

OPTIMASI PARAMETER PEMOTONGAN MESIN CNC PLASMA *CUTTING* DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh

Sendra Pebri Yansyah, A.Md dan Haris Setiawan, SST., MT.

Politeknik Manufaktur Bandung
Jln. Kanayakan 21 Dago-Bandung 40145

ABSTRAK

Plasma cutting adalah proses yang digunakan dalam memotong logam dimana memanfaatkan energi plasma yang keluar dari torch plasma yang ditekan keluar dengan kecepatan tinggi. Pemotongan plasma merupakan proses dimana memotong logam baja dan logam lain menggunakan torch plasma. Waktu adalah hal yang diperhitungkan dalam dunia kerja, salah satunya di dunia industri fabrikasi logam. "Kebutuhan jam orang (JO) untuk paket kerja nyata masuk dalam anggaran. Jika suatu paket kerja tidak lengkap ketika anggaran telah habis, maka akan ada kecenderungan meminjam jam orang dari pekerjaan lain yang melebihi anggaran. Dalam dunia manajemen industri perlu adanya pemanfaatan waktu, waktu disini adalah waktu dalam proses pengerjaan logam mentah menjadi barang jadi. Jika dalam proses ke proses kita dapat meminimalisir dan memaksimalkan waktu dalam pengerjaan, maka produk yang dihasilkan akan sesuai target dan biaya produksi menjadi lebih ekonomis. Peningkatan kualitas merupakan satu aspek yang dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. Untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi, perlu diketahui faktor terkontrol yang mempengaruhi dan bagaimana faktor tersebut harus diatur. Untuk memecahkan masalah ini dilakukan eksperimen menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini menjelaskan metode optimasi proses pemotongan plasma *cutting* dengan menggunakan metode desain parameter Taguchi dan Analisis ANOVA, untuk mengetahui parameter level faktor mana yang menghasilkan *dross* yang minim. Metode Taguchi berfungsi untuk mengidentifikasi parameter proses yang optimum dan ANOVA untuk mengetahui faktor mana yang paling berpengaruh dalam bentuk persentase. Parameter yang harus diperhatikan dalam pemotongan plasma antara lain polaritas listrik, besar arus, kecepatan laju gas, kecepatan pemotongan dan lain sebagainya. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan data real, dengan cara melakukan percobaan. Percobaan yang dilakukan 9 kali pada setiap faktor dan level yang ditentukan, dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Hasil penelitian didapatkan dari dua (2) faktor yang diuji (*feeding* dan *cut height*), kedua faktor tersebut memiliki pengaruh terhadap kualitas pemotongan untuk mendapatkan *dross* yang minimal. Penelitian ini diuji pada material pelat ST 37 dengan ketebalan 3 mm, 5mm, 8mm, 10mm. Pada setiap ketebalan faktor yang paling berpengaruh sesuai analisis ANOVA yaitu faktor *feeding*. Pada ketebalan 3mm sebesar 84.40%, 5mm sebesar 83.98%, 8mm sebesar 82.30%, 10mm sebesar 82.17%.

1. PENDAHULUAN

Dalam proses pemesinan dikenal 2 jenis proses pemesinan, yaitu pemesinan konvensional dan pemesinan nonkonvensional. Salah satu jenis pemesinan nonkonvensional ini adalah Plasma Arc Cutting. Plasma Arc Cutting sangat banyak digunakan dalam berbagai industri yang menggunakan bahan baku logam. Jenis torch pada Plasma Arc Cutting ini ada banyak. Setiap jenis torch mempunyai karakteristik tertentu dan fungsi tertentu. Prinsip Kerja Plasma Arc Cutting Proses Plasma Arc Cutting diawali dengan terbentuknya busur wolfram (arc) di antara elektroda dan benda kerja dari hasil reaksi ionisasi listrik terhadap gas potong yang sangat konduktif. Gas

dipanaskan oleh busur wolfram hingga suhunya meningkat sangat tinggi lalu gas akan terionisasi dan menjadi penghantar listrik. Gas dalam kondisi ini disebut plasma. Plasma ini dialirkan melalui nosel untuk melakukan pemotongan benda kerja. Akibat konsentrasi energi dari plasma maka bagian benda kerja tersebut akan mencair dengan cepat. Ketika aliran gas dikeluarkan dari nosel, gas berkembang cepat membawa serta logam cair, sehingga proses pemotongan berjalan terus. Suhu plasma ini bisa mencapai kira-kira 10 kali suhu yang dihasilkan oleh reaksi oksigen dan asetelin. Seiring berkembangnya jaman dengan adanya teknologi NC maka dibuatlah mesin CNC plasma *cutting*, mesin plasma *cutting* tersebut di kembangkan dengan

ditambahkan suatu system penggerak sehingga nosel plasma digerakan tidak lagi secara manual oleh operator melainkan digerakan oleh system NC (Numerical Control). Setelah proses pengembangan maka mesin plasma cutting tersebut harus menjalani tahap uji coba untuk mengetahui parameter yang tepat agar mesin tersebut dapat menghasilkan produk yang maksimal dan waktu yang relative singkat, dibutuhkan desain eksperien sehingga data yang dihasilkan valid.

Kualitas hasil pemotongan mesin CNC *Plasma Cutting* ditentukan oleh beberapa faktor, yakni kuat arus (*amphere*), tegangan (*voltage*) yang digunakan, air pendingin (*coolent*), kecepatan pemotongan dan jarak antara *torch plasma* dengan benda kerja. Faktor – faktor tersebut berpengaruh terhadap hasil pemotongan, dalam hal ini penulis membahas salah satu hasil pemotongan plasma *cutting* yaitu terbentuknya *dross*. Untuk menemukan parameter yang sesuai dari faktor – faktor yang telah di paparkan tersebut agar menghasilkan hasil pemotongan yang menghasilkan *dross* yang minimum maka penulis melakukan penelitian menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui kombinasi parameter yang optimum, dan berikutnya dianalisis menggunakan ANOVA untuk menemukan pengaruh dari setiap parameter, yang dinyatakan dalam persentase.

Tujuan

Adapun tujuan penulisan karya tulis ini adalah :

1. Mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap hasil pemotongan
2. Mengetahui hubungan antara parameter yang paling berpengaruh terhadap ketebalan plat
3. Mengetahui parameter pemotongan yang optimum dari setiap ketebalan plat

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pemilihan karakteristik kualitas

Karakteristik kualitas penelitian ini menggunakan karakteristik *Smaller is the best*, karena tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalisir *dross* yang dihasilkan.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen menggunakan metode taguchi dengan jumlah 2 faktor atau 2 variabel dengan 3 tingkat level pada masing – masing factor. 2 faktor tersebut adalah Feeding (mm/min) dan Cut Height (mm), dari kedua factor tersebut, peneliti ingin mengoptimalkan hasil pemotongan. Berikut urutan penelitian dari setiap ketebalan pelat.

Ketebalan pelat 3 dan 5 (mm)

Percobaan ke-	Feeding (mm/min)	Cut Height (mm)
1	1000	1
2	1000	2
3	1000	3
4	1500	1
5	1500	2
6	1500	3
7	2000	1
8	2000	2
9	2000	3

Ketebalan pelat 8 dan 10 (mm)

Percobaan ke-	Feeding	Cut Height
1	750	1
2	750	2
3	750	3
4	1000	1
5	1000	2
6	1000	3
7	1250	1
8	1250	2
9	1250	3

Obyek Penelitian

Obyek yang diteliti adalah kualitas hail pemotongan pelat baja ST 37 dengan mengoptimasi luas *dross* yang terbentuk.

Pemilihan Orthogonal array

Setelah mengetahui matriks ortogonal standar yang ada, langkah selanjutnya adalah menghitung derajat kebebasan atau degrees of freedom (DOF). Derajat kebebasan pada orthogonal array standar dengan derajat kebebasan pada orthogonal array yang dimodifikasi harus bernilai sama atau lebih besar. Derajat kebebasan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut yang bersumber dari buku referensi yang digunakan.

Derajat kebebasan = jumlah faktor \times (jumlah level - 1)

$$\text{Derajat kebebasan} = 2 \times (3-1) = 4$$

Dari Tabel tentang matriks ortogonal standar dengan 3 level, maka berikut ini pada halaman

selanjutnya adalah derajat kebebasan untuk masing-masing matriks ortogonal dengan menggunakan rumus yang sama dengan perhitungannya.

- $L_9(3^4)$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan} &= 4 \times (3 - 1) \\ &= 8 \end{aligned}$$

- $L_{27}(3^{13})$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan} &= 13 \times (3 - 1) \\ &= 26 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa derajat kebebasan percobaan penulis lebih kecil dibandingkan derajat kebebasan matriks ortogonal yang tersedia. Berdasar pada hitungan diatas dan pertimbangan pemilihan jumlah faktor serta keterbatasan penulis dalam menjalankan eksperimen, maka penulis memilih sesuai dengan pilihan orthogonal array yang terdapat pada metode Taguchi dengan 2 faktor dan 3 level. Jadi, dengan metode Taguchi tersebut jumlah percobaan yang penulis lakukan adalah minimal 9 kali percobaan dengan tabel matriks ortogonal penelitian $L_9(3^4)$.

3. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN DATA HASIL PENELITIAN

Menghitung S/N Ratio

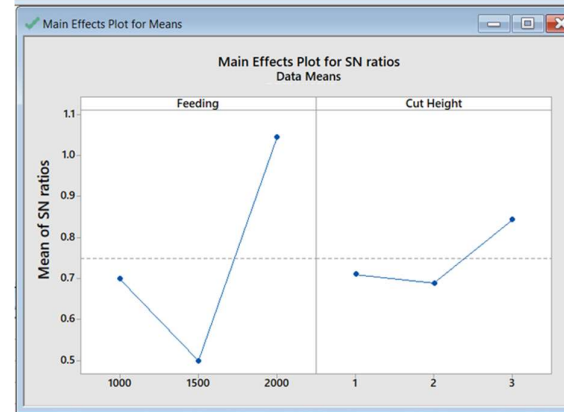
Setelah selesai menghitung jumlah S/N rasio dari hasil penelitian tersebut menggunakan metode taguchi. Tujuan dari penelitian ini adalah memaksimalkan hasil pemotongan logam dengan mencari data seminimal mungkin, maka yang nilai "Lower is Better". Rumus S/N rasio untuk pemilihan tersebut adalah sebagai berikut;

$$S/N \text{ ratio} = -10 * \log \text{MSD}$$

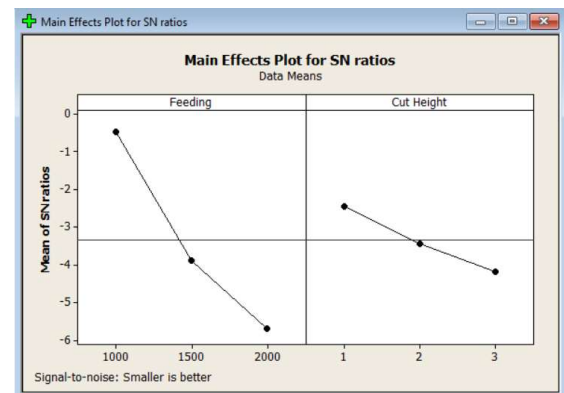
Dari pencapaian rumus tersebut, karakteristik dimana apabila semakin kecil (mendekati nol (nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik.

Kemudian penghitungan SN ratio dan Means terhadap factor respons masing masing digambarkan pada grafik main effect dibawah ini ;

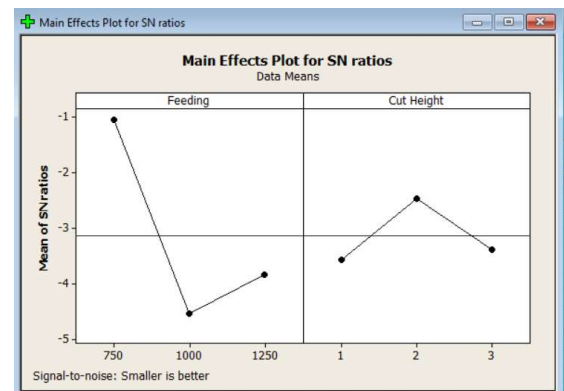
Grafik Pelat Ketebalan 3 mm



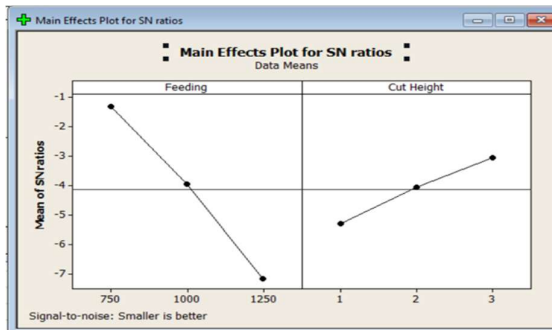
Grafik Pelat Ketebalan 5 mm



Grafik Pelat Ketebalan 8 mm

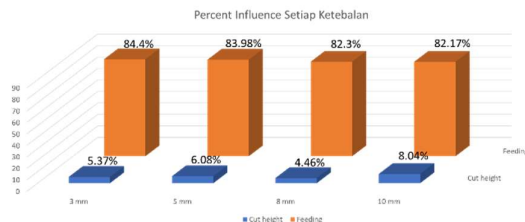


Grafik Pelat Ketebalan 10 mm



Perhitungan ANOVA

Setelah melakukan perhitungan SNR dan Means, maka dilakukan lanjut perhitungan ANOVA (Analysis of Variance). Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempunyai pengaruh terhadap hasil penelitian, maka perlu dihitung pula besar persentase faktor tersebut memberi pengaruh terhadap hasil eksperimen. Berikut grafik persen kontribusi setiap ketebalan;



Dari hasil perhitungan ANOVA menggunakan Minitab 18, menghasilkan tabel ANOVA sebagai berikut ;

Tabel ANOVA Pelat Ketebalan 3 mm

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feeding	2	0.45506	0.227531	26.33	0.001
Error	6	0.05185	0.008642		
Total	8	0.50691			

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cut Height	2	0.04247	0.02123	0.27	0.769
Error	6	0.46444	0.07741		
Total	8	0.50691			

Analisa Hasil

Dari data perhitungan manual di atas didapatkan bahwa Feeding memiliki kontribusi 86.10% dan Cut Height 7.08%. Dari sini dapat dilihat bahwa Feeding memiliki kontribusi yang paling besar dari nilai kontribusi parameter Cut Height. Dari perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter feeding didapatkan F-value = $25.75/26.33$, pada tabel F-tabel untuk parameter feeding $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{(2,6)}$ yang berarti parameter feeding mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menolak hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.001 < 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 . Pada perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter cut height didapatkan F-value = $2.58/0.27$ pada tabel F-tabel untuk parameter Cut Height $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} < F_{(2,6)}$ yang berarti parameter cut height tidak mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menerima hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.769 > 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 .

Tabel ANOVA Pelat Ketebalan 5 mm

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feeding	2	1.1696	0.58481	16.51	0.004
Error	6	0.2126	0.03543		
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cut Height	2	0.1563	0.07815	0.38	0.698
Error	6	1.2259	0.20432		
Total	8	1.3822			

Analisa Hasil

Dari data perhitungan manual di atas didapatkan bahwa Feeding memiliki kontribusi 83.98% dan Cut Height 6.08%. Dari sini dapat dilihat bahwa Feeding memiliki kontribusi yang paling besar dari nilai kontribusi parameter Cut Height. Dari perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter feeding didapatkan F-value = $26.35/16.51$, pada tabel F-tabel untuk parameter feeding $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{(2,6)}$ yang berarti

parameter feeding mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menolak hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.004 < 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 . Pada perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter cut height didapatkan F-value = $2.88/0.38$ pada tabel F-tabel untuk parameter Cut Height $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} < F_{(2,6)}$ yang berarti parameter cut height tidak mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menerima hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.698 > 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 .

Tabel ANOVA Pelat Ketebalan 8 mm

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Feeding	2	0.50469	0.25235	19.65	0.002
Error	6	0.07704	0.01284		
Total	8	0.58173			

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Cut Height	2	0.05136	0.02568	0.29	0.758
Error	6	0.53037	0.08840		
Total	8	0.58173			

Analisa Hasil

Dari data perhitungan manual di atas didapatkan bahwa Feeding memiliki kontribusi 82.30 % dan Cut Height 4.46%. Dari sini dapat dilihat bahwa Feeding memiliki kontribusi yang paling besar dari nilai kontribusi parameter Cut Height . Dari perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter feeding didapatkan F-value = $19.64/19.65$, pada tabel F-tabel untuk parameter feeding $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{(2,6)}$ yang berarti parameter feeding mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menolak hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.002 < 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 . Pada perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan manual dan minitab 18 untuk parameter cut height didapatkan F-value = $1.04/0.29$ Pada tabel F-tabel untuk parameter Cut Height $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} < F_{(2,6)}$ yang berarti

parameter cut height tidak mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menerima hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.758 > 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 .

Tabel ANOVA Pelat Ketebalan 10 mm

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
1	2	1.8558	0.92790	24.32	0.001
Error	6	0.2289	0.03815		
Total	8	2.0847			

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
2	2	0.2091	0.1046	0.33	0.728
Error	6	1.8756	0.3126		
Total	8	2.0847			

Analisa Hasil

Dari data perhitungan manual di atas didapatkan bahwa Feeding memiliki kontribusi 82.17 % dan Cut Height 8.04%. Dari sini dapat dilihat bahwa Feeding memiliki kontribusi yang paling besar dari nilai kontribusi parameter Cut Height . Dari perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan minitab 18 untuk parameter feeding didapatkan F-value = 24.32, pada tabel F-tabel untuk parameter feeding $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} > F_{(2,6)}$ yang berarti parameter feeding mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menolak hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.001 < 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 . Pada perhitungan F-Ratio (F-Value) pada perhitungan minitab 18 untuk parameter cut height didapatkan F-value = 0.33 pada tabel F-tabel untuk parameter Cut Height $F(2,6) = 5.14$, dari data tersebut didapatkan bahwa $F_{hitung} < F_{(2,6)}$ yang berarti parameter cut height tidak mempunyai efek yang signifikan dalam pembentukan *dross* (menerima hipotesis H_0), simpulan tersebut dikuatkan dengan hasil dari p-value dari perhitungan software minitab bahwa $0.33 > 0.05$ yang berarti menolak hipotesis H_0 .

4. PENUTUPAN

Simpulan

1. Antara faktor *feeding* dan *cut height* pada setiap ketebalan pelat, *feeding* lah yang sangat mempengaruhi terhadap terbentuknya dross.
2. Semakin tebal pelat yang dipotong maka *feeding* yang di *setting* semakin kecil.
3. Dari hasil penelitian dapat diketahui parameter pemotongan optimal setiap ketebalan pad tabel 5.1 sebagai berikut ;

Parameter pemotongan		
Ketebalan (mm)	<i>Feeding (mm/min)</i>	<i>Cut Height (mm)</i>
3	1500	2
5	1000	1
8	750	2
10	750	3

Saran

Sebagai pertimbangan untuk mendapatkan hasil produk yang maksimal penulis memberi saran terhadap penelitian berikutnya agar mesin terlebih dahulu diberi *cooling system* dikarenakan panas yang dihasilkan mempengaruhi hasil produk.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bogdan Nedić , Marko Janković, Miroslav Radovanović, Gordana Globočki Lakić, 2013. *Quality Of Plasma Cutting*. 13th International Conference on Tribology.
2. Fridman, Alexander A, Kennedy, Lawrence A, 2004. *Plasma Pysics and Engineering*. Publisher : Taylor & Francis Routledge
3. Hidayat, Anwar. 2013. *Penjelasan tentang uji normalitas dan metode perhitungan*,(online), (<https://www.statistikian.com/2013/01/uji-normalitas.html>) diakses 28/07/2019
4. ISO 9013, 2013. *Therman cutting – Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances*. www.iso.ch.
5. Munirah M, Subanar. 2017. *Kajian terhadap Beberapa Metode Optimum (Survey of Optimization Methods)*. UGM Yogyakarta
6. Roy, Ranjit K. 2001. *Design of experiments using the Taguchi approach : 16 steps to product and process improvement*. New York: John Wiley & Sons,Inc.
7. Singh, Vivek. 2011. *Analysis of Process Parameters of Plasma Arc Cutting Using Design of Experiment*. Departement of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela.