiensi energi yang dibutuhkan oleh *heating furnace* khususnya pada sumber energi gas. Dimana pada transfer manusia kebutuhan gas akan cenderung lebih tinggi karena kebutuhan pemanasan yang semakin tinggi, dibandingkan sistem transfer berbasis robot lengan 6-axis yang membutuhkan suhu pemanasan yang lebih rendah. Selain itu, suhu proses *quenching* juga lebih tinggi 3% bila dibandingkan dengan proses dengan transfer manusia, Hal ini berdampak pada kualitas produk dimana suhu proses *quenching* dengan menggunakan robot berada pada suhu optimal dari standar yaitu 780°C. Tabel 6 memuat perbandingan waktu siklus dari masing-masing metode.

Tabel 6 Perbandingan Waktu Siklus Transfer Robot dan Manusia

Keterangan	Transfer Robot	Transfer Manusia	Presentase
Lead Time	47.5	72	64%
Cycle Time	17	34	50%
Suhu Proses Quenching	778°C	754°C	103%
Suhu Pemanasan Material	920°C	970°C	95%

Pada sisi produktivitas, sistem transfer otomatis berbasis robot lengan 6-axis memiliki waktu siklus yang lebih cepat yang berdampak pada peningkatan kapasitas produksi. Dengan menggunakan waktu siklus yang didapatkan pada pengujian HiL, dapat dilakukan kalkulasi kapasitas produksi dari sistem transfer otomatis dengan menggunakan rumus (3). Dengan rata-rata set-up terjadi 3 kali dalam 1 *shift* dan *availability* mesin berada pada angka 80%. Maka didapatkan kapasitas produksi dari sistem terbaru adalah 1270 produk per-*shift*. Dibandingkan dengan target sistem aktual yang saat ini hanya berada pada 600 produk per-*shift*, sehingga sistem transfer otomatis berbasis robot 6-axis meningkatkan kapasitas produksi sebesar 212% dari sistem aktual. Selain itu, sistem transfer otomatis berbasis robot 6-axis hanya membutuhkan 2 *manpower* untuk pengoperasiannya. Dibandingkan dengan transfer manusia yang membutuhkan 6 *manpower*, sistem transfer otomatis berbasis robot menawarkan biaya operasional yang lebih murah bila dibandingkan dengan sistem transfer berbasis manusia. Perbandingan biaya operasional dilakukan antara kedua sistem, dimana biaya operasional pada sistem transfer robot hanya bergantung pada 2 *manpower* dan harga energi listrik yang dibutuhkan oleh robot, sedangkan biaya operasional sistem transfer manusia bergantung pada biaya 6 *manpower*. Data kwh robot didapatkan melalui *software* Roboguide sebesar 28.17 kWh per *shift* atau seharga Rp 28.077. Dengan menggunakan gaji *manpower* berdasarkan Upah Minimum Kerja yang diterapkan di Kabupaten Gresik, didapatkan gaji *manpower* dalam 1 hari adalah Rp 195,935.00, sehingga dalam satu hari biaya operasional dari transfer berbasis manusia didapatkan sebesar Rp 1,175,610.00 dan transfer berbasis robot didapatkan sebesar Rp 419.947.04, Terlihat terjadi penurunan biaya operasional sebesar 64% dari biaya operasional metode sebelumnya. Data dari perbandingan produktivitas antara sistem transfer robot dan manusia dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Produktivitas Sistem Transfer Manusia dan Robot

Keterangan	Transfer Robot	Transfer Manusia	Presentase
Kapasitas Produksi	1270	600	212%
Tenaga Kerja	2	6	33%
Biaya Operasi	Rp 419,947.04	Rp 1,175,610.00	36%

Kemudian dihitung presentase ROI dari sistem transfer otomatis berbasis robot lengan 6-axis, pertama dibutuhkan data investasi atau *Capital Expenditure* yang dibutuhkan dalam proses instalasi sistem. Dikarenakan instalasi dilakukan oleh department *in-house* dari PT. XYZ maka investasi instalasi akan dihitung dari total gaji *manpower* yang mengerjakan selama 6 bulan proyek berlangsung dimana terdapat 3 *manpower* yang mengerjakan proyek sehingga didapatkan biaya instalasi sebesar Rp 104,400,000.00. Kemudian harga 2 set robot Fanuc tipe R2000i/165F yang didapatkan dengan harga Rp 600,000,000.00. Selanjutnya biaya fabrikasi sistem mekanikal tambahan seperti *positioner* dan *C/V output heating* oleh vendor eksternal didapatkan penawaran dengan harga Rp 84,000,000.00. Selanjutnya dihitung penghematan yang dilakukan dalam 1 tahun dengan implementasi sistem yang telah dibuat. Dari perbandingan biaya operasional antara sistem transfer berbasis manusia dan robot, didapatkan penghematan dalam setahun sebesar Rp253,902,768.00. Penghematan

dicapai dengan pengurangan *manpower* sebanyak 4 orang yang digantikan dengan energi yang dibutuhkan Robot. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus (4) dan (5). Dimana didapatkan ROI dari sistem sebesar 32.2% dan BEP selama 3 tahun 2 bulan. Data biaya investasi ROI dan BEP dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Biaya Investasi, ROI, dan BEP sistem transfer otomatis berbasis robot lengan 6-axis

Keterangan	Investasi
Fanuc Robot set 2 pcs	Rp 600,000,000.00
Fabrikasi	Rp 84,000,000.00
Instalasi	Rp 104,400,000.00
Total	Rp 788,400,000.00
ROI	32.20%
BEP	3 tahun 2 bulan

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini terdapat kesimpulan dan saran atau rekomendasi yang didapatkan, berikut merupakan hasil kesimpulan dan saran yang didapatkan.

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian metode *Hardware-in-Loop* yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem otomasi berbasis robot lengan 6-axis pada lini produksi *heating* di industri manufaktur pegas daun memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi operasional, produktivitas, dan kualitas produk secara keseluruhan. Sistem robotik yang diusulkan berhasil mengurangi waktu siklus transfer material hingga 50%, dengan waktu siklus transfer robot yang tercatat hanya 17 detik untuk berbagai tipe varian, dibandingkan dengan 34 detik pada metode transfer manual. Keunggulan ini tidak hanya mempercepat proses produksi tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada *furnace*, di mana suhu pemanasan material yang dihasilkan oleh sistem robotik lebih optimal, yaitu 920°C, yang lebih rendah 5% dibandingkan dengan suhu pada metode manual yang mencapai 970°C. Efisiensi energi yang lebih baik ini turut mengurangi konsumsi bahan bakar *furnace*, yang secara langsung berkontribusi pada pengurangan biaya operasional.

Lebih jauh lagi, hasil pengujian menunjukkan peningkatan kapasitas produksi yang signifikan bila dibandingkan dengan sistem aktual. Terjadi kenaikan kapasitas produksi sebesar 212% atau sebesar 1270 produk per-*shift*, dibandingkan dengan sistem aktual yang saat ini memiliki kapasitas produksi sebanyak 600 produk per-*shift*. Sementara, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan berkurang drastis, dari 6 tenaga kerja pada metode manual menjadi hanya 2 tenaga kerja pada sistem robotik. Hal ini berimbas pada pengurangan biaya operasional sebesar 64%, yang menjadikan sistem robotik lebih ekonomis dan kompetitif.

Dalam tinjauan finansial dihitung nilai *Return of Investment* (ROI) dan *Break-even Point* (BEP) dengan penghematan biaya operasional sebesar 64% didapatkan nilai ROI sebesar 32,2% mengindikasikan efektivitas dari investasi sistem transter otomatis berbasis robot lengan 6-axis yang akan diimplementasikan. Selain itu, dengan hanya penghematan didapatkan BEP selama 3 tahun 2 bulan, menunjukkan bahwa investasi dalam sistem robotik ini akan memberikan keuntungan dalam jangka menengah dan panjang. Dengan peningkatan kapasitas produksi sebesar 212% kapabilitas peningkatan *revenue* dari output produk juga semakin meningkat, dapat disimpulkan sistem transfer otomatis yang diajukan tidak hanya mengurangi biaya operasional namun meningkatkan daya sayng industri.

Dengan mempertimbangkan hasil-hasil tersebut, penerapan sistem otomasi berbasis robot lengan 6-axis terbukti menjadi solusi yang sangat efektif untuk menghadapi tantangan-tantangan yang ada dalam industri manufaktur, khususnya pada sektor otomotif. Pengurangan biaya, peningkatan kualitas produk, serta efisiensi operasional yang dihasilkan dari sistem robotik ini memberikan kontribusi besar terhadap daya saing industri. Oleh karena itu, integrasi robot lengan dalam sistem otomasi tidak hanya memberikan keuntungan dari segi teknis, tetapi juga merupakan langkah strategis yang mendukung keberlanjutan dan pertumbuhan industri manufaktur di masa depan. Hal ini semakin mempertegas bahwa robotika dan otomasi memainkan peran penting dalam memodernisasi lini produksi, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kinerja industri secara keseluruhan. Penggunaan sistem otomasi pada lingkungan industri manufaktur memiliki dampak yang signifikan khususnya pada biaya operasional dari industri tersebut. Pada penelitian ini, sistem otomasi yang dirancang memiliki produktivitas yang lebih tinggi 200% bila dibandingkan dengan lini produksi yang menggunakan sistem transfer konvensional yang masih menggunakan manusia. Selain itu, biaya operasional juga dapat diturunkan dengan pengurangan biaya *manpower* yang digantikan dengan biaya operasional robot dengan penurunan yang signifikan hingga 64%. Sehingga dalam jangka panjang, penggunaan robot pada sistem transfer *heating line* pada PT. XYZ dapat memberikan keuntungan yang berkelanjutan.

4.2. Saran

Setelah penelitian dilakukan terdapat beberapa saran dan rekomendasi yang ditemukan terkait sistem dan penelitian yang dilakukan. Pertama adalah efisiensi penggunaan robot, pada penelitian ini digunakan dua buah robot lengan 6-axis untuk melakukan proses transfer satu buah produk dari *output furnace* hingga *input quenching bath*. Penggunaan dua buah robot untuk melakukan satu tugas secara sekuensial mempercepat proses waktu siklus namun memakan biaya investasi yang lebih tinggi, rekomendasi dari penulis adalah utilisasi *axis* ke-7 atau J7 dimana robot dapat bergerak pada suatu sumbu, dengan mengimplementasikan penambahan *axis* diharapkan biaya investasi dari sistem yang diajukan dapat berkurang. Kedua, adalah peningkatan fleksibilitas dan ekspansibilitas dari sistem transfer, pada saat ini sistem transfer yang diajukan hanya dapat mengerjakan varian terberat yaitu KR-15, ketika terdapat penambahan produk dengan berat lebih, maka sistem tidak dapat mengakomodasi varian tersebut. Perhitungan ekspansibilitas dan fleksibilitas dari sistem harus diperhitungkan sebelum proses desain dan fabrikasi dilakukan untuk memberikan ruang kepada *user* untuk meningkatkan spesifikasi produk yang dapat dikerjakan pada sistem yang dibuat, sebagai contoh penggunaan model robot bias diubah ke R2000i/210F yang memiliki spesifikasi *payload* yang lebih tinggi. Ketiga, adalah penambahan analisa hasil kualitas produk yang dihasilkan dari sistem, dimana pada saat ini proyek masih belum pada tahap implementasi sehingga data untuk kualitas belum dapat diambil dan diverifikasi, ada baiknya dipenelitian kedepan, dapat diukur *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang tidak hanya menyangkut *availability* dan *productivity* dari sistem, Namun juga *quality* dari sistem. Terakhir, adalah penambahan analisa profitabilitas dari sistem yang diimplementasikan berdasarkan harga produk di pasaran. Dengan adanya sistem bagaimana nantinya produk bias makin bersaing, dan bagaimana keuntungan hasil produk mempengaruhi BEP dari sistem yang diajukan juga dapat dianalisa secara mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Gök, "Prototype production and investigation of mechanical properties of leaf springs used in air suspension systems," *Eng. Solid Mech.*, vol. 12, no. 1, pp. 33–40, 2024, doi: 10.5267/j.esm.2023.7.004.
- [2] S. Sanjeev Vyaas, G. Shamsudeen Babu, S. S. Raghulnath, P. Manikandan, and E. Joel, "Robotic Arm for Industry Automation," in *Intelligent Robots and Cobots*, 1st ed., V. Ramasamy, S. Balamurugan, and S. Peng, Eds., Wiley, 2025, pp. 203–220. doi: 10.1002/9781394198252.ch10.
- [3] M. Gooroochurn, "Robotics and Automation in Industry 4.0," in *Intelligent and Sustainable Engineering Systems for Industry 4.0 and Beyond*, 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 2025, pp. 71–91. doi: 10.1201/9781003511298-4.
- [4] R. Adekola Adebayo, N. Constance Obiuto, I. Clinton Festus-Ikhuoria, and O. Kayode Olajiga, "Robotics in Manufacturing: A Review of Advances in Automation and Workforce Implications," *Int. J. Adv. Multidiscip. Res. Stud.*, vol. 4, no. 2, pp. 632–638, Mar. 2024, doi: 10.62225/2583049X.2024.4.2.2549.
- [5] P. Pasang, P. Kerdsonmya, J. Kunanopadol, V. Mettanant, and T. Katejanekarn, "Simulation of a welding station with RobotStudio," *Sci. Eng. Health Stud.*, p. 24040010, Dec. 2024, doi: 10.69598/sehs.18.24040010.
- [6] F. Müller, M. Koch, and A. Hasse, "User Study to Validate the Performance of an Offline Robot Programming Method That Enables Robot-Independent Kinesthetic Instruction through the Use of Augmented Reality and Motion Capturing," *Robotics*, vol. 13, no. 3, p. 35, Feb. 2024, doi: 10.3390/robotics13030035.
- [7] H. Fu, Y. Bai, R. Sun, and C. Pang, "Technical analysis and research based on offline programming software for robots," in *International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Manufacturing Systems (ICAMTMS 2022)*, Q. Deng, Ed., Shijiazhuang, China: SPIE, Aug. 2022, p. 105. doi: 10.1117/12.2645794.
- [8] Petroleum-Gas University of Ploiesti, Romania, D.-L. Baboi, J. Andreoiu, Petroleum-Gas University of Ploiesti, Romania, G. Bucur, and Petroleum-Gas University of Ploiesti, Romania, e-mail:gbucur@upg-ploiesti.ro, "ARC WELDING ROBOTIC FLEXIBLE CELL SIMULATION USING ROBOGUIDE SOFTWARE," *Romanian J. Pet. Gas Technol.*, vol. 5 (76), no. 1, pp. 145–158, Aug. 2024, doi: 10.51865/JPGT.2024.01.11.
- [9] A. A. Santos, J. Haladus, F. Pereira, C. Felgueiras, and R. Fazenda, "Simulation Case Study for Improving Painting Tires Process Using the Fanuc Roboguide Software," in *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems*, F. J. G. Silva, A. B. Pereira, and R. D. S. G. Campilho, Eds., in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 517–524. doi: 10.1007/978-3-031-38241-3_58.
- [10] N. Rawashdeh, R. Bondalapati, P. Patil, G. S. Ajmani, and S. Akki, "Hardware-in-the-loop Simulation of a Programmable Logic Controller, Industrial Robots and Conveyor Systems Using RoboGuide," in *2024 22nd International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, Amman, Jordan: IEEE, Sep. 2024, pp. 132–137. doi: 10.1109/REM63063.2024.10735684.
- [11] B. Lal, V. S. N, M. A. Kumar, N. Chinthamu, and S. Pokhriyal, "Development of Product Quality with Enhanced Productivity in Industry 4.0 with AI Driven Automation and Robotic Technology," in *2023 Second International*

- Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), Trichy, India: IEEE, Aug. 2023, pp. 184–189. doi: 10.1109/ICAISS58487.2023.10250736.
- [12] H. Zhang, “Optimization and Efficiency Improvement of Robot-based Industrial Production Process,” *Int. J. New Dev. Eng. Soc.*, vol. 8, no. 2, 2024, doi: 10.25236/IJNDES.2024.080214.
- [13] H. K. Banga, P. Kalra, R. Kumar, S. Singh, and C. I. Pruncu, “Optimization of the cycle time of robotics resistance spot welding for automotive applications,” *J. Adv. Manuf. Process.*, vol. 3, no. 3, p. e10084, Jul. 2021, doi: 10.1002/amp2.10084.
- [14] M. Zhang, “Practical Analysis of Mechanical Automation Technology in Automobile Manufacturing,” *J. Electron. Res. Appl.*, vol. 7, no. 5, pp. 26–31, Sep. 2023, doi: 10.26689/jera.v7i5.5367.
- [15] Z. Zhang, R. Dershan, A. M. S. Enayati, M. Yaghoubi, D. Richert, and H. Najjaran, “A High-Fidelity Simulation Platform for Industrial Manufacturing by Incorporating Robotic Dynamics Into an Industrial Simulation Tool,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 7, no. 4, pp. 9123–9128, Oct. 2022, doi: 10.1109/LRA.2022.3190096.
- [16] L. Zhang and Z. Yu, “Industrial robot simulation manufacturing based on big data and virtual reality technology,” *J. Robot. Intell. Agents Artif. Intell.*, vol. 14, no. 1, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1515/pjbr-2022-0124>.
- [17] M. Gautam, H.-M. Yonamine, and F. Christophe, “Robotic Simulation to implementation: An industrial case study,” presented at the The Eleventh International Conference on Engineering Computational Technology, Montpellier, France, pp. 1–8. doi: 10.4203/cc.2.16.2.
- [18] W. A. Szulc and P. Czop, “The Effectiveness of a Robotic Workstation Simulation Implementation in the Automotive Industry Using a Closed-Form Solution of the Absolute Orientation Problem,” *Robotics*, vol. 13, no. 11, p. 161, Oct. 2024, doi: 10.3390/robotics13110161.
- [19] L. Klingel, A. Heine, S. Acher, N. Dausend, and A. Verl, “Simulation-Based Predictive Real-Time Collision Avoidance for Automated Production Systems,” in *2023 IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Auckland, New Zealand: IEEE, Aug. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/CASE56687.2023.10260637.

