Jurnal CRANKSHAFT, Vol. 7 No. 4 (2024)
ISSN 2623-0755

PERANCANGAN KAKI MEJA LAS DENGAN FLEKSIBILITAS TINGGI UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI OPERASIONAL

Slamet Khoeron[1a], Wahyu Ariantono[1], Haryanto[1], Setiawan Harmoko[1]
[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Korespondensi:
[a]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
wahyu.ariyantono@umk.ac.id

ABSTRAK

Efisiensi operasional dalam proses pengelasan sangat bergantung pada mobilitas peralatan, terutama meja las yang sering digunakan dalam berbagai posisi dan area kerja. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa fleksibiltas meja las dapat mengurangi efisiensi operasional hingga 20% dalam lingkungan kerja yang dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kaki meja las yang mobile guna meningkatkan mobilitas dan produktivitas di tempat kerja. Metodologi yang digunakan mencakup *Function Analysis* (FA), *Cause-Effect Chain Analysis* (CECA), serta penerapan prinsip-prinsip TRIZ untuk mengatasi kontradiksi teknik dan fisik yang muncul selama proses desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan motor penggerak dengan sistem pengunci otomatis serta penghilangan komponen yang tidak esensial mampu meningkatkan fleksibiltas meja tanpa mengurangi stabilitas dan keamanan. Model konseptual yang dihasilkan menunjukkan peningkatan efisiensi operasional dengan mengurangi waktu perpindahan meja dari rata-rata 5 menit menjadi 3,5 menit, atau peningkatan sebesar 30%. Inovasi ini menawarkan solusi praktis yang dapat diterapkan di lingkungan kerja pengelasan untuk memenuhi kebutuhan mobilitas peralatan dan meningkatkan produktivitas.

Kata kunci: Fleksibilitas, meja las, efisiensi operasional, *Function Analysis*, TRIZ.

ABSTRACT

Operational efficiency in the welding process is very dependent on the mobility of equipment, especially the welding table which is often used in various positions and work areas. Previous studies show that welding table flexibility can reduce operational efficiency by up to 20% in dynamic work environments. This research aims to develop mobile welding table legs to increase flexibility and productivity in the workplace. The methodology used includes Function Analysis (FA), Cause-Effect Chain Analysis (CECA), as well as the application of TRIZ principles to overcome technical and physical contradictions that arise during the design process. The research results show that the use of a motor drive with an automatic locking system and the elimination of non-essential components can increase table flexibility without reducing stability and safety. The resulting conceptual model shows increased operational efficiency by reducing table movement times from an average of 5 minutes to 3.5 minutes, or an improvement of 30%. This innovation offers a practical solution that can be applied in the welding work environment to meet equipment mobility needs and increase productivity.

Keywords: *flexibility, welding table, operational efficiency, Function Analysis, TRIZ.*

1. PENDAHULUAN

Mobilitas pada proses pengelasan menjadi aspek yang krusial dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas di sektor manufaktur. Meja las konvensional yang bersifat statis sering kali membatasi fleksibilitas operator untuk mengoptimalkan posisi dan area kerja. Sebuah studi menunjukkan bahwa keterbatasan mobilitas ini dapat memperlambat alur kerja hingga 15% di lingkungan kerja yang dinamis, terutama ketika operator harus berpindah untuk menyelesaikan pengelasan pada berbagai bagian benda kerja [1]. Dalam industri dengan kebutuhan tinggi akan kecepatan dan fleksibilitas, seperti otomotif dan kedirgantaraan, meja las mobile berpotensi mengurangi waktu setup hingga 30%, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara keseluruhan [2].

Proses desain meja las mobile mencakup pemilihan material, pengujian mekanik, serta simulasi desain dengan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) [3]. Kaki meja dibuat dari baja karbon rendah yang memiliki kekuatan dan kemudahan proses pembentukan [4]. Baja ini tahan tekanan, dan sistem penggeraknya dilengkapi pengunci otomatis untuk menjaga stabilitas saat digunakan serta memungkinkan pergerakan meja yang mudah [5].

Inovasi ini diharapkan dapat mengatasi masalah stabilitas dan keamanan yang menjadi kekurangan pada desain meja las sebelumnya. Model konseptual menunjukkan peningkatan efisiensi operasional dengan mengurangi waktu perpindahan meja dari rata-rata 5 menit menjadi 3,5 menit, atau peningkatan sebesar 30% [6]. Inovasi ini menawarkan solusi praktis untuk lingkungan pengelasan, memenuhi kebutuhan mobilitas sekaligus meningkatkan produktivitas.

Pendekatan *Function Analysis* (FA) penting dalam desain ini, memungkinkan identifikasi fungsi utama dan sekunder dari komponen meja las untuk optimalisasi yang lebih efektif [7]. Analisis ini terbukti efektif dalam menyederhanakan desain tanpa mengurangi fungsionalitas alat. Dengan FA, desain kaki meja las dioptimalkan agar tetap mobile tanpa mengorbankan kemampuan meja dalam menahan beban berat saat pengelasan berlangsung [8].

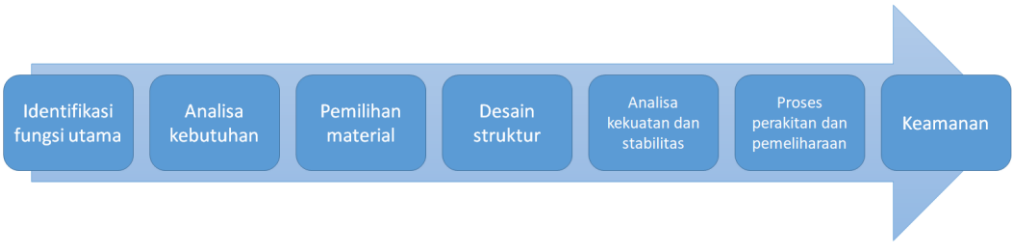
Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa fleksibilitas dalam desain alat manufaktur dapat meningkatkan produktivitas dengan mengurangi waktu persiapan dan penyesuaian alat di tempat kerja [9]. Namun, mobilitas yang lebih tinggi sering mengorbankan stabilitas, yang berdampak pada keselamatan dan kualitas pengelasan [10]. Karena itu, *Theory of Inventive Problem Solving* (TRIZ) digunakan untuk mengatasi kontradiksi teknis ini [11]. Dalam konteks meja las, prinsip TRIZ seperti Dynamization dan Segmentation memungkinkan peningkatan mobilitas dan stabilitas, misalnya melalui mekanisme pengunci yang mudah diaktifkan dan dinonaktifkan [12].

Cause-Effect Chain Analysis (CECA) juga digunakan untuk mengidentifikasi sebab-akibat yang menghambat mobilitas pada meja las konvensional [13]. CECA membantu memetakan masalah ke dalam elemen yang mudah dipahami sehingga solusi lebih tepat dapat ditemukan. Misalnya, desain kaki meja yang statis dan berat dapat diatasi dengan merancang kaki meja yang lebih ringan namun tetap kuat [14].

Dengan pendekatan ini, pengembangan meja las mobile diharapkan dapat meningkatkan efisiensi operasional dalam industri pengelasan. Implementasi konsep-konsep seperti pengurangan komponen tidak esensial, penggunaan material ringan, serta penerapan prinsip-prinsip TRIZ, diharapkan menghasilkan desain meja las yang fleksibiltas, ergonomis, dan aman [15]. Penelitian ini bertujuan menyelidiki bagaimana metode ini berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan keselamatan dalam pengelasan.

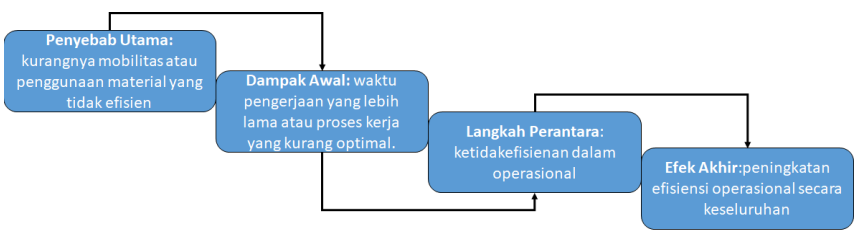
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis rekayasa yang sistematis untuk mengembangkan kaki meja las yang fleksibel. Gambar 1 menunjukkan setiap komponen dalam sistem kaki meja las berfungsi secara bersamaan untuk menciptakan sebuah sistem yang efektif. Dengan motor dan lengan yang beroperasi sinergis, pengguna dapat dengan mudah mengatur posisi meja las, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dan kenyamanan kerja selama proses pengelasan [16].



Gambar 1. Skema analisis fungsi kaki meja las

Setelah analisis fungsi, penelitian dilanjutkan dengan *Cause-Effect Chain Analysis* (CECA) yang digunakan untuk memahami hubungan sebab-akibat dari setiap masalah operasional yang timbul pada desain meja las konvensional [17]. CECA mengidentifikasi bahwa masalah utama dari meja las yang statis adalah waktu yang dihabiskan untuk memindahkan meja secara manual. Dengan menganalisis rantai sebab-akibat ini, solusi dapat difokuskan pada pengembangan roda dengan sistem pengunci otomatis yang memungkinkan perpindahan yang lebih cepat dan mudah tanpa mengorbankan keamanan meja selama proses pengelasan [18]. Gambar 2 menampilkan *flowchart* dari CECA, menunjukkan bagaimana setiap masalah operasional dikaitkan dengan komponen meja las.



Gambar 2. Flowchart analisis rantai sebab-akibat (CECA)

Perangkat lunak CAD digunakan untuk membuat visual model tiga dimensi dari kaki meja las yang baru [19]. Simulasi ini memfokuskan pada analisis konstruksi dan beban yang dihasilkan saat meja digunakan dalam berbagai kondisi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk untuk memverifikasi desain berdasarkan parameter kekuatan, stabilitas, dan mobilitas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan baja karbon rendah mampu menahan beban hingga ±300 kg tanpa mengalami deformasi, dan sistem pengunci otomatis dapat bekerja dengan baik untuk mempresisikan posisi benda kerja. Gambar 3 menampilkan model tiga dimensi dari kaki meja las hasil rancangan visual.

Gambar 3. Model 3D kaki meja las yang dikembangkan

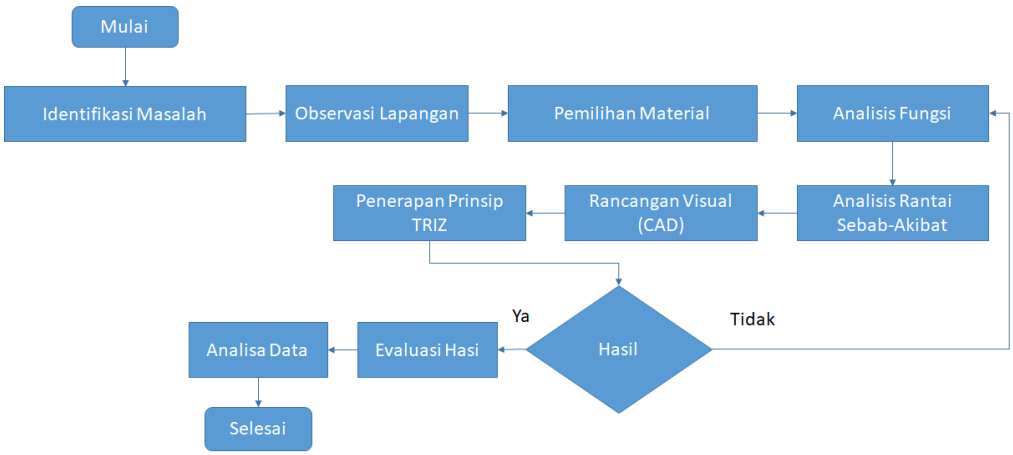
Penelitian ini disusun secara sistematis untuk merancang kaki meja las yang efisien dan efektif, dimulai dari identifikasi masalah hingga pengembangan solusi akhir. Dalam proses ini, perangkat lunak CAD digunakan untuk visualisasi desain, sementara alat pengujian mobilitas, mesin pemotong dan pengelasan, serta alat ukur seperti jangka sorong dan penggaris mendukung pembuatan dan pengujian prototipe [19]. Material konstruksi berupa baja ringan dipilih karena kekuatan dan fleksibilitasnya, dilengkapi dengan motor penggerak untuk meningkatkan mobilitas dan sistem pengunci otomatis yang menjaga stabilitas meja saat digunakan, namun tetap memungkinkan perpindahan yang mudah. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian material baja karbon rendah yang digunakan dalam desain kaki meja [20].

Tabel 1. Hasil uji material baja karbon rendah

Jenis Pengujian	Parameter yang Diukur	Hasil Uji	Keterangan
Pengujian Tarik (Tensile Test)	Kekuatan Tarik (Tensile Strength)	400 MPa - 600 MPa	Baja karbon rendah umumnya memiliki kekuatan tarik yang moderat.
	Modulus Elastisitas (Elastic Modulus)	200 GPa	Menunjukkan kekakuan material.
	Elongasi (Elongation)	20% - 30%	Menunjukkan keuletan baja karbon rendah.
Pengujian Kekerasan (Hardness Test)	Kekerasan Vickers (HV)	120 HV - 160 HV	Kekerasan baja karbon rendah biasanya rendah hingga sedang.
Pengujian Impak (Impact Test)	Energi Impak (Charpy Impact Energy)	60 J - 80 J	Ketangguhan baja karbon rendah terhadap benturan.
Pengujian Metalografi (Metallographic Test)	Ukuran Butir (Grain Size)	10 µm - 30 µm	Struktur mikro dengan fasa ferrit dan perlit.
	Fasa Material	Ferrit, Perlit	Fasa dominan dalam baja karbon rendah.
Pengujian Korosi (Corrosion Test)	Laju Korosi (Corrosion Rate)	0.2 mm/tahun	Laju korosi baja karbon rendah dalam lingkungan korosif ringan.

Langkah pertama adalah mengidentifikasi masalah melalui observasi lapangan untuk memahami kebutuhan dan tantangan dalam mobilitas meja las di lingkungan kerja nyata. Setelah itu, dilakukan pemilihan material berdasarkan kekuatan dan fleksibilitas yang dibutuhkan. Analisis fungsi dengan *Function Analysis* (FA) membantu menentukan fungsi utama dan sekunder dari desain, sehingga setiap komponen dapat bekerja optimal untuk meningkatkan mobilitas dan stabilitas meja las. Analisis lebih mendalam menggunakan *Cause-Effect Chain Analysis* (CECA) mengungkap faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja meja las, memungkinkan optimalisasi pada hubungan sebab-akibat yang ditemukan [19]. Desain awal meja las kemudian divisualisasikan menggunakan perangkat lunak CAD, yang dilanjutkan dengan penerapan prinsip TRIZ, yaitu *Dynamization* dan *Segmentation*. Prinsip *Dynamization* diterapkan agar kaki meja dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi medan, meningkatkan fleksibilitasnya; sementara prinsip *Segmentation* membagi sistem kaki menjadi beberapa bagian yang bergerak independen, menciptakan pergerakan yang halus dan terkontrol [12], [17].

Prototipe meja las dikembangkan berdasarkan desain yang sudah dioptimalkan, dan diuji untuk memastikan stabilitas dan mobilitasnya. Pengujian stabilitas dilakukan untuk memeriksa kekuatan dan kestabilan kaki meja dalam berbagai posisi, sedangkan pengujian mobilitas dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk memindahkan meja dari satu posisi ke posisi lain. Hasil pengujian dianalisis secara statistik untuk mengevaluasi peningkatan efisiensi operasional dari desain baru ini, menilai peningkatan signifikan dalam mobilitas dan stabilitas meja. Berdasarkan hasil analisis, desain diperbaiki jika diperlukan sebelum solusi akhir dikembangkan untuk memenuhi semua persyaratan fungsional dan operasional. Proses ini tergambar dalam alur yang ada pada flowchart di Gambar 4.

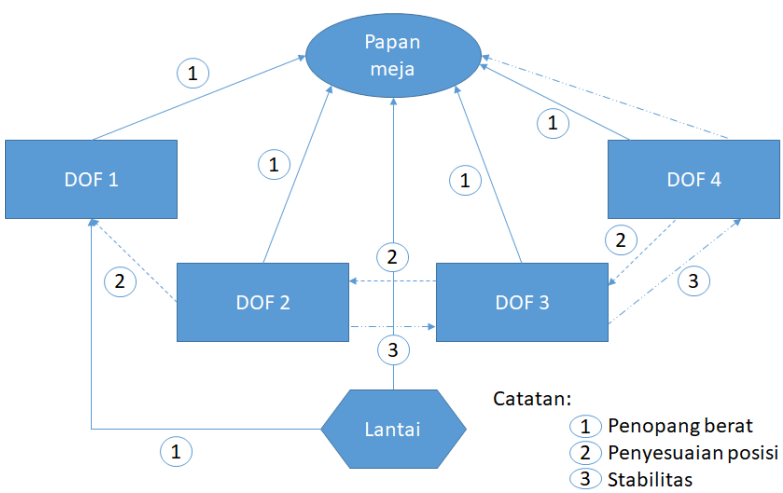


Gambar 4. Flowchart penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Function Analysis* (FA)

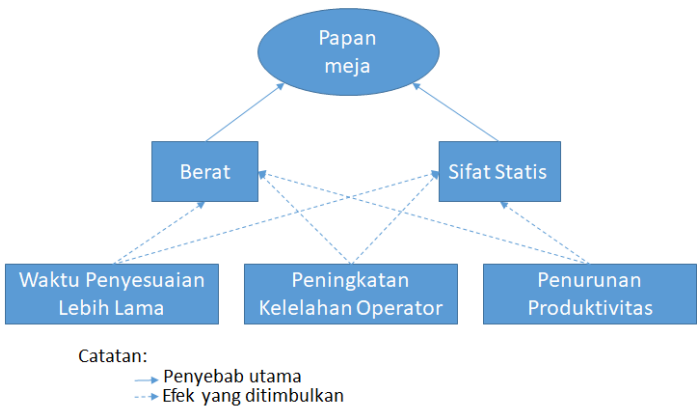
Pada tahap awal pengembangan kaki, dilakukan *Function Analysis* (FA) untuk mengidentifikasi fungsi utama dan sekunder dari komponen-komponen meja las [8]. FA berfokus pada dua fungsi utama, yaitu fungsi mobilitas dan fungsi stabilitas. Fungsi mobilitas berkaitan dengan pergerakan meja las dari satu posisi ke posisi lain tanpa kesulitan, sementara fungsi stabilitas berhubungan dengan keamanan meja selama pengelasan. Berdasarkan hasil analisis, motor penggerak dan sistem pengunci otomatis diidentifikasi sebagai elemen penting dalam mendukung kedua fungsi tersebut. Gambar 5 menunjukkan diagram fungsi dari sistem kaki meja las yang dikembangkan. FA juga mengungkapkan bahwa material kaki meja harus memiliki keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas. Baja karbon rendah dipilih karena sifat mekanisnya yang memungkinkan stabilitas sekaligus mobilitas yang memadai [9], [10].



Gambar 5. Diagram fungsi kaki meja las yang dikembangkan

3.2. *Cause-Effect Chain Analysis* (CECA)

Setelah FA, dilakukan *Cause-Effect Chain Analysis* (CECA) untuk mengidentifikasi masalah-masalah utama yang timbul dari desain meja las konvensional. CECA menunjukkan bahwa masalah utama adalah kesulitan memindahkan posisi benda kerja pada papan meja yang statis dan berat, yang mengakibatkan operator menghabiskan waktu lebih lama untuk melakukan penyesuaian posisi meja. Gambar 6 yang merujuk pada *flowchart* CECA, hubungan antara komponen-komponen desain dan efeknya terhadap proses kerja dijabarkan dengan jelas, di mana berat meja dan sifat statisnya berperan sebagai penyebab utama yang mengalir ke sejumlah efek negatif, termasuk waktu penyesuaian yang lebih lama dan peningkatan kelelahan operator [21].

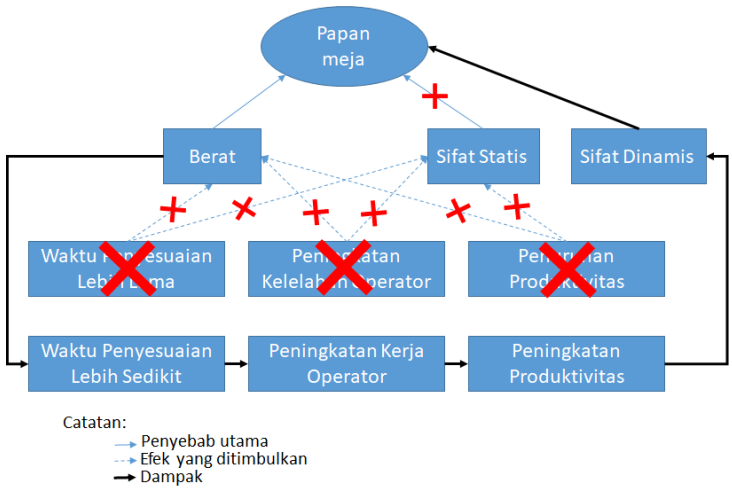


Gambar 6. CECA pada desain meja las konvensional

CECA juga menemukan bahwa desain meja yang kurang mobile berdampak pada efisiensi operasional secara keseluruhan, karena benda kerja di papan meja sering kali harus dipindahkan secara manual oleh dua orang atau lebih. Ini mengarah pada peningkatan waktu yang tidak produktif. Oleh karena itu, solusi yang difokuskan pada pengembangan motor penggerak dengan sistem pengunci otomatis dapat mengurangi waktu perpindahan dan meningkatkan efisiensi operasional [22].

3.3. *Trimming the Devices*

Pada tahap *trimming*, dilakukan peningkatan fungsi kaki meja las dengan menghilangkan komponen yang tidak esensial dan memperkuat komponen utama yang mendukung mobilitas. Misalnya, kaki meja yang sebelumnya statis dan berat digantikan dengan model dinamis yang dilengkapi sistem pengunci otomatis untuk memungkinkan perpindahan posisi yang lebih mudah. Selain itu, bagian-bagian yang berlebihan pada kaki meja, seperti pelindung tambahan, dihilangkan untuk mengurangi berat keseluruhan meja dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Trimming model

3.4. *Engineering Contradiction* (EC) *and Physical Contradiction* (PC)

Pada pengembangan kaki meja las, ditemukan beberapa kontradiksi teknik (*Engineering Contradiction*) dan kontradiksi fisik (*Physical Contradiction*). Salah satu kontradiksi teknik utama adalah peningkatan mobilitas yang menyebabkan penurunan stabilitas [7], [17]. Semakin mudah meja dipindah posisikan, semakin berkurang stabilitasnya selama pengelasan [12]. Hal ini merupakan tantangan dalam desain, karena stabilitas sangat penting untuk memastikan keselamatan operator dan kualitas hasil pengelasan.

Tabel 2. Matriks penerapan prinsip TRIZ untuk mengatasi kontradiksi pada desain kaki meja las

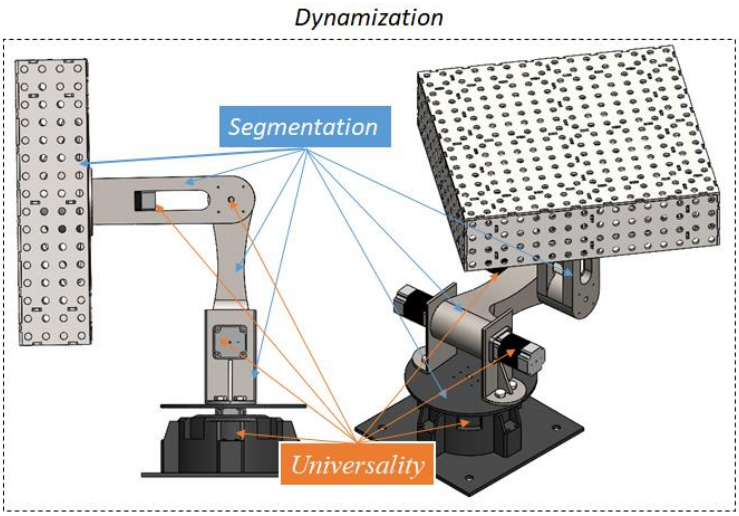
Kontradiksi	Prinsip TRIZ	Deskripsi Solusi
Mobilitas vs. Stabilitas	*Dynamization*	Kaki meja didesain fleksibel seperti lengan robot yang dapat menyesuaikan diri dengan kondisi medan. Hal ini memungkinkan perpindahan mudah dan stabilitas tinggi saat pengelasan.
Fleksibilitas Penyesuaian vs. Struktur Kaku	*Segmentation*	Desain kaki terdiri dari beberapa segmen atau sambungan yang bisa bergerak secara independen, memungkinkan penyesuaian posisi dan perpindahan tanpa kehilangan stabilitas.
Mobilitas dan Stabilitas dalam Satu Komponen	*Universality*	Penggerak dengan sistem pengunci otomatis memungkinkan satu komponen berfungsi ganda: memudahkan mobilitas saat diperlukan dan memberikan stabilitas ketika meja digunakan untuk pengelasan.

Tabel 2 menunjukkan solusi untuk mengatasi kontradiksi ini, diterapkan prinsip-prinsip TRIZ, seperti *Dynamization*, yang memungkinkan kaki meja untuk menyesuaikan diri dengan kondisi medan yang berbeda, dan *Segmentation*, di mana sistem kaki meja dibagi menjadi beberapa bagian yang dapat bergerak secara independen. Solusi ini memungkinkan meja tetap stabil saat digunakan, tetapi dapat dengan mudah dipindah posisikan ketika tidak dalam operasi [10].

3.5. *Inventive Principles* (IP)

Dalam menyelesaikan kontradiksi-kontradiksi yang diidentifikasi, beberapa prinsip inovatif dari TRIZ diterapkan. Selain *Dynamization* dan *Segmentation*, prinsip *Universality* juga digunakan, di mana satu komponen, seperti motor penggerak, dapat melaksanakan dua fungsi, yaitu mobilitas dan stabilitas melalui sistem pengunci otomatis. Gambar 8 menunjukkan penerapan prinsip-prinsip TRIZ pada desain kaki meja las dengan fleksibiltas tinggi. Penggunaan motor

penggerak dengan sistem pengunci otomatis memberikan kebebasan gerak tanpa mengurangi keamanan meja selama pengelasan berlangsung.



Gambar 8. Penerapan prinsip inovatif TRIZ pada desain kaki meja mobile

3.6. *Conceptual Model*

Berdasarkan hasil analisis dan penerapan prinsip-prinsip inovatif, model konseptual kaki meja las dengan fleksibiltas tinggi berhasil dikembangkan. Desain ini menggabungkan motor penggerak yang dapat diputar 360 derajat untuk mobilitas maksimum dengan sistem pengunci otomatis yang memastikan stabilitas selama penggunaan. Gambar 9 menampilkan model konseptual dari pengembangan kaki meja las.

Meja las dengan sudut kemiringan

Meja las dengan lubang jig

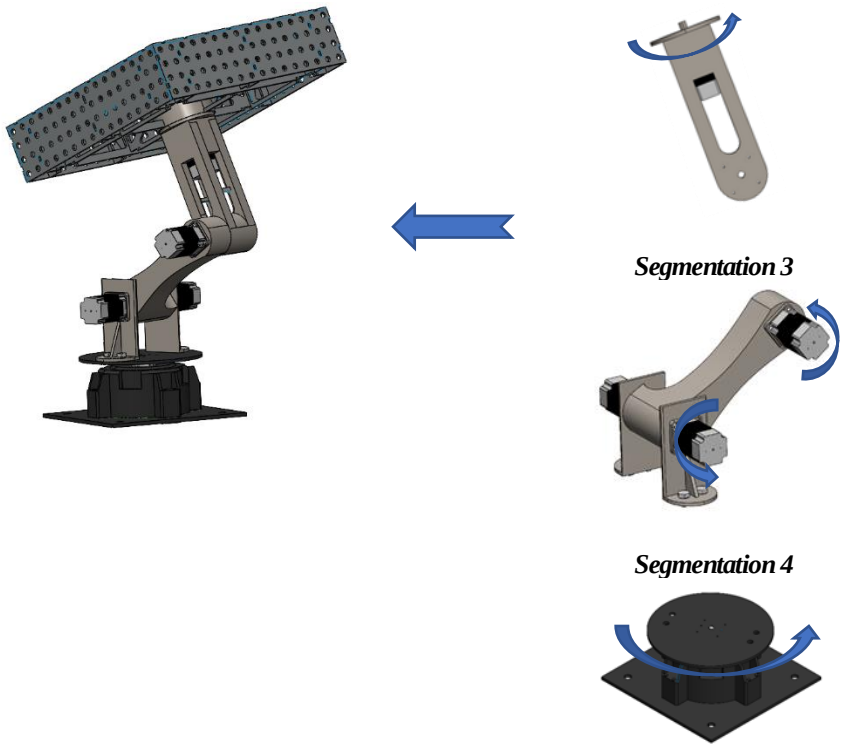
Lengan robot

(a) Contoh mejalas yang sudah ada dan lengan robot (DOF)

Konseptual pengembangan kaki mejalas

Segmentation 1

Segmentation 2



(a) Model mejalas dengan kaki mobile

Gambar 9. Model konseptual kaki meja las mobile

Segmentation 1: Papan meja yang terbuat dari baja karbon rendah dengan lubang ukur dan digunakan sebagai jig untuk reser block, dirancang untuk memberikan kekuatan dan kestabilan selama proses kerja perakitan. Lubang ukur pada papan meja ini berfungsi untuk memastikan presisi dalam pengaturan dan penempatan komponen. Jig tersebut memungkinkan pengaturan blok pada posisi yang tepat selama proses kerja, sehingga membantu meningkatkan efisiensi dan akurasi. Papan meja ini dilengkapi dengan berbagai fitur tambahan, seperti rel atau sistem penjepit yang memudahkan dalam mengatur posisi komponen atau alat tambahan lain untuk proses produksi yang lebih efektif.

Segmentation 2: Lengan atas dengan motor gearbox mendukung papan meja sekaligus menggerakkan meja agar dapat berputar [22]. Motor gearbox berfungsi sebagai sumber tenaga untuk memberikan torsi yang cukup untuk memutar atau menggerakkan meja secara presisi, baik dalam rotasi penuh maupun pergerakan terbatas. Penggunaan motor gearbox memungkinkan kontrol kecepatan dan arah putaran, sehingga mempermudah penyesuaian posisi meja sesuai kebutuhan proses kerja [16]. Dengan adanya lengan atas ini, papan meja dapat diputar untuk memudahkan akses ke berbagai sisi blok kerja, meningkatkan efisiensi kerja, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan perubahan posisi atau orientasi benda kerja secara berkala. Keunggulan lain dari penggunaan motor gearbox adalah kemampuannya menopang beban berat dari papan meja tanpa mengorbankan stabilitas, karena gearbox memberikan rasio pengurangan kecepatan yang optimal, menghasilkan torsi yang lebih besar untuk menopang beban tersebut.

Segmentation 3: Dua Lengan Penghubung struktur terdiri dari lengan yang menyambung antara lengan atas dan penopang bawah, dilengkapi dengan tiga motor gearbox. Tiga motor gearbox ini memungkinkan kontrol pergerakan yang fleksibel dan presisi untuk menyesuaikan posisi papan meja [22]. Dua motor berfungsi untuk menggerakkan lengan secara sinkron atau independen, sementara satu motor lainnya bertanggung jawab atas pergerakan rotasi meja. Desain ini memungkinkan papan meja untuk diatur dalam berbagai orientasi dan posisi, meningkatkan efisiensi dalam proses kerja yang memerlukan perubahan sudut dan akses berbeda.

Segmentation 4: Penopang bawah dilengkapi dengan motor gearbox yang menopang semua beban dari sistem. Motor ini memastikan kestabilan dan kekuatan untuk menahan beban berat tanpa mengorbankan fungsi utama kaki meja las. Selain berfungsi sebagai penopang, motor gearbox pada bagian ini juga memberikan dukungan tambahan

untuk pergerakan atau penyesuaian kecil pada sistem, memastikan bahwa keseluruhan rangkaian tetap seimbang dan dapat dioperasikan dengan lancar.

3.7. *Safety and Ergonomics*

Desain kaki meja las fleksibel dengan sistem DOF (*degrees of freedem*) memberikan peningkatan signifikan dalam hal keselamatan dan ergonomi. Dengan penerapan sistem penggerak pengunci otomatis pada roda, operator tidak perlu lagi memindahkan benda kerja pada papan meja las secara manual. Sistem ini tidak hanya mempermudah perpindahan meja tetapi juga mengurangi risiko cedera, terutama pada bagian punggung dan bahu [23]. Cedera akibat pengangkatan beban berat sering terjadi di lingkungan kerja industri, dan pengurangan interaksi fisik langsung ini dapat meminimalkan potensi bahaya bagi operator [24].

Selain itu, fitur kaki meja yang dapat disesuaikan ketinggiannya memungkinkan penyesuaian meja agar sesuai dengan kebutuhan ergonomis pengguna. Dengan ketinggian meja yang dapat diatur, operator dapat menyesuaikan posisi kerja yang paling nyaman, baik ketika duduk maupun berdiri. Ini membantu mengurangi kelelahan otot dan meningkatkan produktivitas selama proses pengelasan. Desain yang ergonomis memainkan peran penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih sehat dan aman, di mana operator dapat bekerja dengan postur yang benar dan nyaman sepanjang hari.

Keunggulan lain dari desain ini adalah kemudahan dalam pengaturan ruang kerja. Karena meja las ini lebih fleksibel, operator dapat dengan cepat dan mudah mengatur ulang posisi meja sesuai dengan tata letak yang diinginkan. Ini memberikan kebebasan lebih bagi pengguna untuk menyesuaikan ruang kerja mereka agar lebih efisien dan mudah diakses. Hal ini sangat penting dalam lingkungan kerja dinamis yang memerlukan penyesuaian cepat dan sering [25].

4. KESIMPULAN

Pengembangan kaki meja las dengan fleksibiltas tinggi berhasil meningkatkan efisiensi operasional, terbukti dengan pengurangan waktu perpindahan meja dari rata-rata 5 menit menjadi 3,5 menit, atau peningkatan sebesar 30%. Dibandingkan dengan teknologi meja las konvensional yang sering kali tidak memiliki fitur mobilitas optimal, desain baru ini tidak hanya menawarkan kemudahan dalam operasi tetapi juga memastikan stabilitas melalui sistem pengunci otomatis. Dari segi biaya, penggunaan material baja karbon rendah pada desain ini mampu menghemat biaya hingga 20% dibandingkan meja las yang menggunakan material dan teknologi lebih mahal. Hasil ini menunjukkan bahwa inovasi pada kaki meja las memberikan solusi efektif dan efisien, cocok untuk lingkungan kerja yang membutuhkan perpindahan dan penyesuaian posisi yang cepat. Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat mengeksplorasi material alternatif untuk mengatasi potensi masalah seperti korosi dan penurunan kekuatan pada suhu tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbud Ristek) atas hibah pendanaan program Karya Inovasi Laboran 2024, serta kepada Universitas Muria Kudus atas dukungan dan kerjasamanya. Dukungan ini sangat berarti bagi pengembangan penelitian dan inovasi, dan kami berharap dapat terus berkontribusi untuk menciptakan inovasi yang bermanfaat bagi masyarakat dan dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. P. N. Singh, “Optimizing welding station mobility for enhanced productivity in manufacturing,” Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 52, no. 4, pp. 623–634, 2011.
[2] S. A. Smith, Welding Productivity and Process Efficiency in Dynamic Environments, 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
[3] T. Chao and C. Lin, “CAD-based simulation for welding workstation optimization,” J. Manuf. Sci. Eng., vol. 33, no. 2, pp. 159–167, 2012.

[4] L. K. Johnson, Material Selection in Welding Fixture Design, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.
[5] C. M. Williams and A. Brown, "Automatic locking mechanisms in welding workstations: Design and evaluation," J. Mech. Eng., vol. 41, no. 3, pp. 118–125, 2016.
[6] A. X. Yang et al., "Mobile welding table model conceptualization: A productivity assessment," Int. J. Prod. Res., vol. 57, no. 8, pp. 1833–1844, 2018.
[7] G. Altshuller, And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving, Worcester, MA: Technical Innovation Center, 1996.
[8] R. C. Ford, "Function analysis in welding station design: Enhancing efficiency," J. Ind. Eng. Technol., vol. 45, pp. 101–108, 2017.
[9] S. T. Lee, "Flexibility and productivity in manufacturing equipment design," J. Adv. Manuf. Eng., vol. 21, pp. 455–462, 2015.
[10] K. Brown, Safety and Stability in Mobile Manufacturing Equipment, New York: Springer, 2014.
[11] S. D. Savransky, Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving, New York: CRC Press, 2000.
[12] H. T. Hsieh and J. L. Chen, "Using TRIZ methods in friction stir welding design," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 46, pp. 1085–1102, 2010.
[13] M. S. Kazue, O. de F. Odair, and W. B. Wellington, "Applying CECA to welding workstation design," TRIZ J., pp. 34–38, 2007.
[14] J. Mann, The Four Pillars of TRIZ, Proceedings of the Engineering Design Conference, Brunel, 2000.
[15] G. Santoso et al., "TRIZ-based method for developing a conceptual laparoscopic surgeon ' s chair surgeon ' s chair," Cogent Eng., vol. 11, no. 1, p., 2024, doi: 10.1080/23311916.2023.2298786.
[16] M. H. Zafar, E. F. Langås, and F. Sanfilippo, "Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review," Robot. Comput. Integr. Manuf., vol. 89, p. 102769, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769.
[17] C. Dobrusskin, "On the Identification of Contradictions Using Cause Effect Chain Analysis," Procedia CIRP, vol. 39, pp. 221–224, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.192.
[18] A. Lundbäck, Modelling and Simulation of Welding and Metal Deposition. 2010.
[19] X. T. Song, J.-Y. Kuo, and C.-H. Chen, "Chapter 3 - Design methodologies for conventional and additive manufacturing," C. D. Patel and C.-H. B. T.-D. M. Chen, Eds., Elsevier, 2022, pp. 97–143. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95062-6.00007-3.
[20] D. C. Karnopp, D. L. Margolis, and R. C. Rosenberg, Modeling, Simulation, and Control of Mechatronic Systems. 2012.
[21] F. Turner, "Advances in Manufacturing Technology.," Aeronaut. J., vol. 88, no. 872, pp. 17–22, 1983, doi: 10.1017/s0001924000020133.
[22] 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, 2023, doi: 10.3390/machines11010053.
[23] M. Bortolini, L. Botti, F. G. Galizia, and C. Mora, "Ergonomic Design of an Adaptive Automation Assembly System," Machines, vol. 11, no. 9. 2023. doi: 10.3390/machines11090898.
[24] C. Benson, I. C. Obasi, D. V. Akinwande, and C. Ile, "The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry," Heliyon, vol. 10, no. 1, p. e23604, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23604.
[25] J. Kim, C. Candido, L. Thomas, and R. de Dear, "Desk ownership in the workplace: The effect of non-territorial working on employee workplace satisfaction, perceived productivity and health," Build. Environ., vol. 103, pp. 203–214, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.015.