



Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.unmetro.ac.id/index.php/armatur>



ANALISIS KEGAGALAN PADA PROSES PEMOTONGAN MATERIAL MENGGUNAKAN MESIN TRULASER 5040

Sandi Kurniawan^{1*}, Jefri Aldo², Hariyono³

¹ Department of Automotive Technology Vocational Education, IKIP PGRI Kaltim, Jalan Suwandi Blok C 23 Kota Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia

^{2,3}Departement of Manufacturing Technique, Politeknik Batulicin, Jl One Maming Residence Kelurahan Batulicin, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:
Analysis
Failure
Material Cutting
TrueLaser Machine

ABSTRACT

The material-cutting process is one of the critical stages in the manufacturing industry that can affect the quality and success of the final product. The TruLaser 5040 machine is a material-cutting machine that is often used in industry to cut various types of materials with high precision. However, even though this machine has been well designed, failures sometimes occur in the cutting process which results in defects in the material being processed. This study aims to analyze the failures that occur in the material-cutting process using the TruLaser 5040 machine. This research uses a qualitative approach with a descriptive research type and the research informants are machine operators. This study has several stages which include data collection through direct observation, interviews, and descriptive analysis of the collected data. The results of the research conducted found several factors causing failure in the material cutting process including human error, machine error, material error, cutting size error, and cutting defects. Things that can be done to avoid material cutting failures are ensuring the condition of the machine and its main components such as nozzles, protective glass, and so on are in good condition. Material conditions must also be adjusted to the cutting parameters on the machine which include cutting distance, tip diameter, current, gas pressure, and cutting speed so that dross and defects do not occur in the cutting material.

*Corresponding author: sandykurniawan4949@gmail.com

DOI: <https://10.24127/armatur.v4i2.3932>

Received 14 Juni 2023; Received in revised form 14 juni 2023; Accepted 21 Juni 2023

Available online 1 September 2023

Pendahuluan

Perkembangan teknologi pemotongan material yang berkelanjutan saat ini telah mengalami peningkatan yang sangat pesat. *Plasma cutting* merupakan salah satu metode pemotongan material yang mampu meningkatkan hasil produksi untuk perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur [4, 8]. Pemotongan menggunakan *plasma cutting* merupakan metode pemotongan yang lebih efektif jika dibandingkan dengan menggunakan *oxy-fuel cutting* dan *water jet cutting* dalam segi kecepatan potong dan biaya awal [21; 13].

Proses pemotongan dimulai dengan pembentukan busur yang tercipta karena adanya reaksi ionisasi gas pemotongan. Gas dipanaskan oleh busur sehingga suhunya dapat meningkat, gas pemotong akan mengalami ionisasi dan menjadi konduktor arus listrik. Kemudian gas yang mengalami ionisasi adalah plasma. Untuk memotong benda kerja plasma dialirkan melalui nozzle [3, 16]. *Plasma cutting* merupakan salah satu metode pemotongan yang ekonomis dan sering digunakan, *plasma cutting* mampu memotong berbagai logam berat dan tebal dengan hasil yang lebih akurat [22, 9]. Kualitas hasil pemotongan menggunakan *plasma cutting* lebih halus, lebih cepat dan efisien jika dibandingkan dengan menggunakan *Oxy-Acetylene Torch* [1, 18]. Dalam proses pemotongan material menggunakan plasma yang awalnya

dilakukan secara manual, kini telah dimodifikasi dengan menggunakan sistem kontrol numerik yang biasa disebut dengan mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) sehingga pergerakannya lebih stabil [24; 10].

Penggunaan mesin CNC telah diimplementasikan secara luas pada era industri modern saat ini untuk menggantikan peran manusia dalam suatu proses permesinan. Permesinan CNC banyak memberikan manfaat secara luas, salah satunya adalah kualitas dari hasil pengerjaan yang sangat presisi dan akurat [2]. Jenis mesin CNC sendiri semakin bervariasi, diantaranya adalah *CNC turning*, *CNC milling*, *CNC router*, *CNC laser* bahkan proses pengelasan juga sudah mulai menggunakan permesinan CNC yaitu *CNC welding* dan masih banyak jenis CNC lainnya. Selain beberapa jenis CNC tersebut, prinsip kerja CNC juga diimplementasikan pada mesin 3D printer dengan berbagai variasi jenisnya.

Salah satu jenis mesin CNC laser adalah mesin trulaser 5040. Mesin ini berfungsi dan dirancang untuk memenuhi standar tertinggi. Dari segi bentuknya, mengikuti desain produk perusahaan TRUMPF yang baru dikembangkan, yang menekankan teknologi progresif dalam segala hal. Mesin ini akan sangat membantu untuk memperoleh kualitas hasil pemotongan yang efektif dan efisien

terutama dalam hal kepresisian pemotongan material. Kepresisian merupakan hal yang berpengaruh karena akan mempengaruhi kualitas hasil pemotongan sesuai dengan desain atau tidak [6]. Namun, seperti halnya dengan semua proses manufaktur, kegagalan dapat terjadi dalam proses pemotongan menggunakan mesin ini [7, 17]. Kegagalan ini dapat berdampak negatif pada hasil produksi, termasuk ketidakakuratan pemotongan, cacat pada material, dan penurunan produktivitas. Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis kegagalan pada proses pemotongan material menggunakan mesin Trulaser 5040.

Analisis kegagalan pada proses pemotongan material menggunakan mesin Trulaser 5040 merupakan suatu langkah penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil produksi. Pemotongan material adalah salah satu tahap kritis dalam proses manufaktur yang mempengaruhi akurasi, kecepatan, dan keandalan produk akhir [11; 20]. Mesin trulaser 5040 adalah mesin pemotongan laser yang digunakan secara luas dalam industri untuk memotong berbagai jenis material, termasuk logam dan non-logam. Mesin ini menggunakan teknologi laser yang canggih untuk menghasilkan pemotongan yang presisi dan cepat.

Metode analisis kegagalan dalam penelitian ini memiliki beberapa langkah, antara lain: (1) pengumpulan data

mengenai kegagalan yang terjadi, termasuk informasi tentang jenis material yang dipotong, parameter pemotongan yang digunakan, dan hasil pemotongan yang tidak sesuai; (2) melakukan pengamatan langsung terhadap proses pemotongan, serta melakukan pengujian terhadap material dan mesin untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kegagalan; (3) menganalisis data yang dikumpulkan untuk mengidentifikasi pola atau hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan; (4) mengidentifikasi penyebab utama kegagalan berdasarkan analisis data dan pengamatan yang dilakukan; (5) merancang dan menerapkan solusi perbaikan yang tepat untuk mengatasi kegagalan, serta menerapkan langkah-langkah pencegahan agar kegagalan serupa tidak terjadi di masa depan.

Tujuan dari analisis kegagalan pada proses pemotongan material menggunakan mesin TruLaser 5040 adalah untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan, menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi, dan mengusulkan solusi perbaikan yang tepat. Dengan demikian, analisis kegagalan dapat membantu perusahaan dalam mengoptimalkan proses pemotongan, meningkatkan kualitas produk, dan mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan kegagalan. Dengan melakukan analisis kegagalan secara sistematis dan menyeluruh, perusahaan

dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pemotongan material menggunakan mesin TruLaser 5040. Hal ini akan berkontribusi pada peningkatan produktivitas, kepuasan pelanggan, dan keunggulan kompetitif perusahaan dalam industri manufaktur.

Metode Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif mengacu pada beberapa metode yang melibatkan interpretasi dan pendekatan alami untuk masalah tertentu. Konsep ini menjelaskan bidang investigasi menggunakan banyak metode seperti studi kasus dalam politik dan etika, penyelidikan dan pengamatan partisipatif, wawancara, metode visual, dan analisis interpretatif.

Penelitian ini menggunakan studi kasus sebagai pendekatan dan strateginya. Pendekatan studi kasus dipilih untuk mengenali kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040. Selain itu, pendekatan tersebut juga digunakan untuk membuat analisis kritis terhadap kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040.

Operator mesin trulaser 5040 merupakan informan utama dalam penelitian ini. Informan dalam penelitian ini memiliki masa kerja di atas 5 tahun dan telah mengikuti pelatihan dalam penggunaan

mesin trulaser 5040. Penelitian ini menggunakan sejumlah pertanyaan wawancara untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang fenomena yang dimaksud. Pertanyaan penelitian berfokus pada kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040.

Data yang diperlukan dikumpulkan oleh peneliti menggunakan penyelidikan mendalam untuk memahami kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040. Peneliti memulai penelitian dengan meninjau literatur dan dokumen. Selanjutnya, peneliti membuat daftar pertanyaan penelitian, mengidentifikasi sebagian besar kasus dari fenomena yang diamati, dan menyelidiki setiap kasus.

Tujuan dari pertanyaan penelitian digunakan sebagai pedoman pengumpulan dan analisis data untuk memilah temuan penelitian dan mewujudkan implikasi yang mendasarinya. penyajian datanya dengan langsung mengutip catatan pengamatan ditempat dari informan dan mengkonstruksi maknanya. Setelah itu, menarik perbandingan data yang dikumpulkan dari pengamatan dengan mereka yang dikumpulkan dari wawancara untuk mendapatkan makna yang paling dapat diandalkan. Untuk menghindari interpretasi subjektif dan salah ditafsirkan, peneliti menghindari mendistorsi data dan mencoba

mengadakan konsultasi dengan beberapa ahli dalam teknik mesin untuk memverifikasi interpretasi data yang dikumpulkan secara valid.

Hasil

Penelitian ini dilaksanakan di PT Jhonlin Baratama yang berlokasi di Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan. Proses penelitian yang dilakukan dapat di lihat pada Gambar 1. dan Gambar 2. berikut ini.



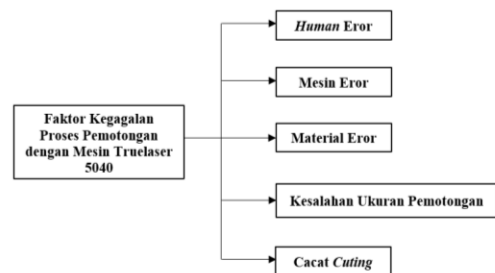
Gambar 1 Mesin Truelaser 5040



Gambar 2 Proses Pemotongan Material

Penelitian yang dilakukan menemukan bahwa kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040 terjadi karena beberapa faktor. Faktor kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan

mesin trulaser 5040 meliputi: (1) human eror; (2) mesin eror; (3) material eror; (4) kesalahan ukuran pemotongan; (5) cacat cutting. Beberapa faktor tersebut dapat dilihat pada gambar 3. Contoh kegagalan hasil pemotongan cacat cutting berupa defect pada gambar 4 dan dross terdapat pada gambar 5.



Gambar 3 Hasil Analisis Kegagalan Proses Pemotongan dengan Mesin Truelaser 5040



Gambar 4 Dross Hasil Pemotongan



Gambar 5 Defect Hasil Pemotongan

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, ditemukan beberapa faktor

kegagalan pada proses pemotongan benda kerja menggunakan mesin trulaser 5040 meliputi: (1) human eror; (2) mesin eror; (3) material eror; (4) kesalahan ukuran pemotongan; dan (5) cacat cutting. Besar kuat arus, besar tekanan gas, aliran gas plasma, kecepatan proses pemotongan, ketinggian torch adalah Parameter yang mempengaruhi kualitas hasil pemotongan [15]. Human eror merupakan faktor kegagalan pertama yang bisa terjadi karena kesalahan pada saat pemrograman dan peletakan pelat pada pallet changer mesin. Permasalahan yang biasa terjadi dan cara untuk mengatasinya adalah sebagai berikut: (1) Posisi program atau posisi plat salah, posisi X dan Y pada mesin dan computer yang tidak sesuai dan posisi measuring yang salah, cara mengatasi hal tersebut, dengan mengubah program atau mengubah posisi plat dan memperbaiki posisi measuring-nya; (2) Terjadi kesalahan pemotongan karena kesalahan program yang menyebabkan part tersebut terpotong sia-sia dan tidak sesuai dengan bentuk yang di inginkan, cara mengatasi hal tersebut yakni dengan melakukan marking garis pada part yang akan di cutting; (3) Kesalahan memasukkan ukuran plat yang mengakibatkan pemotongan menjadi over area, cara mengatasi hal tersebut dengan melakukan simulasi pemotongan pada software truetops laser terdahulu; dan (4) saat melakukan penentuan titik pemotongan secara manual

menggunakan pointer laser, plat tidak lurus atau salah posisi juga mengakibatkan plat tidak terpotong atau salah pada saat proses pemotongan, cara mengatasi hal tersebut dengan meningkatkan fokus dan ketelitian saat menentukan titik pemotongan secara manual.

Mesin eror merupakan faktor kegagalan kedua yang bisa terjadi karena kerusakan komponen maupun umur mesin. Faktor yang mempengaruhi keefektivan mesin plasma cutting adalah metode, lingkungan, SDM, dan material [12]. Permasalahan yang biasa terjadi dan cara untuk mengatasinya adalah sebagai berikut: (1) kegagalan pemotongan serta terjadi defect dan dross pada material, hal ini dikarenakan Protective Glass yang terkena percikan pada saat pemotongan yang mengakibatkan protective glass tersebut cacat dan timbul bintik hitam pada permukaan glass. Jika kecacatan protective glass tersebut tidak terlalu parah maka dilakukan pembersihan menggunakan cairan khusus, namun jika kerusakann yang terjadi sudah parah solusi terakhir yang dilakukan yaitu mengganti protective glass dengan yang baru demi keberlangsungan pengoperasian mesin dan kualitas material; (2) plat tidak terpotong sempurna dikarenakan tekanan gas pressure dan power yang di keluarkan kurang hal tersebut biasanya terjadi pada plat yang memiliki ketebalan di atas 10mm, untuk mengatasi

hal tersebut sebaiknya operator memperhatikan ketebalan plat yang akan di potong dengan menyesuaikan gas pressure dan power yang digunakan; dan (3) titik pemotongan tidak berpusat pada satu titik sehingga terjadi kegagalan pada proses pemotongan material dikarenakan nozzle dalam kondisi tidak baik atau lecet membuat cahaya yang di hasilkan tidak stabil. Jika hal tersebut terjadi maka ganti nozzle dengan yang baru demi kelancaran proses pemotongan material. Kuat arus memiliki peran yang secara langsung mempengaruhi kecepatan pemotongan, apabila arus yang digunakan semakin tinggi maka temperatur pada busur plasma ikut meningkat [23].

Material error merupakan faktor kegagalan ketiga yang bisa terjadi karena kondisi material, kandungan material serta proses pemotongan material oleh mesin. Permasalahan yang biasa terjadi dan cara untuk mengatasinya adalah sebagai berikut: (1) proses pemanasan dan pemuain yang terjadi akibat proses pemotongan material yang membuat material melengkung sehingga menyebabkan cutting unit berbenturan dengan material. Hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan fatal pada motion unit yang mengharuskan operator mengganti komponen tersebut dengan yang baru. Cara mengatasi hal tersebut, dengan cara menggeser motion unit kearah kiri atau kanan serta memperhatikan perubahan struktur material dengan visual; (2)

kegagalan pemotongan material dikarenakan kondisi material yang kotor atau berkarat yang menyebabkan sinar laser tidak dapat menembus plat dan semburan api yang di dikeluarkan terlalu berlebih, yang mengakibatkan protective glass terkena percikan api dan lecet. Protective glass yang kotor jika digunakan dapat mengakibatkan menurunnya kualitas pemotongan material bahkan dapat menyebabkan kegagalan pemotongan material. Untuk mengatasi hal tersebut, dengan memastikan kondisi material yang akan di proses dalam kondisi bersih dan tidak berkarat dengan melakukan pengecekan dan treatment pada material yang kotor dan berkarat; dan (3) kegagalan pemotongan dan pemotongan yang tidak merata pada material yang terjadi karena perbedaan unsure yang terkandung pada material tersebut. hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan pemeriksaan kandungan pada material apa yang akan di proses sehingga dapat menentukan tekanan gas pressure dan power yang akan digunakan untuk proses pemotongan material.

Kesalahan ukuran pemotongan merupakan faktor kegagalan keempat yang bisa terjadi karena ketidaksesuaian dimensi hasil pemotongan dengan desain yang di rencanakan pada software truetops laser karena adanya Kerf. Kerf merupakan celah yang di hasilkan dari proses pemotongan atau jumlah material yang terbuang [18]. Kerf memberikan pengaruh terhadap tingkat

ketelitian ukuran pada hasil pemotongan material. Semakin kecil ukuran kerf, maka hasil pemotongan juga semakin baik. Namun, tingkat keberhasilan kerf pemotongan diukur berdasarkan objek yang terpotong dan menghasilkan lebar potongan di area pola yang dilalui oleh jalur sinar radiasi laser cutting. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan lebar pemotongan (kerf width) adalah sebagai berikut: (1) jarak pemotongan, semakin dekat jarak tip terhadap benda kerja, maka lebar pemotongan atau kerf width akan semakin kecil; (2) diameter tip, semakin besar lubang pada torch maka lebar pemotongan akan semakin besar; (3) pengaturan arus, semakin besar arus yang digunakan akan menghasilkan daya yang semakin besar pula sehingga menyebabkan meningkatnya lebar pemotongan (kerf width); (4) gas, jenis gas atau campuran gas akan memberikan pengaruh terhadap lebar pemotongan (kerf width) karena perubahan gas mempengaruhi kecepatan pemotongan, daya konsentrasi pemotongan dan faktor lainnya; dan (5) kecepatan pemotongan, semakin cepat suatu pemotongan maka lebar pemotongan (kerf width) akan semakin kecil, namun sudut kemiringan pada sisi hasil potong dan dross akan meningkat apabila kecepatan yang digunakan berlebihan. Energi panas yang terfokus pada proses cutting menggunakan plasma dapat memperlebar kerf dan memperbesar nilai HAZ, hal tersebut dapat

mengakibatkan pengurangan terhadap ketelitian hasil potongan dan hasil dari potongan membuat kerugian karena dimensi pada gambar kerja/design menjadi tidak sesuai dengan hasilnya [2, 14].

Cacat cutting merupakan faktor kegagalan kelima yang bisa terjadi karena parameter pemotongan material oleh mesin yang tidak tepat. Parameter tersebut biasanya meliputi gas pressure, power, speed, dan lain sebagainya. Kekasaran permukaan dan konisitas terutama dipengaruhi oleh tinggi pemotongan, sedangkan zona yang terkena panas terutama dipengaruhi oleh arus pemotongan [5]. Permasalahan yang biasa terjadi dan cara untuk mengatasinya adalah sebagai berikut: (1) defect, cacat cutting ini sering terjadi pada hasil pemotongan material karena parameter pemotongan seperti gas pressure dan power terlalu tinggi, speed pemotongan terlalu cepat, nyala preheating terlalu rendah. Cara mengatasi hal tersebut dengan melakukan setting parameter pemotongan material sesuai dengan standar yang telah ditentukan serta melakukan monitoring ketika terjadi proses pemotongan material oleh mesin true laser 5040; dan (2) dross, cacat cutting ini adalah kondisi material hasil pemotongan oleh mesin yang memiliki kerak yang menempel di bagian belakang material. Hal ini biasa terjadi karena speed pemotongan terlalu cepat atau tekanan oksigen pemotongan

terlalu tinggi. Hal tersebut dapat di atasi dengan mengklasifikasikan material yang akan di proses mulai dari kandungan, kondisi, dan ukuran materian sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan parameter pemotongan yang akan di gunakan pada mesin truelaser 5040.

Kesimpulan

Faktor Kegagalan pada proses pemotongan material menggunakan mesin Truelaser 5040 yakni human eror, mesin eror, material eror, kesalahan ukuran pemotongan, dan cacat cutting. Kegagalan yang biasa terjadi pada proses pemotongan material biasanya berupa *dross* dan *defect* pada material. Hal yang dapat dilakukan untuk menghindari kegagalan pemotongan material memastikan kondisi mesin dan komponen utamanya seperti nozzle, *protecticve glass*, dan lain sebagainya dalam kondisi baik. Kondisi material juga harus disesuaikan dengan parameter pemotongan pada mesin yang meliputi jarak pemotongan, diameter tip, besar arus, tekanan gas, dan kecepatan pemotongan agar tidak terjadi *dross* dan *defect* pada hasil pemotongan material.

Ucapan terimakasih (jika diperlukan)

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Husnul dan Latif atas kedesaianya menjadi informasn dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Afandhi, muhammad R., & Basuki, M. 2022. Analisis Teknis Dan Ekonomis Perbedaan Kuat Arus Pada Proses Pemotongan Pelat Menggunakan Cnc Plasma Cutting. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 1(1), 214–220. <https://doi.org/10.31284/j.semitan.2022.3253>
- [2] Agnitas, R. S., & Rusiyanto, R. 2019. Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Lebar Pemotongan dan Kekerasan pada Baja Karbon Sedang dengan CNC Plasma Arc Cutting. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2), 99–104. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v4i2.27391>
- [3] Akhmad, A. 2009. Pemesinan Nonkonvensional Plasma Arc Cutting. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), 51–56.
- [4] Erbilen, M., & Çakır, O. 2019. Effects of Process Parameters in Plasma Arc Cutting on Stainless Steels and Structural Steel. *International Scientific Journal “Machines Technologies Materials,”* 25(1), 23–25.
- [5] Hamid, A., Novareza, O., & Widodo, T. D. 2018. Optimasi Proses Parameter Pemotongan Plasma Arc Cutting Pada Logam Aluminium Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding SNST Ke-9*, 13–18.
- [6] Hamood, S., & Najm, V. 2020. Optimization of Plasma Cutting Parameters on Dimensional Accuracy and Machining Time for Low Carbon Steel. *Engineering and Technology Journal*, 38(8), 1160–1168. <https://doi.org/10.30684/etj.v38i8a.1151>
- [7] Junaidi, J., Hestukoro, S., Yanie, A., Jumadi, J., & Eddy, E. 2017.

- Implementation Analysis of Cutting Tool Carbide with Cast Iron Material S45 C on Universal Lathe. *Journal of Physics: Conference Series*, 930(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/930/1/012044>
- [8] Kardan, M., Levichev, N., & Dufflou, J. R. 2022. Experimental and numerical investigation of thick plate laser cutting using dynamic beam shaping. *Procedia CIRP*, 111(March), 740–745. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.08.115>
- [9] Magid, H. M. 2021. Experimental study of mild steel cutting process by using the plasma arc method. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 108(2), 75–85. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5066>
- [10] Malik, I., Recxa, A. A., Teknik Mesin, J., Negeri Sriwijaya, P., Program Studi Teknik Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, M., Negeri Sriwijaya Jl Sriwijaya Negara, P., & Besar, B. 2021. Analisa Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Pada Baja Ss400 Menggunakan Mesin Cnc Plasma Cutting Dengan Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Ketinggian Torch. *JURNAL AUSTENIT*, 13(2), 2021. <http://doi.org/10.5281/zenodo.57>
- [11] Meijer, A. L., Ott, A., Stangier, D., Tillmann, W., & Biermann, D. 2022. Modification of Surface and Sub-Surface Conditions of Cemented Carbide by Pressurized Air Wet Abrasive Jet Machining for PVD Coatings. *Procedia CIRP*, 108(C), 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.073>
- [12] Mendrofa, A. J. 2020. Analisis Pengukuran Total Efektivitas Mesin Flame Cutting Dan Plasma Cutting Pada Perusahaan Industri Strategis. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 8(3), 172. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v8i3.7408>
- [13] Novareza, J. O. E. A. M. I. I. S. ; A., & Widodo, O. 2019. Optimization of Process Parameters and Quality Results Using Plasma Arc Cutting in Aluminum Alloy. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 7(1), 7–14. <http://jemis.ub.ac.id>
- [14] Nugroho, A., & Hutama, A. S. 2019. Metode Taguchi -PCR Topsis Untuk Optimasi Energi Dan Kecepatan Grafir Mesin Laser. *Politeknosains*, 18(1), 6–11.
- [15] Oliveira, A., & Gordo, J. M. 2018. Cutting processes in shipbuilding—a case study. *Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources*, 2(October 2017), 757–762.
- [16] Pujono, P., & Pamuji, A. 2020. Rancang Bangun Mesin Pemotong Pipa Dengan Pergerakan Torch Otomatis Untuk Optimasi Proses Plasma Cutting. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 1(1), 11–20. <https://doi.org/10.35970/accurate.v1i1.159>
- [17] Purwanti, E. P., & Karuniawan, B. W. 2017. Optimasi Parameter Proses Pemotongan Acrylic terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Laser Cutting Dengan Metode Response Surface. *Proceedings Conference on ...*, 316–323. <https://journal.ppps.ac.id/index.php/CDMA/article/download/362/309>
- [18] R, R., BW, K., & Juniani, A. I. 2016.

- Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method. *J@ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 11(2), 97. <https://doi.org/10.14710/jati.11.2.97-106>
- [19] Rahmawati, A. R., Anis, S., & Rusiyanto, R. 2019. Pengaruh Kecepatan Pemotongan dan Ketebalan Bahan Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Menggunakan CNC Plasma Arc Cutting. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2), 93–98. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v4i2.27390>
- [20] Rakasita, R., Karuniawan, B. W., & Juniani, A. I. 2016. Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method Rakasita. *Jurnal Teknik Industri*, XI(2).
- [21] Rizkiawan, D., & Sumbodo, W. 2020. Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pada Pemotongan Plat Baja St 37 Menggunakan Cnc Plasma Cutting Terhadap Struktur Mikro, Kerf Dan Kekerasan. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 12(2),6–12. <https://doi.org/10.15294/jkomtek.v12i2.21152>
- [22] Sawannia, M., Borkmann, M., Herwig, P., Wetzig, A., Weber, R., & Graf, T. 2022. Influence of laser beam oscillation on the cutting front geometry investigated by high-speed 3D-measurements. *Procedia CIRP*, 111(March),736–739. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.08.100>
- [23] Susetyo, F. B., Ilhamullah, Frima, C. A. M., Kusuma, A., & Lubi, A. 2022. Rancang Bangun Perangkat Pendukung Untuk Proses Pemotongan Dengan Plasma Cutting. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 7(2), 105–115. <https://doi.org/10.21009/jkem.7.2.5>
- [24] Wijaya, D. K., Marcelina, T., Tjahyono, R., & Suprijono, H. (2021). Optimasi Proses Cutting Material Akrilik pada CNC Laser G-Weike LC6090 dengan Metode Simplex Centroid Design dan Optimasi Plot Multirespon. *Jurnal Ilmiah Giga*, 24(1), 23. <https://doi.org/10.47313/jig.v24i1.1120>