

INOVASI INTEGRASI ROBOTIC WELDING DAN POSITIONER SYSTEM UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI LEAN MANUFACTURING

Oleh

Mochamad Hasan Purnomo¹, Dwita Suastiyanti², Mega Bagus Herlambang³

^{1,2,3}Prodi Teknik Industri, Institut Teknologi Indonesia

E-mail: ¹mhasan.ajk@gmail.com

Article History:

Received: 12-04-2025

Revised: 07-05-2025

Accepted: 15-05-2025

Keywords:

Robotic Welding, Positioner System, Lean Manufacturing

Abstract: Industri furnitur logam membutuhkan inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas. Penelitian ini merancang integrasi sistem robotic welding dengan positioner system dalam kerangka lean manufacturing untuk mengurangi pemborosan dan meningkatkan presisi produksi. Studi kasus dilakukan pada perusahaan furnitur logam, dengan analisis alur produksi menggunakan pendekatan Value Stream Mapping (VSM) untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah. Hasil penelitian menghasilkan desain sistem otomatisasi yang mengintegrasikan robotic welding dan positioner system untuk mendukung efisiensi proses dan konsistensi hasil. Desain ini dirancang menggunakan perangkat lunak simulasi berbasis CAD (Computer Aided Design), dengan fokus pada penerapan prinsip lean manufacturing. Penelitian ini terbatas pada tahap desain tanpa uji implementasi lapangan. Studi lanjutan direkomendasikan untuk menguji performa desain dalam kondisi produksi nyata serta mengevaluasi dampaknya terhadap produktivitas dan efisiensi operasional.

PENDAHULUAN

Industri furnitur logam, khususnya dalam produksi kursi besi, menghadapi tantangan signifikan dalam meningkatkan produktivitas, konsistensi kualitas, dan efisiensi operasional. Dalam konteks ini, penerapan prinsip lean manufacturing menjadi sangat relevan. Lean manufacturing berfokus pada pengurangan pemborosan dan peningkatan nilai tambah dalam proses produksi, yang sangat penting bagi perusahaan yang beroperasi dalam pasar yang kompetitif (Angin & Tasdemir, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa integrasi lean manufacturing dapat membantu perusahaan furnitur logam untuk mengatasi tantangan ini dengan lebih efektif, terutama dalam konteks pengurangan biaya dan peningkatan efisiensi alur produksi (Fricke & Buehlmann, 2012). Salah satu aspek kritis dalam proses manufaktur furnitur logam adalah proses las, yang sering kali memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia.

Teknologi robotic welding muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi proses las. Penggunaan robot dalam proses las tidak

hanya mengurangi intervensi manusia tetapi juga meningkatkan konsistensi kualitas hasil akhir (Zhang et al., 2023; Zeng et al., 2021). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem positioner dalam integrasi robotic welding memungkinkan komponen logam diposisikan dengan presisi tinggi, yang sangat penting untuk mencapai hasil las yang berkualitas (Farkas, 2018). Dengan demikian, otomatisasi melalui robotic welding dapat mengurangi tingkat cacat dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan (Tejaswini et al., 2022). Studi kasus di industri furnitur logam menunjukkan bahwa penerapan sistem integrasi robotic welding dengan positioner system dalam kerangka lean manufacturing dapat menghasilkan desain sistem yang lebih efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan dalam proses produksi, serta meningkatkan efisiensi alur produksi (Choudhary et al., 2019). Hasil dari desain ini diharapkan dapat menjadi langkah awal bagi penerapan teknologi otomatisasi yang lebih luas, yang pada gilirannya akan mendukung daya saing sektor furnitur logam di pasar global yang semakin kompetitif (Chen & Ye, 2013). Integrasi teknologi robotic welding dan prinsip lean manufacturing dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap inovasi dan keberlanjutan dalam industri furnitur logam.

LANDASAN TEORI

Lean Manufacturing

Lean manufacturing merupakan pendekatan manajerial yang berfokus pada peningkatan efisiensi produksi dengan mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (waste) yang tidak memberikan nilai tambah bagi pelanggan. Konsep ini, yang berasal dari Toyota Production System, telah diadopsi secara luas di berbagai sektor industri, termasuk industri furnitur logam. Penerapan prinsip-prinsip lean manufacturing bertujuan untuk mengurangi waktu siklus produksi, meningkatkan kualitas hasil, dan menurunkan biaya produksi (Effendi, 2023). Prinsip utama dari lean manufacturing mencakup beberapa elemen kunci yaitu: identifikasi nilai; pemetaan alur nilai (Value Stream Mapping; aliran produksi yang lancar, sehingga produk dapat bergerak dari satu tahap ke tahap berikutnya tanpa penundaan (Chen & Cox, 2012); produksi berdasarkan permintaan; perbaikan berkelanjutan (Kaizen).

Robotic Welding

Robotic welding merupakan teknologi transformatif di sektor manufaktur, yang ditandai dengan kemampuannya untuk melakukan proses pengelasan dengan presisi dan konsistensi yang lebih baik dibandingkan dengan pengelasan manual. Makalah ini bertujuan untuk mengeksplorasi keunggulan, aplikasi, dan implikasi pengelasan robotik dalam lingkungan industri, terutama berfokus pada dampaknya terhadap efisiensi, pengurangan kesalahan, dan keselamatan di tempat kerja. Sistem ini mengacu pada proses pengelasan otomatis menggunakan sistem robotik. Teknologi ini telah mendapatkan daya tarik karena kemampuannya untuk menghasilkan pengelasan berkualitas tinggi secara konsisten sambil meminimalkan campur tangan manusia. Evolusi pengelasan robotik dapat ditelusuri kembali ke kemajuan dalam teknologi robotika dan otomasi, yang secara signifikan memengaruhi proses manufaktur di berbagai industri. Salah satu keunggulan utama pengelasan robotik adalah kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi operasional. Robot dapat melakukan tugas pengelasan secara terus menerus tanpa kelelahan, yang memungkinkan proses

produksi yang lebih lama dan mengurangi waktu henti. Menurut sebuah studi oleh Bock dkk. (2018), sistem robotik dapat beroperasi pada kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada tukang las manusia, yang mengarah ke waktu siklus yang lebih pendek dan peningkatan hasil.

Positioner system

Positioner system adalah perangkat yang digunakan dalam proses manufaktur untuk memposisikan atau mengatur posisi komponen atau material selama proses pengelasan, pemotongan, atau perakitan agar dapat dicapai dengan akurat dan efisien. Fungsi utama dari *positioner system* adalah untuk memastikan bahwa bagian yang akan dilas atau diproses berada pada posisi yang tepat, sehingga robot atau pekerja dapat melakukan tugasnya dengan presisi yang lebih tinggi. Selain itu, *positioner system* membantu mengurangi ketegangan atau distorsi pada material yang dapat terjadi akibat pengelasan, sekaligus meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pekerja dengan mengurangi kebutuhan untuk mengatur atau memanipulasi material secara manual (Groover, 2016).

Integrasi *positioner system* dengan teknologi *robotic welding* memberikan banyak manfaat, terutama dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pengelasan. Dengan menggunakan *positioner system*, robot dapat lebih mudah dan akurat mengakses setiap sudut atau posisi yang dibutuhkan untuk pengelasan, sehingga mengurangi waktu pengaturan dan meningkatkan kecepatan produksi (Gupta dkk, 2018). Posisi yang tepat juga mengurangi kemungkinan kesalahan atau cacat las yang sering terjadi akibat pengaturan manual yang kurang optimal. Kombinasi kedua teknologi ini memungkinkan produksi yang lebih cepat, dengan tingkat presisi yang tinggi, dan secara signifikan meningkatkan kualitas produk akhir, menjadikannya solusi yang sangat efektif dalam proses manufaktur modern.

Value Stream Mapping (VSM)

Value Stream Mapping (VSM) adalah sebuah alat yang digunakan dalam *lean manufacturing* untuk menganalisis dan merancang alur nilai dalam sebuah proses produksi. VSM memetakan seluruh rangkaian langkah yang terlibat dalam pembuatan suatu produk, mulai dari pengadaan bahan baku hingga pengiriman produk jadi kepada pelanggan. Tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi nilai tambah dan pemborosan (*waste*) dalam setiap tahap proses, sehingga dapat dilakukan perbaikan yang lebih efisien dan mengurangi aktivitas yang tidak bernilai. Dengan memvisualisasikan setiap langkah, VSM memungkinkan perusahaan untuk lebih mudah mengidentifikasi masalah, seperti waktu tunggu, gerakan yang tidak perlu, kelebihan stok, dan gangguan lainnya yang menghambat alur produksi (Rother, 2003).

Pendekatan dalam VSM melibatkan pembuatan peta aliran nilai yang memetakan proses secara rinci dan menggambarkan alur material dan informasi dalam sistem produksi. Peta ini seringkali mencakup dua jenis aliran, yaitu aliran material yang menggambarkan pergerakan barang dan aliran informasi yang menunjukkan komunikasi antar proses. Dengan menggunakan VSM, perusahaan dapat lebih mudah menemukan titik-titik pemborosan dalam proses, serta merancang alur produksi yang lebih ramping dan efisien. Selain itu, VSM juga membantu dalam merencanakan implementasi perubahan, seperti penerapan teknologi otomatisasi atau pengurangan proses yang tidak memberikan nilai tambah, untuk meningkatkan kinerja operasional dan menurunkan biaya produksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada salah satu perusahaan furnitur logam di Indonesia yang berfokus pada pembuatan kursi besi. Identifikasi masalah utama yang dihadapi, yaitu pemborosan waktu dan ketidakakuratan dalam proses pengelasan yang mempengaruhi kualitas produk akhir. Fokus pada proses pengelasan sebagai tahap kritis dalam produksi kursi besi, yang memiliki potensi besar untuk diperbaiki melalui penerapan sistem otomatisasi. Desain penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel. 1 Desain Penelitian

Tahapan	Deskripsi
Analisis Alur Produksi dengan Value Stream Mapping (VSM)	Memetakan alur proses produksi dengan VSM untuk mengidentifikasi pemborosan dan aktivitas yang tidak bernilai tambah dalam proses pengelasan, terutama pada waktu siklus dan waktu tunggu.
Desain Sistem Integrasi	Merancang sistem otomatisasi yang mengintegrasikan robotic welding dengan positioner system menggunakan perangkat lunak simulasi berbasis CAD, ABB RobotStudio.
Evaluasi Konsep	Menilai desain sistem berdasarkan prinsip lean manufacturing, mengidentifikasi pengurangan pemborosan, peningkatan produktivitas, dan kualitas produk.
Hasil dan Rekomendasi	Hasil berupa desain sistem otomatisasi yang siap diimplementasikan, dengan rekomendasi untuk penelitian lanjutan yang menguji implementasi sistem dalam produksi nyata.

Sumber: diolah penulis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Alur Produksi dengan Value Stream Mapping (VSM)

Analisis alur produksi dilakukan menggunakan pendekatan Value Stream Mapping (VSM) untuk memetakan alur kerja dalam proses produksi kursi besi. Proses produksi kursi besi, khususnya pada bagian pengelasan, diidentifikasi sebagai titik kritis dalam keseluruhan rantai produksi. VSM memungkinkan visualisasi lengkap dari alur proses, mulai dari pengadaan material hingga pengelasan dan pemeriksaan kualitas produk akhir.

1. Pemetaan Alur Produksi

Analisis dimulai dengan pemetaan alur produksi kursi besi menggunakan Value Stream Mapping (VSM), yang mencakup seluruh proses dari pengadaan material hingga pengelasan dan pemeriksaan kualitas produk akhir. Fokus utama pada proses pengelasan, yang merupakan tahap kritis dalam produksi kursi besi.

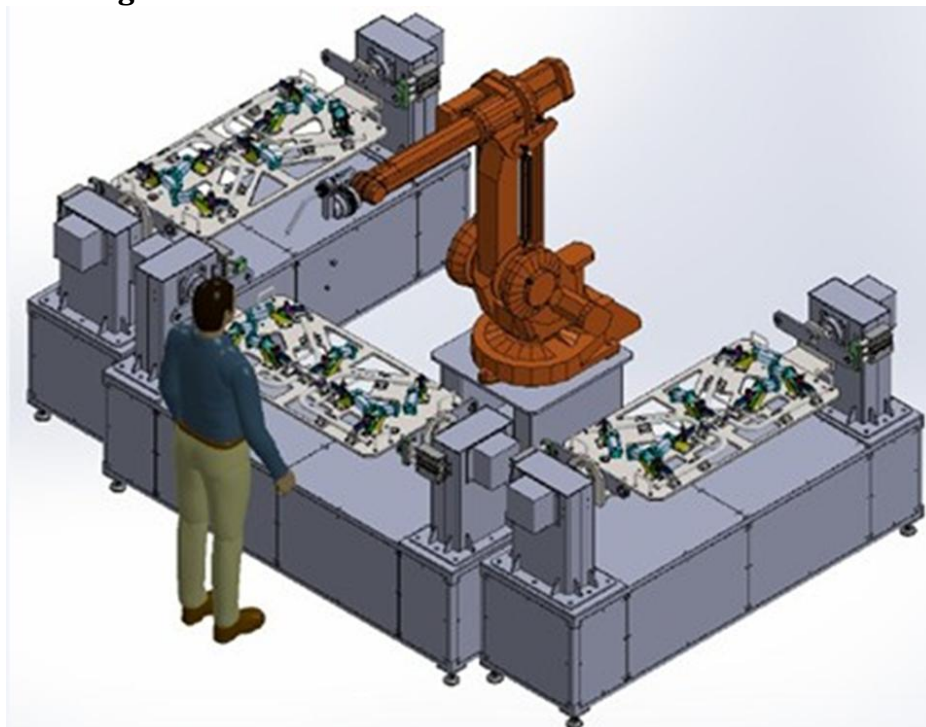
2. Identifikasi Pemborosan

- VSM mengidentifikasi pemborosan dalam bentuk waktu tunggu yang tinggi antara setiap tahap produksi dan pengulangan pengelasan akibat ketidakakuratan dalam posisi material.
- Waktu yang dibutuhkan untuk memposisikan komponen secara manual juga ditemukan sebagai sumber pemborosan, yang dapat mengurangi efisiensi proses produksi.

3. Aktivitas Bernilai Tambah dan Tidak Bernilai Tambah

- a. Ditemukan bahwa beberapa aktivitas memberikan nilai tambah, seperti pemotongan material dan pengelasan itu sendiri.
 - b. Terdapat sejumlah besar aktivitas yang tidak bernilai tambah, seperti pemindahan material berulang dan pengaturan posisi manual, yang memperlambat aliran proses dan menambah waktu siklus.
4. Masalah Koordinasi Internal
- a. Alur kerja antara departemen produksi dan kontrol kualitas tidak terkoordinasi dengan baik, yang menyebabkan ketidakaturan dalam jadwal produksi dan keterlambatan.
 - b. Koordinasi yang lebih baik diperlukan untuk mengoptimalkan waktu dan alur produksi.
5. Langkah Perbaikan yang Diusulkan
- Berdasarkan temuan VSM, langkah-langkah perbaikan dirancang untuk mengurangi pemborosan dan meningkatkan efisiensi. Penerapan *robotic welding* dan *positioner system* untuk mengurangi aktivitas non-value-added dan meningkatkan kecepatan serta konsistensi dalam proses pengelasan.
6. Dasar untuk Desain Sistem Otomatisasi
- a. Temuan VSM memberikan dasar yang kuat untuk merancang sistem otomatisasi yang lebih efisien, dengan fokus pada pengurangan waktu siklus, peningkatan kualitas, dan pengurangan cacat produk.
 - b. Desain sistem otomatisasi yang diusulkan bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas di industri furnitur logam.

Desain Sistem Integrasi



Gambar 1. Desain Robotic Welding

Sumber: desain penulis

Gambar 1 menggambarkan desain sistem otomatisasi yang mengintegrasikan *robotic welding* dengan *positioner system* dalam suatu sel produksi. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam proses pengelasan.

1. Robot Welding

- a. Di pusat sistem, terlihat adanya *robot welding* yang berfungsi untuk melakukan pengelasan pada komponen-komponen logam. Robot ini dilengkapi dengan alat pengelas (welder) dan mampu bergerak secara otomatis untuk menyelesaikan tugas pengelasan dengan akurasi tinggi.
- b. Penggunaan robot ini memungkinkan pengelasan yang konsisten, mengurangi variabilitas dalam kualitas las, dan menghilangkan kesalahan manusia.

2. Positioner System

- a. Di kedua sisi sistem robotik, terdapat *positioner system* yang bertugas untuk memposisikan komponen secara presisi. *Positioner* ini memastikan bahwa bagian-bagian logam yang akan dilas berada pada posisi yang tepat untuk mencapai hasil pengelasan yang optimal.
- b. Fungsinya sangat penting untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam pengaturan posisi manual, sehingga mempercepat alur produksi dan mengurangi kemungkinan kesalahan akibat posisi yang tidak tepat.

3. Integrasi dan Koordinasi

- a. Desain ini menekankan integrasi antara robot pengelas dan *positioner* untuk menciptakan alur produksi yang lebih lancar dan efisien. Posisi material yang terjamin presisinya akan memungkinkan robot untuk melakukan pengelasan dengan lebih cepat dan akurat.
- b. Sistem ini mengurangi kebutuhan intervensi manusia dalam proses pengelasan, yang tidak hanya meningkatkan kecepatan, tetapi juga memastikan kualitas yang lebih konsisten dalam setiap produk.

4. Fitur Tambahan

Digunakan untuk mengontrol pergerakan atau memberikan daya kepada robot dan *positioner*, berupa sistem kontrol berbasis komputer yang memungkinkan operator untuk memonitor dan mengatur seluruh sistem secara efisien.

Integrasi *robotic welding* dan *positioner system*, desain ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan waktu dalam pengelasan dan pemrosesan material. Sistem otomatis ini dapat meningkatkan produktivitas secara keseluruhan serta mengurangi kemungkinan cacat produk yang disebabkan oleh kesalahan manusia dalam pengelasan dan penataan posisi. Gambar 2 menunjukkan desain jig dan rotary yang digunakan. *Jig* berfungsi sebagai alat bantu yang memastikan posisi komponen tetap stabil dan tepat selama proses. Sementara itu, *rotary* atau sistem putar berfungsi untuk memutar komponen kerja dengan tingkat presisi.

Bagian (part) yang digunakan dalam sistem:

1. Robot Pengelas (Robotic Welder)

a. Robot Arm

Bagian utama dari sistem yang bertanggung jawab untuk pergerakan dan pengelasan. Robot arm ini dilengkapi dengan beberapa derajat kebebasan (DOF)

- untuk memberikan fleksibilitas dalam mencapai berbagai posisi dan sudut pengelasan.
- b. Welder Head
Bagian pada ujung lengan robot yang memegang alat pengelas, seperti gun welding (TIG welding).
 - c. Motor dan Penggerak
Motor listrik atau servo motor untuk pergerakan lengan robot secara presisi dan cepat sesuai dengan path pengelasan yang telah diprogram.
2. Positioner System
- a. Positioner Table
Meja atau platform tempat material atau komponen yang akan dilas diposisikan. Meja dilengkapi dengan motor untuk memutar atau memposisikan material secara presisi.
 - b. Rotary Axis
Bagian yang memungkinkan meja atau komponen untuk berputar pada poros tertentu. Sistem ini membantu dalam memposisikan bagian logam pada sudut yang tepat untuk pengelasan.
 - c. Clamp atau Fixture
Alat pengunci atau penjepit untuk menahan material pada posisi yang diinginkan selama proses pengelasan. Fixture dapat disesuaikan dengan berbagai bentuk dan ukuran material yang berbeda.
3. Sistem Kontrol dan Pengaturan
- a. Controller Unit (PLC atau Robot Controller)
Unit kontrol yang mengatur gerakan robot dan positioner dengan pemrograman dan pengawasan proses pengelasan.
 - b. Sensor Pengawasan Posisi
Sensor-sensor encoder atau kamera yang digunakan untuk memastikan posisi material dan robot dalam kondisi yang sesuai. Untuk membantu dalam mengoreksi dan memastikan presisi pada setiap langkah.
 - c. User Interface (UI)
Antarmuka pengguna yang memungkinkan operator untuk memonitor dan mengatur proses pengelasan, termasuk pemrograman jalur pengelasan dan kontrol parameter mesin.
4. Sistem Pendinginan
- a. Sistem Pendingin Welder
Pada proses pengelasan, pemanasan yang berlebihan dapat merusak alat dan hasil pengelasan. Kipas pendingin digunakan untuk menjaga suhu tetap optimal pada robot dan alat pengelasan.
 - b. Sistem Pendingin untuk Komponen Positioner
Posisi material yang bergerak juga memerlukan pendinginan untuk menjaga agar sistem positioner tetap dalam keadaan optimal, terutama jika terjadi panas dari gesekan atau pergerakan berulang.
5. Sistem Pemasokan Energi
- a. Kabel Daya dan Penghubung

Kabel yang menghubungkan welder dan robot dengan sumber daya listrik. Termasuk kabel penghubung untuk welder, motor robot, dan positioner.

b. Sistem Pemakanan Gas atau Flux

Pada pengelasan MIG atau TIG, sumber gas atau flux diperlukan untuk melindungi area las dari oksidasi dan pencemaran. Sistem pemakanan gas mengatur aliran gas pelindung ke area pengelasan.

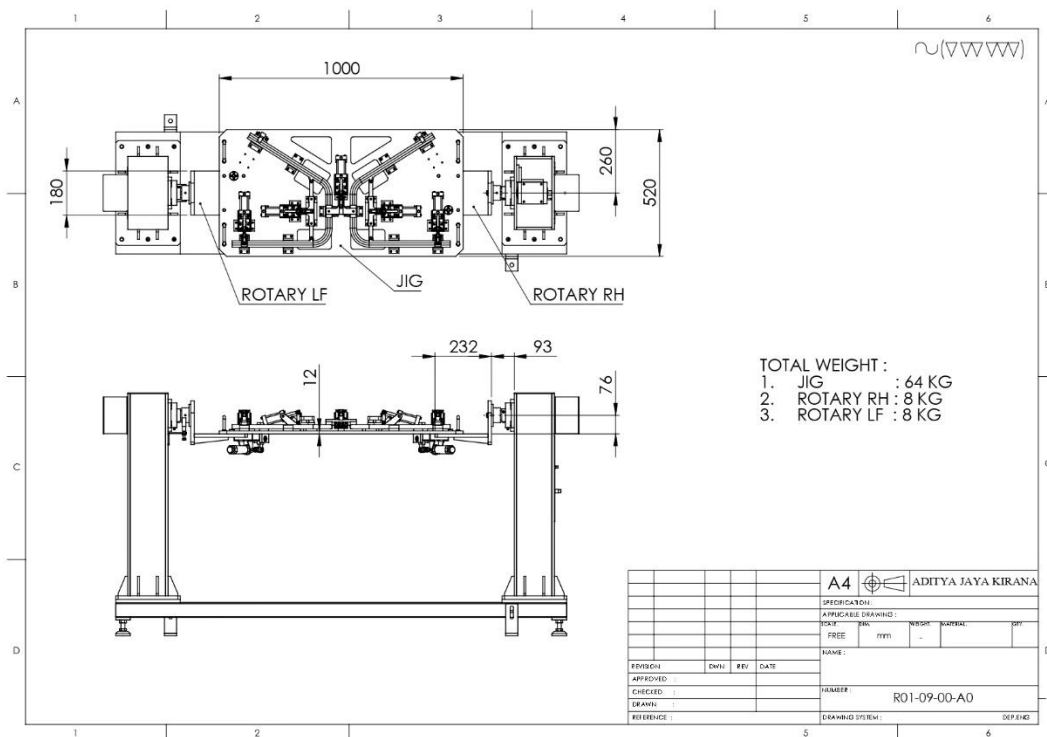
6. Jaringan dan Sistem Komunikasi

a. Ethernet atau Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi yang menghubungkan robot dan positioner dengan komputer kontrol, serta dengan sistem manajemen produksi di pabrik untuk pemantauan dan analisis data.

b. Sistem Integrasi Otomatisasi

Perangkat lunak yang memungkinkan komunikasi antara robot, positioner, dan sistem kontrol untuk memastikan alur kerja yang mulus dan terkoordinasi di seluruh sistem.



Gambar 2. Desain Jig dan Rotary

Sumber: desain penulis

Komponen-komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk memastikan bahwa sistem robotic welding dengan positioner system dapat beroperasi dengan efisien dan efektif. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan, meningkatkan konsistensi kualitas, dan meningkatkan produktivitas. Desain sistem ini, yang berbasis pada prinsip *lean manufacturing*, berfokus pada pengurangan pemborosan dan peningkatan nilai tambah dalam setiap langkah produksi.

Salah satu aspek kunci dari sistem ini adalah perencanaan jalur yang efektif untuk

pengendalian gerakan kooperatif antara robot dan positioner sangat penting dalam pengelasan kurva ruang yang kompleks, seperti pada sambungan berbentuk kapal (Lin et al., 2020). Pentingnya perencanaan gerakan offline untuk koordinasi dua robot dalam pengelasan, yang memungkinkan pengelasan dilakukan tanpa kontak fisik yang tidak diinginkan, sehingga meningkatkan efisiensi (Ouyang, 2012). Algoritma kontrol kinematik inversi diperlukan untuk memastikan bahwa robot dan positioner dapat bergerak secara simultan dengan akurat, yang sangat penting untuk pengelasan jalur 3D yang kompleks (My et al., 2019).

Penggunaan positioner dalam sistem pengelasan robotik tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mengurangi kemungkinan cacat produk. Gao et al. menekankan bahwa optimasi gerakan antara robot dan positioner dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas dalam proses pengelasan (Gao et al., 2017). Sistem robot dan posisi eksternal harus memenuhi persyaratan kerja yang tinggi untuk mencapai akurasi dan repeatabilitas yang diperlukan dalam aplikasi teknologi pengelasan (Cegielski et al., 2018). Integrasi sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga memastikan kualitas hasil akhir yang lebih baik. Lebih jauh lagi, sistem pengelasan yang menggunakan robot dan positioner telah terbukti lebih efisien dibandingkan dengan metode pengelasan manual. Sistem pengelasan dengan dua robot dapat meningkatkan efisiensi hampir dua kali lipat dibandingkan dengan pengelasan manual (Chen & Hu, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa otomatisasi dalam pengelasan tidak hanya mengurangi waktu proses tetapi juga meningkatkan konsistensi dan kualitas produk akhir.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem integrasi robotic welding dengan positioner system dalam kerangka lean manufacturing, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam proses produksi kursi besi pada industri furnitur logam. Desain sistem yang diusulkan menggabungkan keunggulan teknologi robotic welding dengan presisi dan fleksibilitas positioner system untuk memposisikan material secara tepat selama proses pengelasan. Melalui pendekatan analisis alur produksi menggunakan Value Stream Mapping (VSM), mengidentifikasi berbagai aktivitas yang tidak bernilai tambah dan menyarankan integrasi otomatisasi untuk mengurangi pemborosan, meningkatkan kualitas pengelasan, serta mempercepat waktu produksi. Penggunaan perangkat lunak simulasi berbasis CAD juga memungkinkan visualisasi desain sistem yang lebih tepat, sehingga proses implementasi dapat lebih terarah dan optimal.

Meskipun penelitian ini terbatas pada tahap desain dan simulasi, hasil yang diperoleh menunjukkan potensi besar dalam peningkatan efisiensi proses produksi. Penelitian lanjutan yang mencakup uji empiris di lapangan sangat diperlukan untuk mengonfirmasi dampak implementasi sistem ini terhadap produktivitas, pengurangan waktu siklus, dan peningkatan kualitas produk secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angin, N., and C. Tasdemir. "Identification of Internal Dynamics of Türkiye's Furniture Industry in the Context of Lean Manufacturing Integration Maturity." *Business and Management Studies an International Journal* 10, no. 2 (2022): 483–501. <https://doi.org/10.15295/bmij.v10i2.2034>.
- [2] Chen, S., and Z. Ye. "Intelligentized Technologies for Welding Manufacturing." *Materials Science Forum* 773–774 (2013): 725–731. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.773-774.725>.
- [3] Choudhary, S., R. Nayak, M. Dora, N. Mishra, and A. Ghadge. "An Integrated Lean and Green Approach for Improving Sustainability Performance: A Case Study of a Packaging Manufacturing SME in the U.K." *Production Planning & Control* 30, no. 5–6 (2019): 353–368. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501811>.
- [4] Farkas, A. "Impact of Industry 4.0 on Robotic Welding." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 448 (2018): 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012034>.
- [5] Fricke, C., and U. Buehlmann. "Lean and Virginia's Wood Industry – Part I: Awareness and Implementation." *BioResources* 7, no. 4 (2012): 5074–5093. <https://doi.org/10.15376/biores.7.4.5074-5093>.
- [6] Tejaswini, P., M. Achutha, and A. Doddagatte. "Development and Integration of Laser Sensor Tracking System in Robotic Arm for Path Correction during Welding Operation." *IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA)* 11, no. 3 (2022): 196. <https://doi.org/10.11591/ijra.v11i3.pp196-204>.
- [7] Zeng, Q., X. Liu, Z. Liu, and A. Li. "Dynamic Characteristics Analysis of Two-Beam Laser Welding Robot for Fuselage Panels." *Research Square Preprint* (2021). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1086423/v1>.
- [8] Zhang, Q., R. Xiao, Z. Liu, J. Duan, and J. Qin. "Process Simulation and Optimization of Arc Welding Robot Workstation Based on Digital Twin." *Machines* 11, no. 1 (2023): 53. <https://doi.org/10.3390/machines11010053>.
- [9] Barros, L., L. Bassi, L. Caldas, A. Sarantópoulos, E. Zeferino, V. Minatogawa, et al. "Lean Healthcare Tools for Processes Evaluation: An Integrative Review." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, no. 14 (2021): 7389. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147389>.
- [10] Chen, J., and R. Cox. "Value Stream Management for Lean Office—A Case Study." *American Journal of Industrial and Business Management* 2, no. 2 (2012): 17–29. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2012.22004>.
- [11] Effendi, R. "Efficiency Unleashed: Lean Manufacturing Strategies in Analyzing the Plastic Packaging Production Process." *Dinamis* 11, no. 2 (2023): 51–63. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v11i2.13456>.
- [12] Novirani, D. "Application of Lean Manufacturing to Minimize Waste in the Production Process of Tin Stabilizer." *E3S Web of Conferences* 484 (2024): 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448401002>.
- [13] Vienažindienė, M., and R. Čiarnienė. "Lean Manufacturing Implementation and Progress Measurement." *Economics and Management* 18, no. 2 (2013). <https://doi.org/10.5755/j01.em.18.2.4732>.

- [14] Bock, T., et al. "The Impact of Robotic Welding on Manufacturing Efficiency." *Journal of Manufacturing Processes* 31 (2018): 123–134.
- [15] Groover, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson, 2016.
- [16] Gupta, B. K., and R. K. Gupta. "Robotic Welding: A Review." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 94, no. 1–4 (2018): 1–16.
- [17] Rother, M., and J. Shook. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, 2003.
- [18] Lin, C., Z. Wang, Y. Mo, and H. Pan. "The Path Planning of Synchronous Cooperative Motion Control between Robot and Positioner for Complex Space Curve Processing." *Electronics* 9, no. 11 (2020): 1917. <https://doi.org/10.3390/electronics9111917>.
- [19] Ouyang, F. "Offline Motion Planning and Simulation of Two-Robot Welding Coordination." *Frontiers of Mechanical Engineering* 7, no. 1 (2012): 81–92. <https://doi.org/10.1007/s11465-012-0309-4>.
- [20] My, C., D. Bien, B. Tung, L. Hieu, N. Công, and T. Hieu. "Inverse Kinematic Control Algorithm for a Welding Robot-Positioner System to Trace a 3D Complex Curve." *Proceedings of the 2019 11th International Conference on Advanced Technologies (ATC)*, 2019. <https://doi.org/10.1109/atc.2019.8924540>.
- [21] Gao, J., A. Pashkevich, and S. Caro. "Optimization of the Robot and Positioner Motion in a Redundant Fiber Placement Workcell." *Mechanism and Machine Theory* 114 (2017): 170–189. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.04.009>.
- [22] Cegielski, P., D. Golański, P. Kołodziejczak, A. Kolasa, and T. Sarnowski. "The Analysis of Industrial Robot – External Axes System Movements with the Use of Virtual Off-Line Programming." *Welding Technology Review* 90, no. 10 (2018). <https://doi.org/10.26628/wtr.v90i10.962>.
- [23] Chen, Y., and Q. Hu. "Dual-Robot Stud Welding System for Membrane Wall." *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application* 49, no. 1 (2021): 132–140. <https://doi.org/10.1108/ir-03-2021-0049>.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN