

DESAIN ROBOTIC WELDING-POSITIONER UNTUK SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES (SMED) DAN FLEKSIBILITAS PRODUKSI

Mochamad Hasan Purnomo¹⁾

1) Program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Indonesia

E-mail: hasanajk.pu@gmail.com

Abstrak

Penerapan prinsip Single Minute Exchange of Dies (SMED) menjadi strategi penting dalam industri manufaktur modern untuk mengurangi waktu setup dan meningkatkan fleksibilitas produksi. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem robotic welding-positioner yang mendukung penerapan prinsip SMED melalui integrasi rotary axis dan quick-lock fixture. Pendekatan penelitian difokuskan pada desain konseptual dan validasi simulatif tanpa melibatkan perhitungan efisiensi waktu produksi secara langsung. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D dan simulasi robotik untuk memastikan kelayakan integrasi gerak antara lengan robot dan positioner. Desain ini dirancang agar mampu mempercepat proses pergantian benda kerja, meningkatkan fleksibilitas penyesuaian posisi, serta mengurangi aktivitas non-value-added dalam proses pengelasan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi ini berpotensi mendukung penerapan SMED dalam lingkungan manufaktur otomatis melalui peningkatan kecepatan setup dan kemudahan adaptasi terhadap variasi produk. Penelitian ini memberikan dasar teknis awal untuk pengembangan sistem otomasi pengelasan yang efisien dan fleksibel pada era Industry 4.0.

Kata kunci: SMED, Robotic Welding, Positioner, Lean Manufacturing, Industri 4.0.

Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur modern ditandai oleh meningkatnya kebutuhan akan fleksibilitas, efisiensi, dan kecepatan proses produksi untuk menghadapi tekanan pasar global yang sangat kompetitif. Dalam konteks ini, pengurangan waktu *setup* menjadi salah satu faktor kunci untuk meningkatkan daya saing industri. *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) merupakan pendekatan lean manufacturing yang dirancang untuk mengurangi waktu pergantian peralatan atau *changeover time* menjadi kurang dari sepuluh menit, sehingga memungkinkan sistem produksi beradaptasi dengan cepat terhadap variasi produk dan permintaan pelanggan. Pendekatan ini telah diimplementasikan secara luas dalam berbagai sektor industri karena kemampuannya dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional [1].

Dalam lingkungan manufaktur berbasis otomasi, penggunaan robotic welding semakin meluas karena kemampuannya meningkatkan presisi, konsistensi, dan kecepatan proses pengelasan dibandingkan metode manual [2]. Kombinasi antara *robot welding* dengan positioner system memberikan keunggulan dalam pengaturan posisi komponen, meminimalkan kesalahan manusia, serta memungkinkan pengelasan multi-sisi secara cepat dan akurat [3]. Teknologi ini berperan penting dalam mendukung prinsip lean, termasuk SMED, dengan mengurangi aktivitas *non-value-added* selama proses *setup* dan pergantian produk.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi lean manufacturing dan sistem robotik mampu meningkatkan efisiensi lini produksi secara signifikan. Beberapa studi menekankan peran otomatisasi berbasis robot dalam meningkatkan kecepatan dan stabilitas pengelasan [4], serta pentingnya perencanaan lintasan robot dan koordinasi gerak dengan positioner untuk mencapai produktivitas optimal [5]. Di sisi lain, studi dalam ranah ergonomi industri juga menegaskan bahwa pengaturan posisi kerja yang tepat berpengaruh langsung terhadap efisiensi dan keselamatan operator [6].

Selain literatur teknis, sejumlah penelitian dalam bidang manajemen operasi menguatkan bahwa keberhasilan penerapan SMED tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada desain proses yang fleksibel dan integrasi strategis dalam sistem produksi secara keseluruhan [1]. Pendekatan ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan efisiensi sistem produksi dengan mengeliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan mempercepat aliran proses.

Fleksibilitas operasional yang ditunjang teknologi otomasi juga memberikan dampak positif pada performa proses dan daya saing perusahaan [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem robotic welding–positioner yang mendukung penerapan prinsip SMED melalui integrasi *quick-change jig*, *rotary table*, dan *universal fixture*. Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi potensi desain dalam mengurangi waktu *setup*, meningkatkan fleksibilitas produksi, dan memperbaiki aliran proses kerja melalui simulasi CAD dan validasi ergonomi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap literatur dan praktik manufaktur modern yang semakin menekankan efisiensi, kecepatan adaptasi, serta integrasi teknologi otomasi dalam era Industri 4.0. Luaran utama dari penelitian ini berupa:

1. Desain konseptual sistem robotic welding–positioner, mencakup struktur rotary, *quick-lock fixture*, dan integrasi robotic arm.
2. Model simulasi digital yang memverifikasi integrasi sistem kerja dan tata letak stasiun.
3. Rekomendasi desain awal sebagai dasar untuk uji implementasi nyata dan evaluasi efisiensi pada penelitian lanjutan.

Studi Pustaka

Penerapan prinsip *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) dalam industri telah menjadi salah satu pilar utama pendekatan lean manufacturing untuk meningkatkan fleksibilitas dan produktivitas sistem produksi. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Shigeo Shingo dan telah diadopsi secara luas di berbagai sektor industri untuk mengurangi waktu *setup* dan *changeover* [8]. Studi-studi terdahulu menegaskan bahwa SMED mampu mempercepat aliran proses, mengurangi aktivitas tidak bernilai tambah, serta meningkatkan utilisasi peralatan dan produktivitas secara keseluruhan [9].

Implementasi SMED sangat relevan dalam konteks industri modern yang ditandai oleh tingginya variasi produk dan kebutuhan respons cepat terhadap perubahan permintaan pasar. Dalam studi manajemen operasi, keberhasilan SMED seringkali dikaitkan dengan penerapan sistem proses yang fleksibel dan terintegrasi dengan strategi operasional perusahaan [9]. Pendekatan ini secara strategis mendukung perusahaan dalam meningkatkan efisiensi proses dan mempercepat siklus produksi, terutama dalam lingkungan industri yang kompetitif.

Di sisi teknologi, perkembangan robotic welding system telah membuka peluang besar dalam mengintegrasikan SMED ke dalam sistem produksi berbasis otomasi. Robot pengelas memiliki keunggulan dalam stabilitas proses, presisi, dan konsistensi kualitas hasil kerja dibandingkan dengan operator manusia [2]. Ketika dikombinasikan dengan positioner system, sistem ini dapat meminimalkan intervensi manual, mempercepat proses penyesuaian posisi komponen, serta memungkinkan pengelasan pada berbagai sisi dalam satu siklus kerja [3], [4]. Koordinasi pergerakan robot dengan positioner juga telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pengelasan [5].

Selain itu, integrasi desain ergonomi dalam stasiun kerja robotik menjadi aspek penting yang mendukung keberhasilan SMED. Posisi kerja yang optimal berpengaruh terhadap kenyamanan operator dan pengurangan kelelahan, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan produktivitas [6]. Desain posisi kerja yang efisien, termasuk tata letak rotary table dan sistem penjepit cepat (*quick-lock fixture*), dapat mempercepat proses *setup* dan meminimalkan kesalahan penyesuaian.

Studi dalam ranah manajerial juga memperlihatkan bahwa keberhasilan penerapan lean manufacturing, termasuk SMED, sangat dipengaruhi oleh kesiapan organisasi dan *process design*. Misalnya, studi dari Emerald oleh Dora et al. menegaskan pentingnya integrasi lean dalam usaha kecil dan menengah untuk meningkatkan kinerja proses dan daya saing [1], [9]. Dalam konteks Industri 4.0, konsep SMED dapat diperkuat dengan pemanfaatan teknologi digital seperti CAD dan simulasi robotik yang memungkinkan analisis dan validasi rancangan secara virtual sebelum implementasi aktual di lapangan [4], [7]. Integrasi pendekatan ini tidak hanya mempercepat proses desain sistem kerja, tetapi juga memungkinkan pengendalian kualitas dan fleksibilitas produksi yang

lebih tinggi. Studi literatur menunjukkan bahwa kombinasi prinsip lean, teknologi robotik, ergonomik industri, dan digital twin merupakan strategi komprehensif untuk meningkatkan efisiensi, kecepatan adaptasi, dan daya saing manufaktur modern.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa terapan yang berfokus pada perancangan sistem robotic welding–positioner sebagai dukungan penerapan prinsip *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) dalam lingkungan manufaktur modern. Metodologi penelitian difokuskan pada pengembangan desain konseptual dan simulasi sistem, sehingga luaran utama penelitian ini berupa desain sistem yang siap untuk tahap uji implementasi di masa mendatang.

Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian ini tidak mencakup pengukuran performa proses secara langsung seperti perhitungan waktu siklus, waktu setup, atau analisis efisiensi. Sebaliknya, penelitian berfokus pada tahapan perancangan dan validasi desain awal secara digital, sebagai tahap awal pengembangan sistem otomasi yang terintegrasi dengan prinsip SMED [10]. Fokus penelitian berada pada rancangan tata letak stasiun kerja, mekanisme *quick-lock fixture*, dan integrasi rotary positioner dengan sistem robotic welding.

Perancangan Sistem

Tahapan inti dalam penelitian ini adalah perancangan sistem robotic welding–positioner menggunakan perangkat lunak pemodelan tiga dimensi dan simulasi robotik.

- Desain Komponen: Sistem meliputi lengan robot (robotic arm), rotary positioner, *quick-change jig*, serta sistem penjepit fleksibel untuk mendukung pengaturan posisi material secara cepat [2], [3].
- Konfigurasi Tata Letak: Desain tata letak stasiun kerja disusun dengan mempertimbangkan *ergonomics-based workstation design* untuk memastikan kenyamanan dan keamanan operator [6].
- Integrasi Sistem: Komponen-komponen dirancang untuk dapat bekerja secara terpadu dalam satu siklus kerja pengelasan, meminimalkan perpindahan manual dan waktu setup [4], [7].

Simulasi Digital

Tahap selanjutnya adalah simulasi desain untuk memverifikasi integrasi lintasan gerak robotik dan kemampuan sistem dalam melakukan pengelasan secara efisien. Simulasi dilakukan menggunakan CAD 3D modeling software:

- Pemrograman Lintasan Gerak: Lintasan robot dan posisi rotary diuji untuk memastikan kesesuaian posisi pengelasan terhadap berbagai bentuk komponen kerja [4], [5].
- Validasi Tata Letak: Tata letak stasiun diuji secara virtual untuk memastikan jangkauan gerak robotik optimal dan menghindari tabrakan (*collision check*).
- Verifikasi Ergonomi: Posisi operator dan ruang kerja diperiksa untuk memastikan kenyamanan kerja serta mengakomodasi proses pergantian *fixture* secara cepat [6].

Tahapan ini dipilih untuk memberikan fondasi rancangan sistem otomasi berbasis SMED, sebelum dilakukan perhitungan performa atau uji implementasi fisik di pabrik.

Hasil dan Pembahasan

Desain Konseptual Sistem

Penelitian ini menghasilkan desain konseptual sistem robotic welding–positioner yang berfokus pada penerapan prinsip *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) melalui perancangan jig dan sistem rotary yang memungkinkan pergantian dan penyesuaian posisi benda kerja secara cepat. Desain ini tidak mencakup pengukuran kuantitatif efisiensi, melainkan berfungsi sebagai fondasi perancangan teknis awal untuk mendukung implementasi otomasi pengelasan industri.

Gambar 1 memperlihatkan desain lengkap jig welding dengan integrasi *fixture* dan komponen rotary. Desain ini terdiri dari struktur utama, dudukan benda kerja, sistem penjepit (air clamp), dan *rotary axis* yang dirancang untuk memungkinkan rotasi benda kerja selama proses pengelasan berlangsung. Komponen-komponen ini dirancang menggunakan perangkat lunak CAD 3D dan disusun dengan memperhatikan kemudahan perakitan, kestabilan struktur, serta fleksibilitas pengaturan posisi.

Desain tata letak menempatkan sistem penjepit di beberapa titik strategis, sehingga benda kerja dapat diposisikan dengan presisi tinggi dan dikunci dengan cepat tanpa memerlukan proses penyesuaian manual yang lama. Penggunaan *quick-lock clamp* juga mendukung prinsip SMED, di mana aktivitas pengaturan dapat dilakukan sebagai aktivitas eksternal tanpa menghentikan siklus kerja robot [1]–[4].

Integrasi Rotary dan Fixture

Rotary axis menjadi elemen utama dalam desain ini. Fungsinya untuk memungkinkan benda kerja diputar pada berbagai sudut pengelasan tanpa perlu dipindahkan secara manual. Dengan demikian, satu siklus pengelasan dapat mencakup beberapa sisi benda kerja, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi ketergantungan terhadap operator. Selain itu, posisi rotary dirancang sejajar dengan dudukan utama untuk menjaga kestabilan saat rotasi.

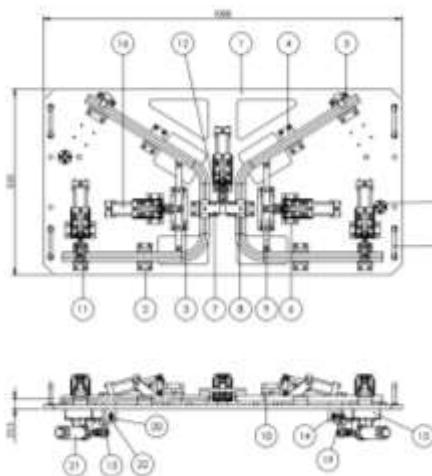
Fixture atau dudukan penjepit dirancang sebagai sistem yang dapat dilepas-pasang secara cepat, sehingga satu stasiun kerja dapat melayani beberapa jenis komponen produk. Konsep ini sejalan dengan karakteristik produksi modern yang membutuhkan fleksibilitas tinggi untuk memenuhi variasi pesanan dalam jumlah menengah [5], [6].

Validasi Simulasi Digital

Meskipun penelitian ini tidak mencakup uji waktu siklus atau pengukuran efisiensi aktual, simulasi digital digunakan untuk memverifikasi kelayakan desain dalam mendukung operasi pengelasan otomatis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa layout desain jig dan rotary memungkinkan lintasan robotik bergerak bebas tanpa *collision* dan dapat mengakses titik-titik pengelasan utama dengan optimal.

Dengan konfigurasi ini, sistem diharapkan dapat:

1. Mempercepat proses pergantian benda kerja (*quick-change fixture*),
2. Mengurangi aktivitas manual yang tidak bernilai tambah,
3. Menyediakan fleksibilitas untuk berbagai bentuk komponen,
4. Menjadi dasar implementasi sistem SMED berbasis robotic welding di industri.



Gambar 1. Desain jig welding–positioner untuk mendukung SMED

Desain ini menggambarkan pendekatan awal untuk integrasi antara robotic welding dan sistem positioner, yang sangat relevan dalam konteks fleksibilitas produksi industri manufaktur modern. Dengan hanya satu desain inti, fokus penelitian diarahkan pada keandalan struktur mekanik dan kemudahan operasional. Ke depan, desain ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan sistem sensor posisi, *auto-alignment*, serta integrasi kontrol digital untuk mendukung implementasi *adaptive welding system* [7], [8], [9]. Rancangan ini juga dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan terkait perhitungan waktu setup, produktivitas, serta penerapan *lean manufacturing* secara menyeluruh.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang sebuah sistem robotic welding–positioner yang ditujukan untuk mendukung penerapan *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) dalam proses produksi modern. Desain konseptual menunjukkan bagaimana integrasi rotary axis dan sistem *quick-lock fixture* dapat mendukung fleksibilitas dan kecepatan pergantian benda kerja tanpa perlu intervensi manual yang signifikan. Hasil simulasi desain memperlihatkan bahwa konfigurasi tersebut memungkinkan lintasan gerak robotik yang efisien dan aman, sekaligus membuka peluang penerapan otomasi pada lini produksi dengan tingkat adaptabilitas tinggi. Meskipun penelitian ini belum mencakup pengujian performa atau perhitungan efisiensi waktu, rancangan yang dihasilkan memberikan dasar teknis yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut menuju implementasi nyata. Pendekatan ini berpotensi mendukung upaya industri dalam mengurangi waktu setup, meningkatkan produktivitas, serta memperkuat kemampuan adaptasi terhadap variasi produk dalam kerangka *lean manufacturing* dan *Industry 4.0*.

Daftar Pustaka

- [1] P. Tejaswini, 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)*, vol. 11, no. 3, pp. 196–204, 2022. doi: [10.11591/ijra.v11i3.pp196-204](https://doi.org/10.11591/ijra.v11i3.pp196-204).
- [2] J. Antony, M. Sony, and O. McDermott, “Reducing setup time in manufacturing: A structured SMED approach,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 12, no. 5, pp. 1035–1054, 2021. doi: [10.1108/IJLSS-07-2020-0101](https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2020-0101).
- [3] A. Farkas, “Impact of Industry 4.0 on robotic welding,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 448, 2018, Art. no. 012034. doi: 10.1088/1757-899X/448/1/012034.
- [4] C. Fricke and U. Buehlmann, “Lean and Virginia’s wood industry – Part I: Awareness and implementation,” *BioResources*, vol. 7, no. 4, pp. 5074–5093, 2012. doi: [10.15376/biores.7.4.5074-5093](https://doi.org/10.15376/biores.7.4.5074-5093).
- [5] Q. Zhang, R. Xiao, Z. Liu, J. Duan, and J. Qin, “Process simulation and optimization of arc welding robot workstation based on digital twin,” *Machines*, vol. 11, no. 1, p. 53, 2023. doi: [10.3390/machines11010053](https://doi.org/10.3390/machines11010053).

- [6] B. K. Gupta and R. K. Gupta, "Robotic welding: A review," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, no. 1–4, pp. 1–16, 2018. doi: 10.1007/s00170-017-0913-4.
- [7] J. Gao, A. Pashkevich, and S. Caro, "Optimization of the robot and positioner motion in a redundant fiber placement workcell," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 114, pp. 170–189, 2017. doi: [10.1016/j.mechmachtheory.2017.04.009](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.04.009).
- [8] C. Lin, 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*, vol. 9, no. 11, p. 1917, 2020. doi: [10.3390/electronics9111917](https://doi.org/10.3390/electronics9111917).
- [9] Y. Chen and Q. Hu, "Dual-robot stud welding system for membrane wall," *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, vol. 49, no. 1, pp. 132–140, 2021. doi: [10.1108/IR-03-2021-0049](https://doi.org/10.1108/IR-03-2021-0049).
- [10] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, 2003.