

Aplikasi Jig pada proses pembuatan Hook untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Pengelasan Menggunakan Rotary Welding: Studi Kasus di Industri Karoseri

Carli, Eko Saputra*, Daryadi, Sunarto

Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247473417

*E-mail: eko.saputra@polines.ac.id

Diterima: 17-07-2022; Direvisi: 08-08-2022; Dipublikasi: 22-08-2022

Abstrak

Proses pengelasan Hook di PT. Mekar Armada Jaya masih menggunakan cara manual, sehingga berakibat pada lamanya proses pengelasan, pengelasan tidak stabil dan tidak merata. Oleh karena itu, penelitian tentang aplikasi Jig pada proses pembuatan Hook untuk meningkatkan efisiensi waktu pengelasan menggunakan Rotary Welding sangat penting dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi waktu dan kualitas hasil pengelasan dengan membuat jig untuk proses pembuatan hook menggunakan rotary welding dengan motor penggerak 0.25 HP. Metode yang digunakan untuk merancang bangun jig ini yaitu identifikasi kebutuhan, rumusan masalah, sintesis, analisis, evaluasi dan penyajian. Pada penelitian ini, pengujian pengelasan manual SMAW, pengelasan semi-otomatis SMAW dan pengelasan otomatis MIG dilakukan dengan meninjau hasil diameter pengelasan dan waktu pengelasan. Hasil menunjukkan diameter yang dihasilkan pada pengujian manual SMAW, semi-otomatis SMAW dan otomatis MIG secara berurutan adalah 7,07; 6,36; dan 6,2 mm. Sedangkan waktu pengelasan untuk pengujian manual SMAW, semi-otomatis SMAW dan otomatis MIG secara berurutan adalah 7 menit 40 detik; 6 menit 19 detik; dan 1 menit 36 detik. Alat ini mampu menghemat waktu pengelasan hingga 85% dibanding pengelasan manual.

Kata kunci: Jig; Hook; Rotary Welding

Abstract

Hook welding process at PT. Mekar Armada Jaya still uses the manual method, resulting in the length of the welding process, unstable and uneven welding. The purpose of this research is to improve time efficiency and quality of welding results by making a jig for the hook manufacturing process using rotary welding with a 0.25 HP motor. The method used to design this jig is identification of needs, problem formulation, synthesis, analysis, evaluation and presentation. In this study, testing SMAW manual welding, SMAW semi-automatic welding and MIG automatic welding were carried out by reviewing the results of welding diameter and welding time. The results show that the diameter of the SMAW manual, semi-automatic SMAW and automatic MIG tests, respectively, is 7.07; 6.36; and 6.2 mm. Meanwhile, the welding time for manual SMAW, semi-automatic SMAW and automatic MIG testing respectively is 7 minutes 40 seconds; 6 minutes 19 seconds; and 1 minute 36 seconds. This tool is able to save welding time up to 85% compared to manual welding.

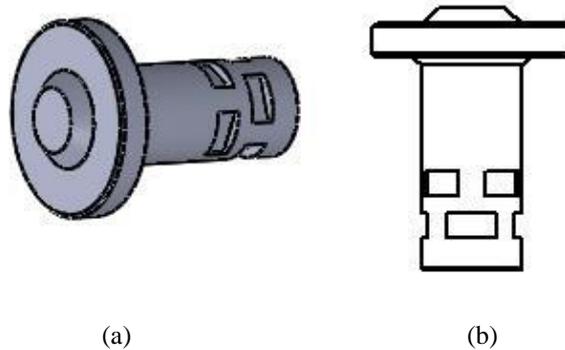
Keywords: Jig; Hook; Rotary Welding

1. Pendahuluan

Hook merupakan suatu alat atau pengait yang digunakan untuk mengangkat beban dengan menggunakan alat seperti derek (*Crane*). Hook memiliki variasi ukuran yang berbeda-beda tergantung dimensi dan kelas dies yang akan diterapkan. Dies merupakan sebuah set cetakan yang terbuat dari besi cor, digunakan untuk memotong, melubang atau membentuk produk-produk yang terbuat dari bahan plat logam (*sheet*). Hook terdiri dari dua bagian yaitu ring dan shaft. Ring dan shaft tersebut disatukan melalui proses pengelasan. Hook biasanya dipasang lebih dari satu buah yang mana berfungsi untuk melipatgandakan gaya angkat, seperti pada Gambar 1.

Proses pengelasan hook di industri karoseri PT. Mekar Armada Jaya masih menggunakan cara manual, yaitu pengelasan silinder dengan cara memutar benda kerja secara manual menggunakan tangan atau perlengkapan bantu sederhana. Cara manual ini berakibat pada lamanya proses pengelasan karena harus berhenti dahulu untuk memutar benda kerja. Selain itu, proses berputarnya benda kerja yang tidak stabil tersebut berakibat pada hasil las yang tidak merata dan beda ketinggian hasil pengelasan karena harus disambung-sambung. Permasalahan ini tidak hanya waktu yang diperlukan

menjadi lebih lama jika menggunakan perputaran manual namun juga dari segi keselamatan kerja juga kurang diperhatikan. Operator yang melakukan pengelasan hook biasanya saat ingin memutar benda kerja sering terlupa untuk memakai sarung tangan, atau alat bantu lainnya seperti penjepit, karena terburu-buru untuk mengejar target pembuatan hook harian, sehingga keselamatan sering terabaikan. Oleh karena itu perlu adanya alat bantu Jig untuk memutar benda kerja Hook saat pengelasan, dimana Jig adalah alat bantu untuk memegang benda kerja sekaligus menduplikasikan proses manufaktur lain seperti drill, milling dll [1, 2, 3]



Gambar 1. Model komponen Hook di Industri karoseri PT. Mekar Armada Jaya, (a) pandangan tampak isometris dan (b) pandangan tampak depan

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Suhartinah dkk [4], dengan merancang dan membuat Jig Rotary Table menggunakan motor servo HG-KR43B pada Mesin spot welding. Alat bantu Jig ini bertujuan untuk mengelas tank header, al-bracket dan modulator pada industry mobil, sehingga membutuhkan 3 buah jig clamping untuk setiap prosesnya. Kurniawan dkk [5] juga melakukan penelitian dengan merancang Universal Jig Rotary untuk underframe kereta. Alat bantu ini digunakan untuk mempermudah dalam pengerjaan, khususnya dalam proses pengelasan bagian bawah underframe. Selain itu, Subarkah dkk. [6] juga melakukan penelitian yang serupa dengan membuat Jig Rotary Welding untuk underframe PPCW 57 ton di PT. INKA (Persero). Alat bantu Jig ini digunakan untuk mengatasi permasalahan yang dialami saat melakukan proses full welding underframe PPCW. Berdasarkan beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan, belum ditemukan penelitian yang dikhususkan untuk mengatasi permasalahan pengelasan Hook. Oleh karena itu, penelitian tentang aplikasi Jig pada proses pembuatan Hook untuk meningkatkan efisiensi waktu pengelasan menggunakan Rotary Welding sangat penting dilakukan.

Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi waktu dan kualitas hasil pengelasan dengan membuat jig untuk proses pembuatan hook menggunakan rotary welding dengan motor penggerak 0.25 HP. Untuk melihat kinerja dari desain Jig yang akan dibuat, perbandingan antara metode pengelasan lain seperti pengelasan manual akan dilakukan.

2. Material dan Metodologi

2.1. Bahan yang digunakan

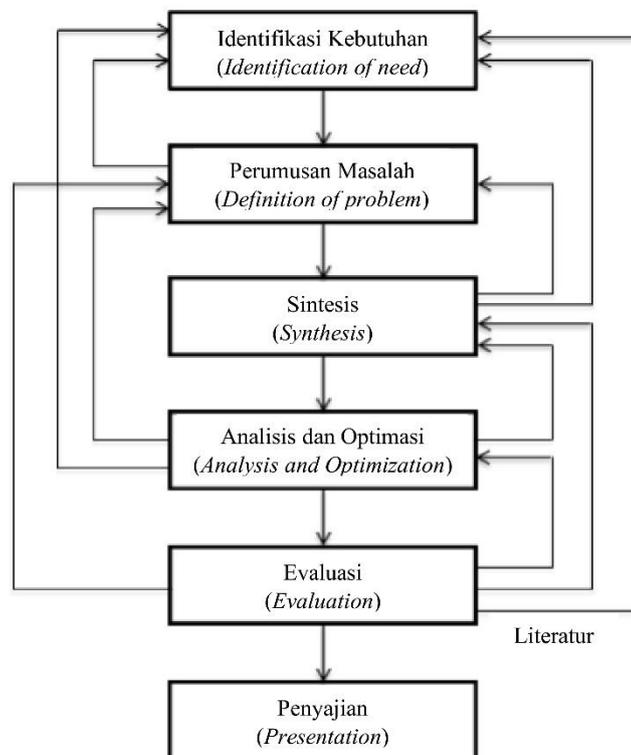
Spesifikasi material pembuatan hook yang digunakan di PT. Mekar Armada Jaya menggunakan jenis SS400. Baja SS400 adalah jenis baja karbon yang mempunyai kadar karbon rendah yaitu dibawah 0,19-0,3% [7, 8]. Material ini hanya bisa dikeraskan melalui pengerasan permukaan (*surface hardening*) seperti karburisasi (*carburizing*), *nitriding* atau *carbonitriding*, dimana kekerasan permukaan bisa mencapai 500 Brinell (sekitar 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron tergantung parameter prosesnya [9].

2.2. Metode penelitian

Metodologi perancangan dan pembuatan jig pada proses pembuatan hook menggunakan rotary welding mengikuti diagram alir pada Gambar 2 [10]. Tahap perancangan bertujuan untuk merancang Jig yang dapat menyelesaikan permasalahan yang dihadapi industri yang diperoleh dari pemilihan alternatif desain yang paling baik [11]. Dalam proses perancangan Jig, memerlukan rancangan yang proporsional dan sesuai dengan beberapa kriteria yang digunakan. Diagram alir pada Gambar 2 merupakan tahapan pembuatan Jig dari awal sampai akhir pembuatan.

Identifikasi kebutuhan merupakan tahapan dalam menganalisa akar-akar masalah dengan melakukan pengamatan di lingkungan industri. Pertama adalah dengan membuat pernyataan lengkap mengenai masalah, menunjukkan kebutuhan, maksud atau tujuan mesin yang dirancang [10] dalam hal ini adalah alat bantu Jig. Proses pengelasan Hook yang berbentuk silinder secara manual adalah dengan meletakkan benda kerja yang kemudian dilakukan pengelasan secara melingkar. Proses pengelasan secara melingkar ini dilakukan dengan beberapa jeda (berhenti dan mulai) pengelasan. Hal ini menyebabkan kualitas hasil las memiliki potensi besar tidak rata dan tidak stabil. Oleh karena itu diperlukan alternatif proses pengelasan Hook tersebut dengan cara membuat benda kerja berputar secara otomatis sehingga memudahkan *welder* dalam mengelas dan membuat proses pengelasan lebih efektif. Tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah mengenai alat yang dibutuhkan, yang nantinya akan menghasilkan arahan perancangan jig pada proses pembuatan hook menggunakan *rotary welding*, sekaligus menentukan spesifikasi alat yang akan dirancang.

Pada penelitian ini, kemudian peneliti mendefinisikan masalah mengenai alat bantu Jig yang akan digunakan. Perancangan Jig yang akan digunakan yaitu menentukan daya motor listrik, kebutuhana desain, keunggulan dan kekurangan desain, fungsi dan lain sebagainya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendefinisikan masalah adalah definisi masalah harus spesifik dan harus meliputi semua spesifikasi yang terdiri dari masukan dan keluaran jumlah, karakteristik, dimensi ruang yang harus ditempati objek serta batasan jumlah [10].



Gambar 2. Diagram Alir Proses Perancangan yang diadopsi dari Shigley-Mitchell [10]

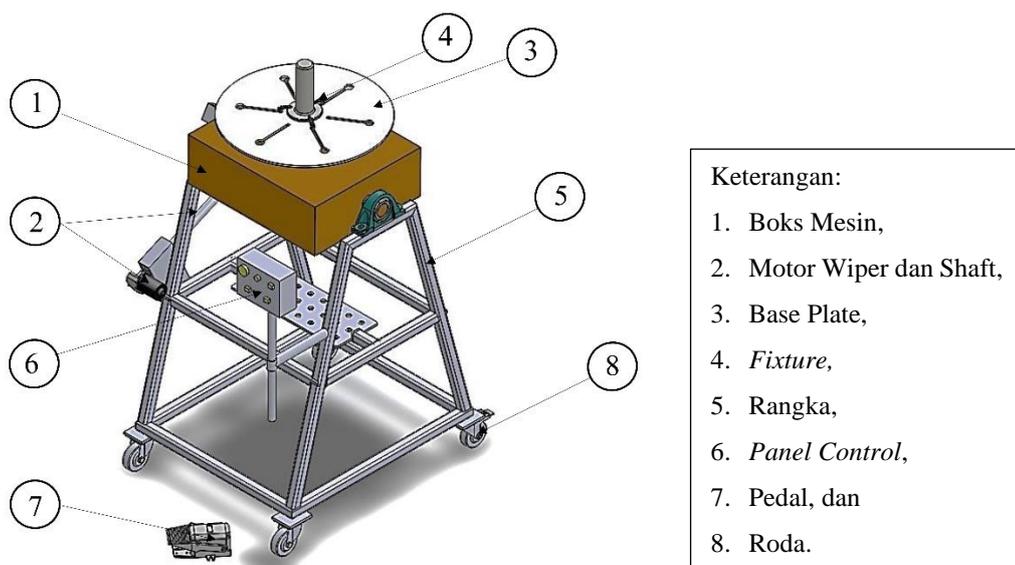
Tahap berikutnya adalah tahap sintesis yang merupakan tahap untuk menemukan beberapa konsep atau desain konsep. Berbagai konsep harus diajukan, diinvestigasi, dikuantifikasi dan kemudian dilakukan analisa untuk menilai apakah kinerja sistem yang diusulkan memuaskan atau lebih baik, dan jika memuaskan kira-kira seberapa baik kinerjanya [10]. Berdasarkan definisi masalah yang ada, maka diperlukan alternatif desain untuk menentukan desain alat bantu Jig yang akan dibuat berdasarkan pertimbangan mesin serta sistem penilaian antara alternatif desain 1, alternatif desain 2 dan alternatif desain 3. Beberapa alternatif konsep produk pada tahap sintesis kemudian dipilih untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ini meliputi analisis gaya, tegangan, deformasi, getaran, dan lain-lain [12]. Pada tahap ini dilakukan analisa perhitungan terhadap alat bantu Jig berdasarkan perhitungan gaya, tegangan, torsi, kapasitas dan lainnya.

Tahap evaluasi merupakan bukti akhir dari sebuah kesuksesan desain dan biasanya melibatkan pengujian di laboratorium untuk mengetahui apakah desain mampu memenuhi kebutuhan dan dapat diandalkan [10]. Menguji rancang bangun jig pada proses pembuatan hook menggunakan rotary welding yang telah dibuat guna mengetahui hasil produk yang harus dicapai dari rancangan yang telah dibuat, sehingga akan diketahui tingkat keberhasilan atas perencanaan pembuatan alat tersebut. Langkah akhir dari proses perancangan adalah langkah presentasi, yaitu kegiatan menyusun dokumen dalam bentuk gambar lengkap atau gambar kerja, daftar komponen, dan informasi lainnya [10].

3. Hasil dan pembahasan

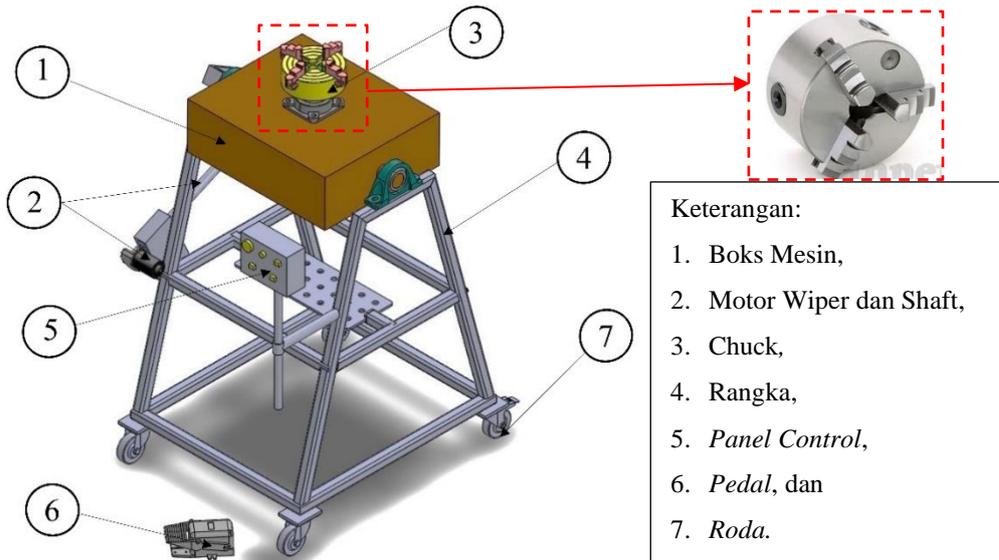
3.1. Alat bantu Jig

Tahap untuk menentukan desain yang terbaik, maka diperlukan beberapa alternatif desain untuk alat bantu Jig dimana alternatif desain ini memiliki kelebihan dan kekurangan yang kemudian akan dilakukan penilaian dari masing-masing alternatif desain. Semua proses perancangan, perencanaan dan pemilihan elemen mesin yang digunakan dengan mempertimbangkan literatur [10, 12, 13, 14, 15]. Dalam setiap proses alternatif desain, dilakukan proses analisa dan optimasi desain secara berulang-ulang. Hal ini dilakukan untuk memperoleh desain yang sesuai dengan identifikasi kebutuhan. Pada penelitian ini, tiga alternatif desain alat bantu Jig diusulkan yang akan ditampilkan satu persatu sebagai berikut:



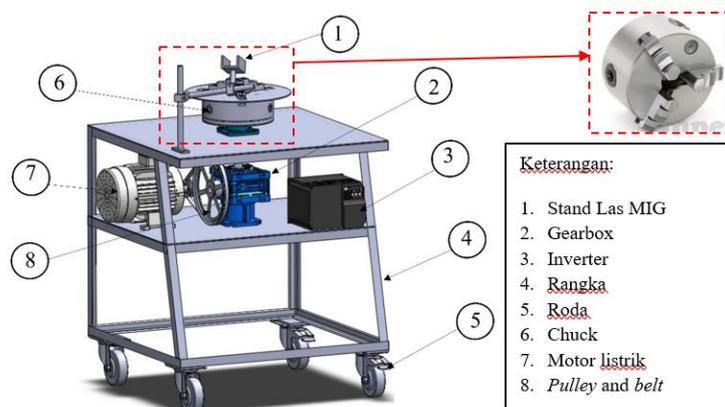
Gambar 3. Alternatif desain 1

Alternatif design 1 menggerakkan benda kerja agar dapat berputar menggunakan motor listrik dan roda gigi rantai, untuk mengatur kecepatannya terdapat panel control. Benda kerja yang akan di las akan di cekam menggunakan clamp. Jig ini bisa dimiringkan hingga 90° yang digerakkan menggunakan motor wiper sehingga memungkinkan operator untuk melakukan pengelasan dengan sudut kemiringan pengelasan yang beragam, untuk mengatur kemiringan benda kerja menggunakan pedal. Kelebihan alternatif desain ini adalah konstruksi sederhana, adanya roda untuk mobilitas alat dan biaya pembuatan lebih murah. Kekurangan alternative desain 1 ini adalah daya clamp kurang kuat, pengelasan masih manual perawatan susah karena perlu adanya pelumasan pada roda gigi rantai.



Gambar 4. Alternatif desain 2

Alternatif design 2 menggerakkan *chuck* agar berputar menggunakan dinamo mesin cuci dimana untuk mereduksi kecepatan putar nya membutuhkan reducer (*gearbox*) dan untuk mentransmisikan daya menggunakan pulley dan belt. Panel control yang digunakan untuk mengontrol perputaran jig, dan kemiringan jig, serta pedal yang digunakan untuk mengatur kemiringan jig. Jig ini bisa dimiringkan hingga 90° yang digerakkan motor wiper sehingga memungkinkan operator untuk melakukan pengelasan dengan sudut kemiringan pengelasan yang beragam. Kelebihan alternatif desain 2 ini adalah daya cekam lebih kuat karena menggunakan fixture jenis chuck, perawatan lebih mudah karena menggunakan *pulley* dan *belt*. Kekurangan desain ini adalah proses pengelasan masih manual.



Gambar 5. Alternatif desain 3

Alternatif design 3 untuk menggerakkan *chuck* agar berputar menggunakan motor listrik dimana untuk mereduksi kecepatan putar nya membutuhkan *reducer (gearbox)*, untuk mentransmisikan daya menggunakan pulley dan belt dan untuk mengatur kecepatannya menggunakan inverter. Rancangan ini ditambahkan stand las yang digunakan untuk pengelasan otomatis las MIG. Kelebihan alternatif desain 3 ini adalah operator tidak perlu melakukan pengelasan manual karena holder las bersifat statis dijeoit pada stand las MIG. Selain itu, kecepatan putar *chuck* lebih stabil karena menggunakan inverter dan dapat berputar bolak-balik. Kekurangan dari desain 3 ini adalah konstruksi yang lebih kompleks sehingga biaya pembuatan relative mahal.

Langkah berikutnya adalah pemilihan desain terbaik dari ketiga desain yang sudah dipaparkan sebelumnya. Penilaian dilakukan dengan meninjau beberapa parameter seperti akurasi, pengerjaan, fungsi, biaya dan ketahanan. Dari sisi akurasi, alternatif desain 1 dan 3 masih menggunakan sistem pengelasan secara manual sehingga hasil pengerjaannya sangat tergantung oleh operator, sedangkan alternatif desain 3 menggunakan sistem pengelasan semi-otomatis sehingga lebih bagus dan stabil hasilnya. Dari sisi pengerjaan, alternatif desain 3 lebih unggul karena dilengkapi inverter yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan putar sehingga stabil dan juga dapat mengubah tegangan DC (searah) menjadi tegangan AC (bolak-balik). Dari sisi fungsi, alternatif desain 3 disertai semi-otomatis pengelasan sehingga lebih unggul dari sisi fungsi alat bantu pengelasan dibandingkan alternatif desain 1 dan 2 yang harus melakukan pengelasan masih manual. Dari sisi biaya, alternatif desain 1 lebih murah dibandingkan desain 2 dan 3 karena desain konstruksi lebih sederhana. Dari sisi ketahanan, alternatif desain 3 lebih unggul dari sisi ketahanan dikarenakan beban yang di tumpu hanya vertikal tidak dimiringkan seperti alternatif desain 1 dan 2. Berdasarkan penilaian tersebut, menunjukkan bahwa desain alternative 3 memiliki keunggulan dibandingkan desain 1 dan 2. Maka dari itu, desain 3 digunakan acuan dalam pembuatan alat bantu Jig pada penelitian ini. Alat bantu pengelasan Hook untuk mempermudah proses pengelasan melingkar dapat dilihat pada Gambar 6.



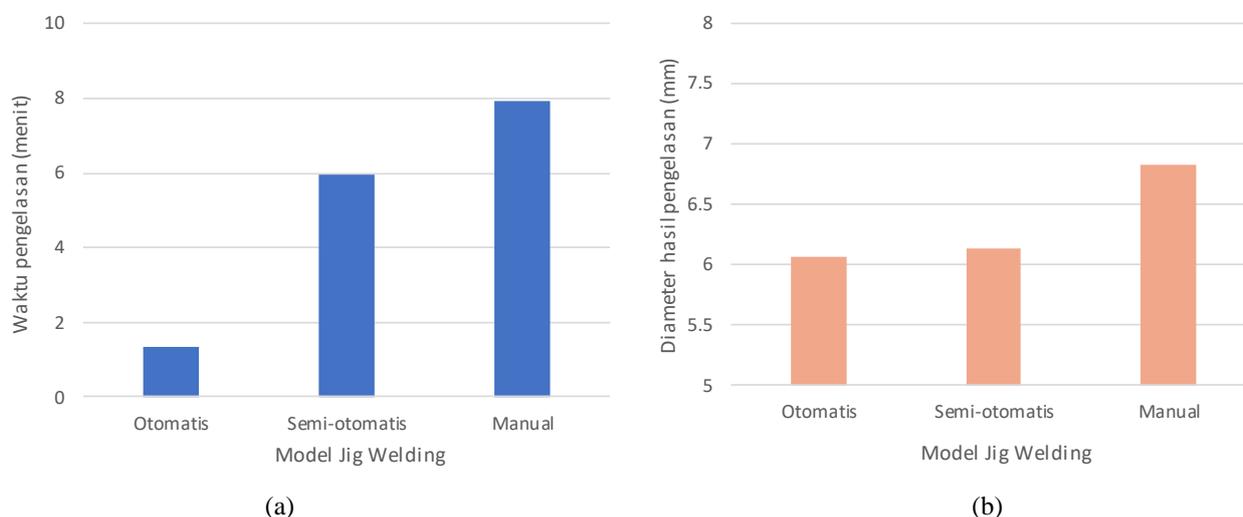
Gambar 6. Model Jig welding terpilih

3.2. Hasil Evaluasi *Jig welding*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja *jig welding* yang telah dibuat dibandingkan dengan manual pada proses pembuatan hook. Hasil dari pengujian ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Pengujian Kinerja Jig Welding dibandingkan dengan manual

Pengujian	Jenis Pengerjaan	Arus (Amp)	Keterangan
1	Otomatis (MIG)	100	• Kawat BZ-7108 Ukuran 0.8 • Hasil pengelasan baik, stabil dan diameter yang dihasilkan 6 mm
2			• Hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil dan diameter yang dihasilkan 6 mm
3			• Hasil pengelasan paling baik, stabil dan diameter yang dihasilkan paling besar yaitu 6.2 mm
1	Semi-otomatis (SMAW)	100	• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 5.5 • Hasil pengelasan paling baik, stabil dan diameter yang dihasilkan paling besar yaitu 6.36 mm
2			• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 3 • Hasil pengelasan baik, ada beberapa bagian yang tidak terisi elektroda sehingga bolong dan diameter yang dihasilkan 5.70 mm
3			• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 5.5 • Hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil, banyak bagian yang tidak terisi elektroda sehingga bolong dan diameter yang dihasilkan 6.36 mm
1	Manual (SMAW)	100	• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 5.5 • Hasil pengelasan paling baik, stabil, dan diameter yang dihasilkan 7.07 mm
2			• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 5 • Hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil, banyak bagian yang tidak terisi elektroda sehingga bolong dan diameter yang dihasilkan 6.36 mm
3			• Elektroda RD-260 Ø2.0 x 300 mm sebanyak 4.5 • Hasil pengelasan baik, kurang stabil, hasil pengelasan terlalu melebar ke bawah dan diameter yang dihasilkan 7.07 mm



Gambar 7. Perbandingan hasil pengujian dengan meninjau pengaruh model *Jig welding* terhadap (a) waktu pengelasan dan (b) diameter hasil pengelasan

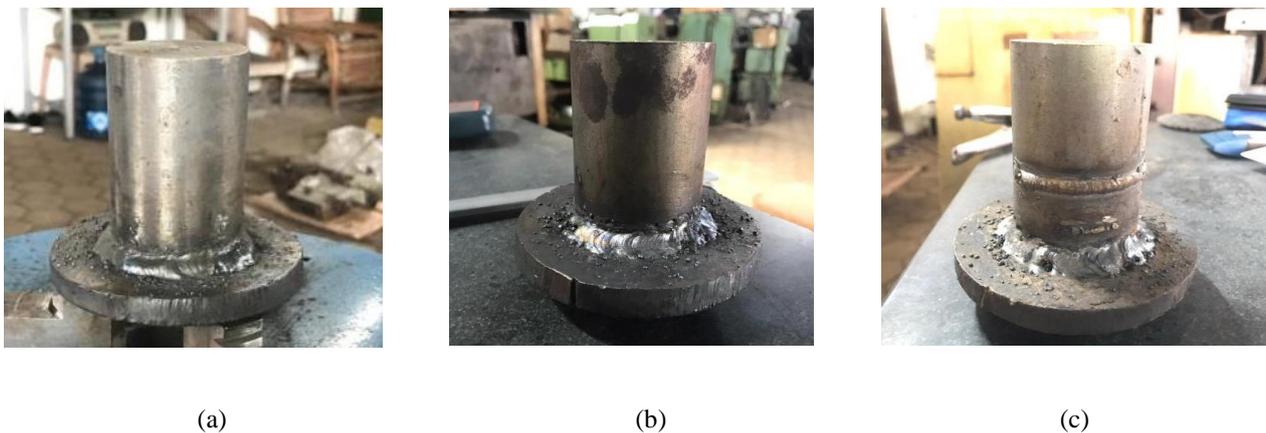
Pengujian material Hook diperoleh hasil waktu dan pengelasan yang berbeda terhadap jenis pengelasan yang digunakan. Berdasarkan Grafik pada Gambar 7(a-b) menunjukkan bahwa pengujian menggunakan variabel jenis pengelasan yang berbeda menghasilkan respons waktu dan hasil pengelasan yang berbeda pula. Respons pengelasan variabel semi-otomatis (SMAW) paling baik yaitu sekitar 6.19 menit dengan frekuensi putar 8 Hz, hasil pengelasan paling

baik, stabil dan diameter yang dihasilkan paling besar yaitu 6.36 mm sedangkan respons waktu dan hasil pengelasan yang tidak baik variabel semi otomatis (SMAW) yaitu sekitar 6.25 menit dengan frekuensi putar 5 Hz, hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil, banyak bagian yang tidak terisi elektroda sehingga bolong dan diameter yang dihasilkan 6.36 mm. Pengujian pengelasan variabel semi-otomatis (SMAW) paling baik jika digunakan pada frekuensi 13-15 Hz dengan diameter besi pejal Ø48 mm.

Dibandingkan dengan pengujian variabel manual (SMAW) hasil pengujian paling baik yaitu 7.40 menit dengan frekuensi putar 4 Hz, hasil pengelasan paling baik, stabil, dan diameter yang dihasilkan 7.07 mm sedangkan respons waktu dan hasil pengelasan yang tidak baik variabel manual (SMAW) yaitu 6.40 menit dengan frekuensi putar 5 Hz, hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil, banyak bagian yang tidak terisi elektroda sehingga bolong dan diameter yang dihasilkan 6.36 mm. Pengujian pengelasan variabel manual (SMAW) paling baik jika digunakan pada frekuensi 3-4 Hz dengan diameter besi pejal Ø48 mm.



Gambar 8. Hasil pengelasan otomatis menggunakan MIG (a) pengujian 1, (b) pengujian 2, dan (c) pengujian 3.



Gambar 9. Hasil pengelasan semi otomatis menggunakan SMAW (a) pengujian 1, (b) pengujian 2, dan (c) pengujian 3.



Gambar 10. Hasil pengelasan manual menggunakan SMAW (a) pengujian 1, (b) pengujian 2, dan (c) pengujian 3.

Pengujian material pipa besi diperoleh hasil waktu dan pengelasan yang digunakan. Gambar 8, 9 dan 10 menunjukkan hasil pengelasan secara berurutan menggunakan Jig welding otomatis, semi-tomatis dan manual. Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa respons pengelasan variabel otomatis (MIG) paling baik yaitu 1.36 menit dengan frekuensi putar 10 Hz, hasil pengelasan paling baik, stabil dan diameter yang dihasilkan paling besar yaitu 6.2 mm, sedangkan respons waktu dan hasil pengelasan yang tidak baik variabel otomatis (MIG) yaitu 1.33 menit dengan frekuensi putar 15 Hz, hasil pengelasan tidak baik, tidak stabil dan diameter yang dihasilkan 6 mm. Pengujian pengelasan variabel otomatis (MIG) paling baik jika digunakan pada frekuensi 13-15 Hz dengan diameter pipa besi Ø48 mm.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan proses dalam perancangan dan pengujian rancang bangun Jig pada proses pembuatan Hook menggunakan rotary welding yaitu menghasilkan rancangan desain dan model alat bantu Jig welding dengan penggerak motor ¼ HP, dimensi mesin dengan panjang rangka 650 mm, lebar rangka 600 mm dan tinggi rangka 691 mm. Pengujian pengelasan untuk pembuatan hook dengan semi-otomatis (SMAW) pada diameter benda Ø48 mm paling baik jika digunakan pada frekuensi 5-10 Hz, sedangkan untuk manual (SMAW) pada diameter benda Ø48 mm paling baik jika digunakan pada frekuensi 3-5 Hz. Pengujian pengelasan besi pipa dengan otomatis (MIG) pada diameter benda Ø48 mm paling baik jika digunakan pada frekuensi 10-15 Hz. Model Jig welding otomatis mampu menghemat waktu pengelasan hingga 85% dibanding pengelasan manual.

Daftar Pustaka

- [1] Hoffman, E.G., 2004, Jig and Fixture Design, Fifth Edition, Delmar Learning Drafting series, United States of America.
- [2] Venkataraman, K., 2015, Design of Jigs, Fixtures and Press Tools, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom.
- [3] Josh, P.H., 2003, Jigs and Fixtures: Design Manual second edition, McGraw-Hill.
- [4] Suhartinah, Muhammad Hidayat dan Ardi Winata, (2018), Rancangan Bangun jig Rotary Table menggunakan Motor Servo HG-KR43B pada Mesin Spot welding, Seminar Nasional Instrumentasi, control dan Otomasi (SNIKO) 2018, Bandung, Indonesia, hal. 5.
- [5] Kurniawan, W.D., Fahmi, N.K.A., Tarmuji, 2020, Perancangan Universal Jig Rotary underframe kereta PT. Industri Kereta Api Madiun, Indonesian journal of engineering and Technology, Vol. 3, No. 1, hal. 10-16.

- [6] Subarkah, W.H.,2021, Perancangan Jig Rotary Welding untuk Underframe PPCW 57 Ton di PT. INKA (Persero). Tugas Akhir D3 Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.
- [7] Pratama, M.Y., Budiarto, U., Jokosisworo, S., 2019, Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi pada sambungan las baja SS400 akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis kampuh dan Posisi Pengelasan, Jurnal Teknik perkapalan, Vol. 7, No. 4, hal. 203-214.
- [8] Bambang, K., 2010, Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternatif Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Tepat Guna, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Vol. 4, No. 2, hal. 21.
- [9] STP Team, 2015, Baja SS400 bukan Stainless steel tapi Structural Steel, <https://www.steelindopersada.com/2015/03/ss400-structural-steel-bukan-stainless-steel.html>, diakses 17 juni 2022.
- [10] Sigley's. 2011. Mechanical Engineering Design (Ninth Edition). New York: McGraw-Hill Companies.
- [11] Al-Bahra bin Ladjamudin. 2005. Analisis dan Desain Sistem Informasi. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [12] Khurmi, R.S., Gupta, J.K., 2005, Machine Design A textbook for The Student of B.E/B tech. New Delhi: Eurasia Publishing House Ltd.
- [13] Mott, R. L. 2004, Machine Elements In Mechanical Design, Fouth Edition Perason Education, New Jersey.
- [14] Sato, G. Takeshi dan N. Sugiarto Hartanto. 1986. Menggambar Mesin Menurut Standar ISO. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [15] Sularso, Kiyokatsu Suga. 1997. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita.