

Pengaruh Perbedaan Kuat Arus dan Ketinggian Torch Terhadap Lebar Kerf dan HAZ (*Heat Affected Zone*) Pada Proses Pemotongan Plat Menggunakan PNC (*Plasma Numerical Control*) Plasma Cutting

Ari Winata Purba , Nur Fitria Pujo Leksonowati, S.ST., M.Sc., Ir. Rahman Hakim, S.T., M.Sc., IPM., ASEAN Eng.

Politeknik Negeri Batam
Program Studi Teknik Mesin
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam29461, Indonesia
E-mail: arrijr27@gmail.com

Abstrak

PNC (*Plasma Numerical Control*) Plasma Cutting merupakan salah satu contoh pengembangan teknologi dalam industri yang telah mendorong upaya untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam proses pemotongan. Plasma Cutting adalah proses pemotongan termal dimana busur yang terkonstriksi digunakan. Tujuan penelitian kali ini untuk membandingkan hasil pemotongan menggunakan PNC (*Plasma Numerical Control*) Plasma Cutting dengan melakukan pengamatan terhadap lebar kerf dan struktur makro HAZ (*Heat Affected Zone*) hasil pemotongan, dimana pengukuran lebar kerf dilakukan dengan Taper gauge dan pengamatan struktur makro dilakukan secara visual. Material uji yang digunakan yaitu S235. Pengujian akan dilakukan dengan 2 cara pemotongan yang berbeda. Pemotongan pertama yaitu memotong material tidak sampai putus dimana bertujuan untuk mengukur kerf pada material. Pemotongan kedua yaitu melanjutkan alur pemotongan pertama hingga material terputus agar dapat dilakukannya proses etching untuk mendapatkan HAZ (*Heat Affected Zone*). Hasil dimensi pemotongan akan ditentukan sesuai dengan standar ISO 9013:2017 klausa 8.1 tabel 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebar pemotongan paling kecil terjadi saat menggunakan arus 130A dan ketinggian torch 6mm, dengan rata-rata lebar sebesar 1,85mm. Sementara itu, lebar pemotongan paling besar terjadi saat menggunakan arus 200A dan ketinggian torch 1mm, dengan rata-rata lebar sebesar 3,10mm. Dari hasil pemotongan spesimen terlihat bahwa dimensi spesimen telah sesuai dengan standar deviasi pemotongan yaitu $\pm 1,8$ mm. Berdasarkan hasil pengujian makro, tidak ada perbedaan yang signifikan diantara spesimen tersebut pada hasil HAZ (*Heat Affected Zone*) pemotongan.

Kata kunci: Pemotogan Plasma, kuat arus, ketinggian Torch, lebar kerf, HAZ (*Heat Affected Zone*)

Abstract

"PNC (*Plasma Numerical Control*) Plasma Cutting is an example of technological advancement in the industry that has driven efforts to enhance effectiveness and efficiency in cutting processes. Plasma Cutting is a thermal cutting process where a constricted arc is used. The objective of this research is to compare the cutting results using PNC Plasma Cutting by observing the kerf width and the macrostructure of the Heat Affected Zone (HAZ) in the cut results. Kerf width measurements are conducted using a Taper gauge, while macrostructure observations are made visually. The test material used is S235. Testing will be performed in two different cutting methods. The first cutting method involves partial cutting of the material to measure the kerf width. The second cutting method continues from the first cut until complete separation of the material to allow etching for HAZ examination. The dimensions of the cuts will be determined according to ISO 9013:2017 clause 8.1 table 7. The research results indicate that the smallest cut width occurs using a current of 130A and torch height of 6mm, with an average width of 1.85mm. Meanwhile, the largest cut width occurs using a current of 200A and torch height of 1mm, with an average width of 3.10mm. Based on specimen cutting dimensions, it is observed that they conform to the cutting deviation standard of ± 1.8 mm. According to macroscopic examination results, there is no significant difference between the specimens in terms of the Heat Affected Zone (HAZ) from the cutting process."

Keywords: Cutting Plasma, current variations, Torch height, wide kerf, HAZ (*Heat Affected Zone*)

1 Pendahuluan

Pengembangan teknologi dalam industri telah mendorong upaya untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi alat yang digunakan. Salah satu alat yang semakin canggih dan berpotensi memberikan hasil maksimal adalah *Plasma Cutting*. Metode ini menggunakan plasma untuk memotong plat baja dengan cepat dan efisien, menghasilkan keuntungan dalam hal kecepatan dan biaya awal jika dibandingkan dengan metode pemotongan lain seperti *oxy-fuel Cutting* dan *water jet Cutting* [1].

Plasma Cutting adalah proses pemotongan termal dimana busur yang terkonstriksi digunakan. Saat proses pemotongan gas poliatomik tidak seluruhnya terurai dalam busur, sebagian gas poliatomik akan mengionisasi sama seperti gas monoatomik [2]. *Plasma Cutting* nantinya akan menghasilkan aliran plasma yang memiliki suhu dan energi kinetik yang tinggi. Ini melelehkan atau sebagian menguapkan material dan membawanya pergi. Dengan demikian, *kerf* terbentuk.

Kerf adalah istilah yang merujuk pada celah atau jarak yang terbentuk saat melakukan pemotongan pada bahan material. Ukuran *kerf* bervariasi tergantung pada beberapa faktor parameter, seperti kuat arus, tekanan udara, tinggi *Torch*, dan kecepatan potong [3]. Faktor-faktor ini harus dipertimbangkan dengan cermat untuk mencapai *kerf* yang presisi karena, apabila lebar pemotongan terlalu besar maka material yang terbuang akan meningkat.

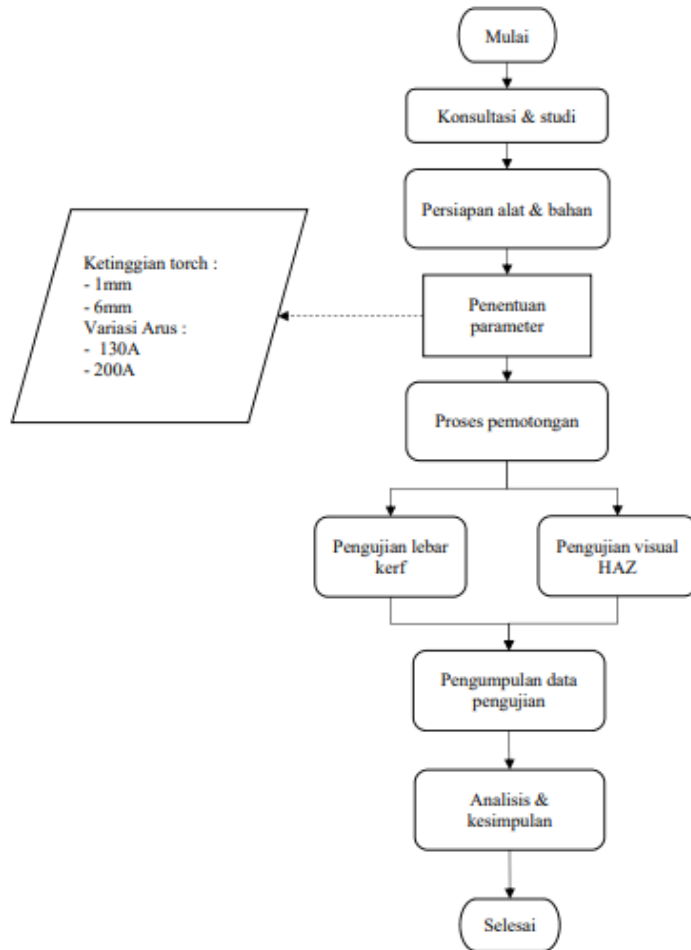
Teknologi pemotongan plasma telah mengalami perkembangan signifikan, terutama dengan adopsi sistem PNC yang meningkatkan stabilitas dan konsistensi pergerakan. PNC bekerja dengan mengonversi koordinat objek 2D atau 3D menjadi perintah *NC Code*, yang mengendalikan gerakan pisau plasma sesuai dengan koordinat tersebut. Penggunaan *Plasma Cutting* telah menjadi bagian integral dari dunia industri, memberikan kontribusi penting terutama dalam mencapai akurasi pemotongan yang diperlukan. Hal ini sangat penting karena presisi yang tinggi diperlukan untuk menghindari *kerf* yang terlalu lebar dan memastikan hasil pemotongan sesuai dengan desain yang diinginkan. Adopsi sistem kontrol numerik seperti PNC dalam proses pemotongan plat menggunakan plasma telah menyebabkan efisiensi dan efektivitas, terutama dalam mencapai kepresisian yang dibutuhkan untuk menghasilkan pemotongan plat yang berkualitas.

Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi bagaimana variasi kuat arus dan ketinggian torch mempengaruhi lebar *kerf* dan HAZ. Pengukuran akan mencakup deviasi dimensi yang terjadi pada spesimen, dimana pengukuran lebar *kerf* dilakukan dengan *Taper gauge*, pengukuran dimensi spesimen menggunakan penggaris dan pengamatan struktur makro dilakukan secara visual. Material uji yang digunakan yaitu S235.

Batasan masalah penelitian kali ini adalah penelitian dilakukan pada parameter kuat arus 130 A, 200 A dan tinggi *Torch* 1 mm, 6 mm. Pengujian yang dilakukan terbatas pada HAZ dan *kerf* dengan titik pengamatan yang telah ditentukan serta menggunakan alat ukur dengan ketelitian 1mm.

2 Metodologi Penelitian

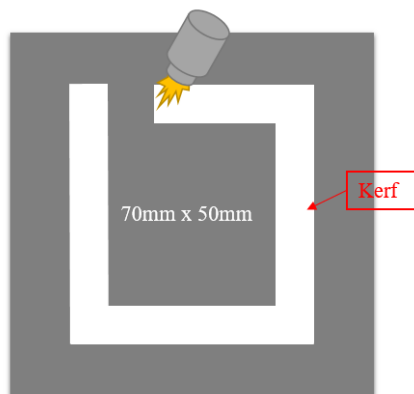
Metodologi penelitian adalah tahapan proses penelitian yang dilakukan untuk memastikan penelitian berjalan sesuai dengan persyaratan dan prosedur yang digunakan. Diagram alir penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



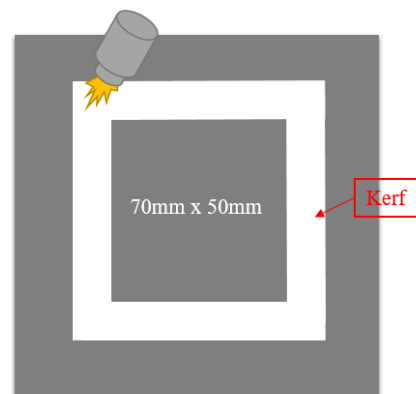
Gambar 1: Diagram alir penelitian

2.1 Detail Pengujian

Berdasarkan gambar 1. Penelitian diawali dengan persiapan alat & bahan yang akan digunakan. Selanjutnya proses penentuan parameter yang akan digunakan. Pada saat proses pemotongan, akan dilakukan 2 jenis pemotongan. Pemotongan pertama yaitu memotong material tidak sampai putus dimana bertujuan untuk mengukur *kerf* pada material (perhatikan gambar 2). Pemotongan kedua yaitu melanjutkan alur pemotongan pertama hingga material terputus agar dapat dilakukannya pengukuran dimensi spesimen dan juga melakukan proses etching untuk mendapatkan HAZ (perhatikan gambar 3). Pengujian akan dilakukan sebanyak 2 kali agar nilai yang dihasilkan lebih akurat.



Gambar 2: Pemotongan pertama



Gambar 3: Pemotongan kedua

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Material

Pemilihan material pada penelitian kali ini dipilih sesuai dengan ketersediaan material yang ada di workshop 7 (NOV Profab). Dalam penelitian kali ini material yang digunakan adalah S235. Material ini merupakan jenis baja karbon rendah dengan komposisi kimia maksimal 0.22% karbon (C), 0.60% mangan (Mn), 0.30% nikel(Ni), 0.30% kromium (Cr) dan 0.05% silikon (Si) [4]. Spesimen dibuat dari plat baja S235 akan dibentuk menjadi persegi panjang, dengan dimensi panjang 70mm dan lebar 50mm dengan ketebalan 12mm.

2.2.2 Mesin Pemotongan



Gambar 4: Messer Cutting Multitherm 5000

Pada pengujian kali ini mesin yang akan digunakan adalah *Messer Cutting Type Multitherm 5000*. Mesin ini dapat memotong plat *carbon steel*, *stainless steel*, dan *duplex*. Mesin ini dapat melakukan pemotongan secara efektif pada ukuran panjang 20000mm, lebar 3500mm, dan ketebalan plat 140mm.

2.2.3 Alat Ukur

Pada pengujian ini, alat ukur yang digunakan adalah *taper gauge* untuk mengukur lebar pemotongan. Selain itu, penggaris juga digunakan untuk mengukur dimensi spesimen dan lebar dari HAZ.

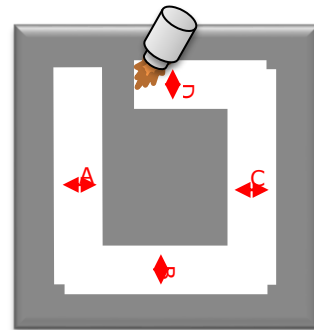
2.3 Parameter Pemotongan

Parameter yang digunakan dalam proses pemotongan spesimen kali ini akan dibagi menjadi 4 kelompok yang akan dibuat dalam bentuk tabel.

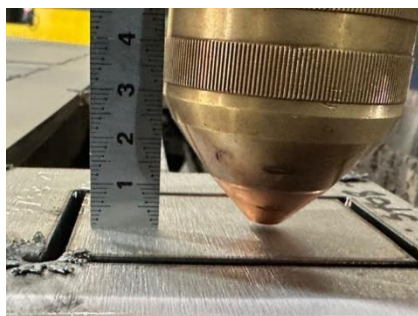
Tabel 1

Parameter Pemotongan

Spesimen	Tinggi Torch (mm)	Kuat Arus (A)
1	1	130
2	1	200
3	6	130
4	6	200



Gambar 5: Dimensi Pemotongan



Gambar 6: Ketinggian pemotongan 1mm



Gambar 7: Ketinggian pemotongan 6mm

2.4 Acceptance Criteria

Hasil dimensi pemotongan akan ditentukan sesuai dengan standar ISO 9013:2017 klausa 8.1 tabel 7.

Table 7 — Limit deviations for nominal dimensions tolerance class 2

Dimensions in millimetres

Work piece thickness <i>a</i>	Nominal dimensions									
	>0 to <3	≥3 to <10	≥10 to <35	≥35 to <125	≥125 to <315	≥315 to <1 000	≥1 000 to <2 000	≥2 000 to <4 000	≥4 000 to <6 000	≥6 000 to <8 000
Limit deviations										
>0 to ≤1	±0,5	±0,6	±0,6	±0,7	±0,7	±0,8	±0,9	±0,9	—	—
>1 to ≤3,15	±0,6	±0,6	±0,7	±0,7	±0,8	±0,9	±1	±1,1	±1,4	±1,4
>3,15 to ≤6,3	±0,7	±0,8	±0,9	±0,9	±1,1	±1,2	±1,3	±1,3	±1,6	±1,6
>6,3 to ≤10	—	±1	±1,1	±1,3	±1,4	±1,5	±1,6	±1,7	±1,9	±2
>10 to ≤15	—	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
>15 to ≤20	—	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
>20 to ≤25	—	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
>25 to ≤32	—	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
>32 to ≤50	—	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
>50 to ≤100	—	—	±2,5	±2,5	±2,6	±3	±3,7	±4,9	±5,3	±5,6
>100 to ≤150	—	—	±3,2	±3,3	±3,4	±3,7	±4,4	±5,7	±6,1	±6,4
>150 to ≤200	—	—	±4	±4	±4,1	±4,5	±5,2	±6,4	±6,8	±7,1
>200 to ≤250	—	—	—	—	—	±5,2	±5,9	±7,2	±7,6	±7,9
>250 to ≤300	—	—	—	—	—	±6	±6,7	±7,9	±8,3	±8,6

Gambar 8: Tabel toleransi deviasi dimensi

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Lebar Kerf

Hasil dari pengujian ini telah disesuaikan dengan standar yang dipertimbangkan (ISO 9013:2017), yang mengatur tingkat presisi pemotongan sejalan dengan gambar kerja dan toleransi ukuran $\pm 1,8$ mm. Proses pemotongan material dilakukan melalui mesin PNC *plasma cutting*, dimana oksigen digunakan sebagai gas pemotong dan udara sebagai pelindung plasma. Parameter pemotongan material telah diatur sesuai yang tercantum dalam tabel 1.

Tabel 2
Dimensi Pengukuran

Pengujian Pertama										
Spesimen	Kerf				Lebar Spesimen	Panjang Spesimen	Lebar Total	Panjang Total	Deviasi Lebar	Deviasi Panjang
	A	B	C	D						
1	1,7	1,8	2,3	1,7	50,0	70,0	54,0	73,5	0,0	0,0
2	3,4	3,1	3,0	3,0	50,0	70,0	56,4	76,1	0,0	0,0
3	2,3	1,6	1,7	1,7	49,0	69,0	53,0	72,3	1,0	1,0
4	3,3	2,9	3,1	3,0	49,0	69,0	55,4	74,9	1,0	1,0
Pengujian Kedua										
Spesimen	Kerf				Lebar Spesimen	Panjang Spesimen	Lebar Total	Panjang Total	Deviasi Lebar	Deviasi Panjang
	A	B	C	D						
1	1,8	1,8	2,2	1,7	50,0	70,0	54,0	73,5	0,0	0,0
2	3,1	3,2	3,0	3,0	50,0	70,0	56,1	76,2	0,0	0,0
3	2,3	1,7	1,7	1,8	49,0	69,0	53,0	72,5	1,0	1,0
4	3,2	3,0	3,0	3,1	49,0	69,0	55,2	75,1	1,0	1,0

Dari tabel di atas, terlihat bahwa dimensi material setelah dipotong telah sesuai dengan standar batas deviasi dimensi cutting/pemotongan yaitu $\pm 1,8$ mm. Rata-rata lebar kerf untuk spesimen 1 (130A & 1mm) adalah 1,9mm, untuk spesimen 2 (200A & 1mm) adalah 3,1mm, untuk spesimen 3 (130A & 6mm) adalah 1,9mm, dan untuk spesimen 4 (200A & 6mm) adalah 3,0mm.

3.2 Analisis Hasil Pemotongan

Pada pengujian ini terdapat 4 spesimen yang menggunakan parameter berbeda-beda, spesimen 1 menggunakan kuat arus 130A dengan ketinggian torch 1mm, spesimen 2 menggunakan kuat arus 200A dengan ketinggian torch 4 mm, spesimen 3 menggunakan kuat arus 130A dengan ketinggian torch 6mm, dan terakhir spesimen 4 menggunakan kuat arus 200A dengan ketinggian torch 6mm. Untuk parameter voltage terdapat pada *range* nilai 105V~125V dan untuk kecepatan potong terdapat pada *range* nilai 130~140mm/min.



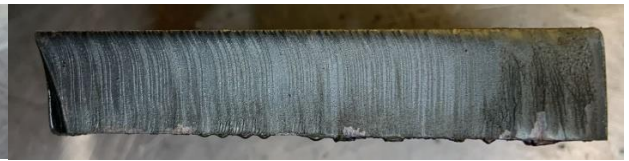
Gambar 9: Spesimen 1



Gambar 10: Spesimen 3



Gambar 11: Spesimen 2



Gambar 12: Spesimen 4

Berdasarkan gambar diatas spesimen 3 merupakan hasil yang paling halus dibanding spesimen lainnya, dikarenakan jarak pemotongan 6mm merupakan jarak yang ideal untuk melakukan pemotongan dan kuat arus 130A membuat spesimen tidak mengalami keretakan pada sisi samping spesimen. Untuk hasil pemotongan yang paling kasar terdapat pada spesimen 2 dikarenakan jarak pemotongan 1mm merupakan jarak yang tidak efektif untuk melakukan pemotongan dan kuat arus 200A membuat spesimen mengalami keretakan pada sisi pemotongan spesimen.

3.3 Analisis HAZ (*Heat Affected Zone*)

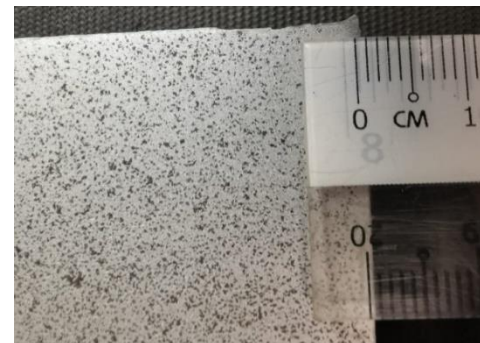
Pada langkah pengujian ini, diperlukan proses etsa untuk mengungkapkan HAZ tersebut. Proses etsa ini menggunakan larutan nital 2% karena material yang diperiksa termasuk dalam kategori baja karbon rendah. Nital merupakan campuran dari asam nitrat (HNO_3) dan alkohol. Sebanyak 2ml asam nitrat diambil dari stok, kemudian dicampur dengan alkohol sebanyak 98ml, dan kedua bahan ini kemudian digabungkan dalam satu wadah. [5]

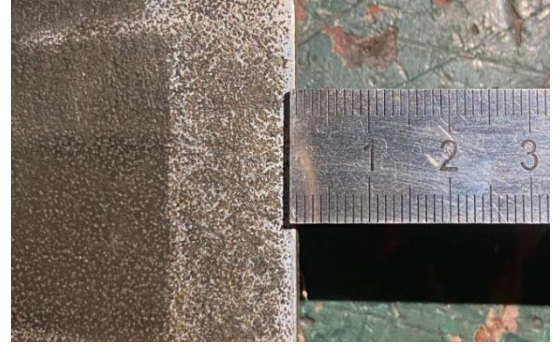


Gambar 13: Hasil makro HAZ spesimen 1 memiliki lebar 1mm

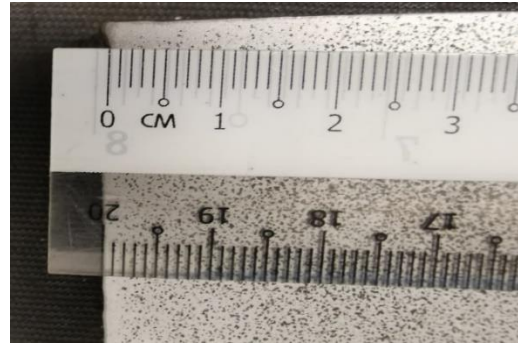
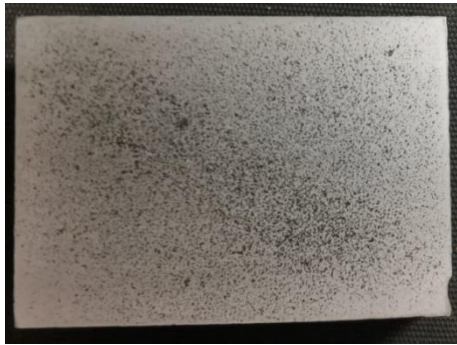


Gambar 14: Hasil makro HAZ spesimen 2 memiliki lebar 1mm





Gambar 15: Hasil makro HAZ spesimen 3 memiliki lebar 1mm



Gambar 16: Hasil makro HAZ spesimen 4 memiliki lebar 1mm

Berdasarkan hasil pengujian diatas, tidak ada perbedaan yang signifikan pada HAZ pemotongan dengan keempat spesimen tersebut. Dikarenakan kecepatan potong mesin tersebut pada *range* nilai 130~140mm/min yang dimana nilai tersebut telah diatur berdasarkan tebal material yang akan dipotong dan itu sudah diprogram langsung oleh pihak *programmer* yang mengurus bagian mesin potong tersebut.

4.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kesimpulan dapat diambil dari beberapa temuan utama. Pertama, dimensi material setelah pemotongan menunjukkan konsistensi yang sesuai dengan standar deviasi yaitu $\pm 1,8$ mm. Variasi lebar kerf terlihat pada berbagai pengaturan, rata-rata lebar kerf untuk spesimen 1 (130A & 1mm) adalah 1,9mm, untuk spesimen 2 (200A & 1mm) adalah 3,1mm, untuk spesimen 3 (130A & 6mm) adalah 1,9mm, dan untuk spesimen 4 (200A & 6mm) adalah 3,0mm.

Kedua, optimalisasi arus 130A dan jarak torch 6mm menghasilkan pemotongan yang paling halus, menunjukkan bahwa kombinasi ini merupakan pilihan ideal yang tidak menyebabkan keretakan pada sisi material bekas potongan. Terakhir, perbedaan yang tidak begitu signifikan terlihat pada Heat Affected Zone (HAZ), yang dipengaruhi oleh kecepatan perjalanan yang diatur otomatis oleh sistem mesin potong berdasarkan tebal material yang diolah.

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter-parameter tertentu dapat mempengaruhi hasil pemotongan secara signifikan, dan penyesuaian yang tepat dapat menghasilkan kualitas pemotongan yang diinginkan tanpa mengorbankan integritas material.

5 Daftar Pustaka

- [1] S. S. d. K. H. I. Pawar, "Experimental Analysis of Plasma Arc Cutting Process for SS 3161 Plates," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, pp. 75-80, 2017.
- [2] ISO 9013, Thermal cutting - Classification of thermal cuts - Geometrical product specification and quality tolerances, Switzerland: International Organization of Standardization, 2017.
- [3] O. N. T. D. W. Abdul Hamid, "OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS AND QUALITY RESULTS USING PLASMA ARC CUTTING IN ALUMINUM ALLOY," *Journal of Engineering and Management in Industrial System Vol.7 No. 1*, pp. 1-2, 2019.
- [4] METINVEST, "Metinvest Steel Grades S235," 2006. [Online]. Available: <https://metinvestholding.com/en/products/steel-grades/s235>.
- [5] I. Novarullah, "Pengaruh Tegangan dan PH Lingkungan Terhadap Korosi Pada Baja Sponge Rotary Kiln," *Universitas Indonesia Library*, 2008.