



**PENGARUH VARIASI TEKANAN UDARA PADA
PEMOTONGAN PLAT BAJA ST 37 MENGGUNAKAN
CNC *PLASMA CUTTING* TERHADAP STRUKTUR
MIKRO, *KERF*, DAN KEKERASAN**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Dedy Rizkiawan

Nim.5201415028

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Dedy Rizkiawan

NIM : 5201415028

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul : PENGARUH VARIASI TEKANAN UDARA PADA PEMOTONGAN PLAT BAJA ST 36 MENGGUNAKAN CNC PLASMA *CUTTING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO, *KERF* DAN KEKERASAN

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 15 Agustus 2019

Pembimbing I



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.

NIP. 196601051990021002

PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul "Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pada Pemotongan Plat Baja ST 37 Menggunakan CNC Plasma *Cutting* Terhadap Struktur Mikro, *Kerf* dan Kekerasan" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada: 15/08 / 2019

Oleh
Nama : Dedy Rizkiawan
NIM : 5201415028
Program Studi: Pendidikan Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo S.T, M.T. IPP
NIP. 197509272006041002

Penguji 1



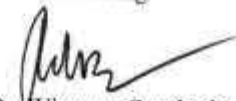
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Penguji 2



Prof. Dr. Sudarman, M.Pd
NIP.194911031976031001

Pembimbing



Dr. Wirawan Sumbodo, M
NIP. 1966010519900210

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 15 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Dedy Rizkiawan
5201415028

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Jalani hidup dengan sabar dan ikhlas.
2. Hargai orang lain jika kamu ingin dihargai.

PERSEMBAHAN

1. Untuk kedua orang tua yang saya sayangi, dan seluruh keluarga yang saya cintai, serta teman-teman ku yang saya banggakan, baik teman dekat maupun teman sekelas. Terimakasih atas support kalian.

SARI

Rizkiawan, D. 2019. Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pada Pemotongan Plat Baja ST 37 Menggunakan CNC Plasma *Cutting* Terhadap Struktur Mikro, *Kerf* dan Kekerasan. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi tekanan udara terhadap struktur mikro, *kerf* dan kekerasan pada pemotongan plat baja ST 37. Tekanan udara yang digunakan adalah 0.3 MPa, 0.5 MPa dan 0.8 MPa. Untuk parameter yang lainnya tetap konstan yaitu kuat arus 20 A, tinggi *torch* 0.1 mm dan *feed rate* 400mm/s. Penelitian ini termasuk jenis penelitian kuantitatif dan menggunakan metode eksperimen. Untuk teknik pengumpulan data menggunakan metode observasi dan teknik analisis data menggunakan teknik analisis statistik deskriptif. Hasil penelitian pada struktur mikro didapatkan hasil yang terbaik yaitu pada tekanan udara 0.8 MPa, karena susunan struktur mikro yang dominan baik yang ditunjukkan dengan rapat nya susunan antar fasa, pengambilan foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x. Kemudian untuk hasil penelitian pengukuran lebar *kerf* terbaik didapatkan pada tekanan udara 0.3 MPa yaitu sebesar 1.2 mm, pengukuran lebar *kerf* menggunakan taper gauge. Untuk nilai kekerasan terbaik didapatkan pada tekanan udara 0.8 MPa yaitu sebesar 138 *HVN*. Pengujian kekerasan menggunakan uji *Vickers* dengan pembebanan 300 kgf selama 10 detik.

Kata kunci : Tekanan udara, Struktur mikro, *kerf*, kekerasan.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pada Pemotongan Plat Baja ST 37 Menggunakan CNC *Plasma Cutting* Terhadap Struktur Mikro, Lebar *Kerf* dan Kekerasan” dengan baik dan tanpa suatu hambatan yang berarti. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang penulis nantikan syafa’atnya di hari akhir nanti.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan untuk melaksanakan ujian skripsi dan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan kerjasama berbagai pihak. Oleh Karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik UNNES, Rusiyanto, S.Pd.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES dan Dr. Wirawan Sumbodo M.T selaku dosen pembimbing yang berkenan membantu, memberikan waktu, dan bimbingan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
3. Bapak, Ibu, dan keluarga yang telah memberikan doa, nasihat, dan kasih sayang.

4. Rekan-rekan Pendidikan Teknik Mesin angkatan 2015 dengan kebersamaan dan semangatnya.
5. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa dituliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa penulisan proposal skripsi ini tidak luput dari ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca.

Semarang, 15 Agustus 2019



Dedy Rizkiawan
NIM.5201415028

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan	6
1.6 Manfaat	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Tekanan Udara	11
2.2.2 Struktur Mikro	12
2.2.3 Lebar <i>Kerf</i>	17
2.2.4 Pengujian Kekerasan	19
2.2.5 Definisi Plasma	23
2.2.6 Prinsip Kerja Plasma <i>Arc Cutting</i>	24

2.2.7 Komponen Plasma <i>Arc Cutting</i>	25
2.2.8 Mesin Las Plasma <i>Cutting</i>	32
2.2.9 Baja Karbon.....	32
2.2.10 Klasifikasi Baja	35
2.2.11 Baja ST 37	35
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2 Jenis dan Desain Penelitian	36
3.3 Alat dan Bahan	39
3.4 Parameter Penelitian.....	39
3.5 Teknik Pengumpulan Data	40
3.6 Kalibrasi Instrumen	41
3.7 Teknik Analisis Data	48
BAB IV HASIL PENELITIAN.....	49
4.1 Hasil Penelitian	49
4.1.1 Uji Komposisi	49
4.1.2 Pengamatan Struktur Mikro	50
4.1.3 Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	53
4.1.4 Uji Kekerasan.....	56
4.1.5 Uji Beda Lebar <i>Kerf</i>	58
4.1.6 Perbedaan Struktur Mikro	60
4.1.7 Uji Beda Nilai Kekerasan.....	61
4.2 Pembahasan Penelitian	63
4.2.1 Pengaruh Variasi Tekanan Udara Terhadap Struktur Mikro	63
4.2.2 Pengaruh Variasi Tekanan Udara Terhadap Lebar <i>Kerf</i>	65
4.2.3 Pengaruh Variasi Tekanan Udara Terhadap Nilai Kekerasan.....	66
4.3 Keterbatasan Penelitian	67
BAB V PENUTUP	
3.1 Kesimpulan.....	68
3.2 Saran	70

DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Pengujian Kekerasan	20
Tabel 3.1 Desain Penelitian.....	37
Tabel 3.2 Lembar Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	41
Tabel 3.3 Pengambilan Data Foto Struktur Mikro.....	41
Tabel 3.4 Pengambilan Data Nilai Kekerasan	41
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	54
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan	56
Tabel 4.3 Hasil rata-rata dan Simpangan Baku.....	58
Tabel 4.4 Hasil Simpangan Baku Gabungan dan Varian Uji lebar <i>Kerf</i>	59
Tabel 4.5 Hasil Uji T Pengujian Lebar <i>Kerf</i>	60
Tabel 4.6 Hasil Rata-rata dan Simpangan Baku Uji Kekerasan	61
Tabel 4.7 Hasil Simpangan Baku Gabungan dan Varian Uji Kekerasan.....	62
Tabel 4.8 Hasil Uji T Pengujian Kekerasan.....	62
Tabel 4.9 Data Perbandingan Lebar <i>Kerf</i>	65
Tabel 4.10 Data Perbandingan Nilai Kekerasan	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Kuat Arus dan Tebal Plat	11
Gambar 2.2 Struktur <i>Austenite</i>	14
Gambar 2.3 Struktur <i>Pearlit</i> dan <i>Ferrit</i>	15
Gambar 2.4 Struktur <i>Bainit</i>	15
Gambar 2.5 Struktur <i>Martensite</i>	16
Gambar 2.6 Struktur <i>Sementite</i>	17
Gambar 2.7 Mesin Uji Kekerasan	21
Gambar 2.8 Skema Pengujian Kekerasan	22
Gambar 2.9 Tingkatan Fase Molekul.....	23
Gambar 2.10 Prinsip Kerja Plasma <i>Cutting</i>	24
Gambar 2.11 Mesin Plasma <i>Cutting</i> tipe Redbo 40 A	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3.2 Spesimen Uji Struktur Mikro dan Kekerasan	42
Gambar 3.3 Spesimen Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	43
Gambar 3.4 Mikroskop Optik	46
Gambar 4.1 Struktur Mikro <i>Raw Material</i>	50
Gambar 4.2 Struktur Mikro Tekanan Udara 0.3 MPa.....	51
Gambar 4.3 Struktur Mikro Tekanan Udara 0.5 MPa.....	52
Gambar 4.4 Struktur Mikro Tekanan Udara 0.8 MPa.....	53
Gambar 4.5 Grafik Batang Hasil Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	54
Gambar 4.6 Grafik Garis Hasil Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	55
Gambar 4.7 Grafik Batang Uji Kekerasan	56
Gambar 4.8 Grafik Garis Uji Kekerasan.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Komposisi	74
Lampiran 2. Hasil Uji Komposisi	75
Lampiran 3. Usulan Dosen Pembimbing	77
Lampiran 4. Surat Tugas Pembimbing.....	78
Lampiran 5. Berita Acara Seminar Proposal.....	79
Lampiran 6. Persetujuan Seminar Proposal	80
Lampiran 7. Surat Tugas Dosen Penguji.....	81
Lampiran 8. Lembar Pernah Mengikuti Seminar.....	82
Lampiran 9. Form Usulan Topik.....	83
Lampiran 10. Surat Penelitian.....	84
Lampiran 11. Foto Pengukuran Lebar <i>Kerf</i>	85
Lampiran 12. Kegiatan Pengambilan Foto Struktur Mikro	86
Lampiran 13. Kegiatan Pengujian Kekerasan	87
Lampiran 14. Hasil Uji Normalitas dan Uji T Pada Pengujian Kekerasan	88
Lampiran 15. Hasil Uji Normalitas dan Uji T Pada Pengujian Lebar <i>Kerf</i>	97
Lampiran 16. Rata-rata lebar <i>kerf</i>	107
Lampiran 17. Rata-rata nilai kekerasan	109
Lampiran 16. Hasil Data Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	110

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kebutuhan penggunaan alat yang lebih efektif dan efisien. Alat yang semakin canggih akan mendorong para pelaku industri untuk mendapatkan hasil yang maksimal. *Plasma cutting* merupakan salah satu alat yang akan mendorong para pelaku industri untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pemotongan plasma merupakan proses yang digunakan untuk memotong logam dengan menggunakan plasma. Pada saat proses tersebut udara terkompresi dihembuskan dengan kecepatan tinggi dari nosel dan pada saat yang bersamaan listrik busur terbentuk melalui gas dari nosel ke permukaan yang telah dipotong dan mengubah sebagian gas tersebut menjadi plasma.

Pemotongan yang menggunakan plasma, proses pemotongan menjadi sangat efisien dan menawarkan keuntungan besar dalam hal kecepatan potong dan biaya awal jika dibandingkan dengan *oxy-fuel cutting* dan *water jet cutting* (Pawar dan Inamdar, 2017:75). Seiring berkembangnya teknologi Mesin Plasma cutting yang semula digerakkan secara manual dapat dimodifikasi agar pergerakannya lebih stabil dan konstan, yaitu dengan menggunakan sistem CNC. Prinsip kerja CNC adalah membaca koordinat jarak suatu objek 2D atau 3D menjadi perintah *G-Code* dengan bantuan computer, dimana perintah tersebut akan menggerakkan motor

sehingga dapat bergerak sesuai dengan koordinat objek tersebut (Amri dan Sumbodo.,2018:111). *Plasma cutting non-conventional* sudah menjadi garis kehidupan dalam dunia industri, tentunya akan sangat membantu untuk mendapatkan hasil akhir yang maksimal terutama dalam akurasi pemotongan. Para pelaku industri menuntut agar alat yang digunakan harus membantu dalam pekerjaannya.

Pengerjaan pemotongan plat, kepresisian sangat dibutuhkan agar nantinya tidak menimbulkan *kerf* yang terlalu lebar dan kepresisian juga akan tercapai. Yang dimaksud *kerf* adalah celah pemotongan yang timbul akibat adanya pemotongan pada bahan material, *kerf* bervariasi ukurannya bergantung faktor yang mempengaruhi. Untuk mendapatkan *kerf* yang presisi tersebut ada beberapa faktor yang harus terpenuhi diantaranya adalah kuat arus, tekanan udara, tinggi *torch*, kecepatan potong (Hamid, 2018:15). Beberapa faktor tersebut harus terpenuhi agar mendapatkan hasil potongan yang maksimal. Beberapa faktor tersebut saling berkaitan satu dengan yang lainnya, jadi semua faktor yang mempengaruhi dari hasil pemotongan harus di atur sesuai dengan kebutuhan. Biasanya setelah pemotongan dapat dilakukan proses pendinginan menggunakan beberapa bahan pendingin yang dapat digunakan, diantaranya air, *coolant*, oli. Dari beberapa bahan pendingin tersebut mempunyai kekurangan dan kelebihan masing-masing, jadi untuk pendingin harus disesuaikan dengan kebutuhan nantinya. Namun biasanya hanya sedikit yang menggunakan pendingin selain air, mayoritas hanya menggunakan air, karena air juga sebagai sarana untuk mengurangi terjadinya *grounding*. Jadi pada saat proses pemotongan, dibawah benda kerja terdapat

genangan air yang berfungsi sebagai sarana untuk mengurangi terjadinya *grounding* sekaligus sebagai pendingin benda kerja.

Berdasarkan uraian diatas penulis akan melakukan penelitian “Pengaruh Variasi Tekanan Udara Pada Pemotongan Plat Baja ST 37 Menggunakan CNC *Plasma Cutting* Terhadap Struktur Mikro, Lebar *Kerf* dan Kekerasan”.

1.2 Identifikasi Masalah

Dunia industri yang semakin modern tidak lepas dari perkembangan zaman dan teknologi yang semakin canggih, untuk itu kita harus bisa memenuhi apa yang dibutuhkan oleh konsumen dengan menciptakan inovasi yang dapat memenuhi kebutuhan konsumen di pasar. Selain itu kita juga harus menjaga kualitas produk yang kita hasilkan, dalam indentifikasi masalah ini kualitas produk yang di maksud adalah kualitas hasil pemotongan. Beberapa parameter yang mempengaruhi kualitas pemotongan adalah kuat arus, tekanan udara, tinggi *torch*, jenis *nozzle*, dan kecepatan potong.

Permasalahan yang muncul yang diakibatkan dari uraian di atas adalah :

- a. Cara mendapatkan hasil pemotongan yang maksimal.
- b. Mengetahui pengaruh variasi tekanan udara terhadap kepresisian.
- c. Parameter yang harus diperhatikan sebelum melakukan pemotongan.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Variasi tekanan udara dengan tekanan 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa
2. Menggunakan mesin *plasma cutting* tipe Redbo cut 40 A.
3. Bahan yang digunakan adalah Plat Baja karbon rendah St 37 dengan tebal 1.3 mm.
4. Pengujian Struktur Mikro menggunakan Mikroskop.
5. Pengukuran lebar *kerf* menggunakan *Tapper gauge*.
6. Pengujian kekerasan menggunakan uji *Vickers*

1.4 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah kondisi struktur mikro pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?
2. Bagaimanakah hasil lebar *kerf* pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?
3. Bagaimanakah hasil nilai kekerasan pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?
4. Apakah ada perbedaan struktur mikro pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?
5. Apakah ada perbedaan hasil lebar *kerf* pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?
6. Apakah ada perbedaan nilai kekerasan pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa ?

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kondisi struktur mikro pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.
2. Untuk mengetahui hasil lebar *kerf* pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.
3. Untuk mengetahui nilai kekerasan pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.
4. Untuk mengetahui perbedaan struktur mikro pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.
5. Untuk mengetahui perbedaan nilai hasil *kerf* pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.
6. Untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan *kerf* pada pemotongan plat baja ST 37 menggunakan CNC plasma *cutting* dengan variasi tekanan udara 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.8 MPa.

1.6 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi kepada dunia industri tentang faktor yang mempengaruhi pemotongan plat menggunakan *plasma cutting*.

2. Sebagai acuan pengembangan ilmu di dunia industri.
3. Sebagai media pembelajaran mahasiswa jurusan Teknik Mesin UNNES mengenai CNC *Plasma Cutting*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Milan Kumar Das, dkk (2014) meneliti pengaruh parameter proses pada baja EN 31. tekanan gas, kuat arus busur, dan jarak bebas *torch* digunakan sebagai parameter. *MRR (material removal rate)* dan kekasaran permukaan digunakan sebagai respon dari parameter yang digunakan. Hasil data yang didapatkan dari beberapa parameter tersebut dioptimalkan dengan menggunakan pasangan metode *taguchi* dengan analisis hubungan abu-abu. Anova digunakan untuk mencari kontribusi semua parameter proses. Dengan menggunakan analisis hubungan abu-abu, parameter proses optimal untuk laju pemindahan material maksimum dan kekasaran permukaan minimum diberikan oleh tekanan gas tingkat menengah, tingkat tinggi arus busur dan tingkat tinggi jarak *torch*. Berdasarkan olah data yang menggunakan ANOVA, parameter yang efektif adalah tekanan udara, kuat arus dan tinggi *torch*. Parameter tersebut merupakan faktor yang paling efektif.

Subbarao Chamarti, dkk (2013) bahan Hardox-400 yang digunakan memiliki tebal pelat 12 mm dan dipotong oleh tegangan tinggi, kecepatan potong, dan laju aliran gas plasma termasuk sebagai parameter utama dalam analisis dan pengaruhnya terhadap ketidakrataan permukaan potongan dievaluasi. dengan percobaan menemukan bahwa tegangan busur adalah parameter utama dan itu mempengaruhi semua aspek yang terkait dengan kualitas potong daripada efek pada

daya busur, di luar tegangan busur kecepatan pemotongan menunjukkan efek yang nyata.

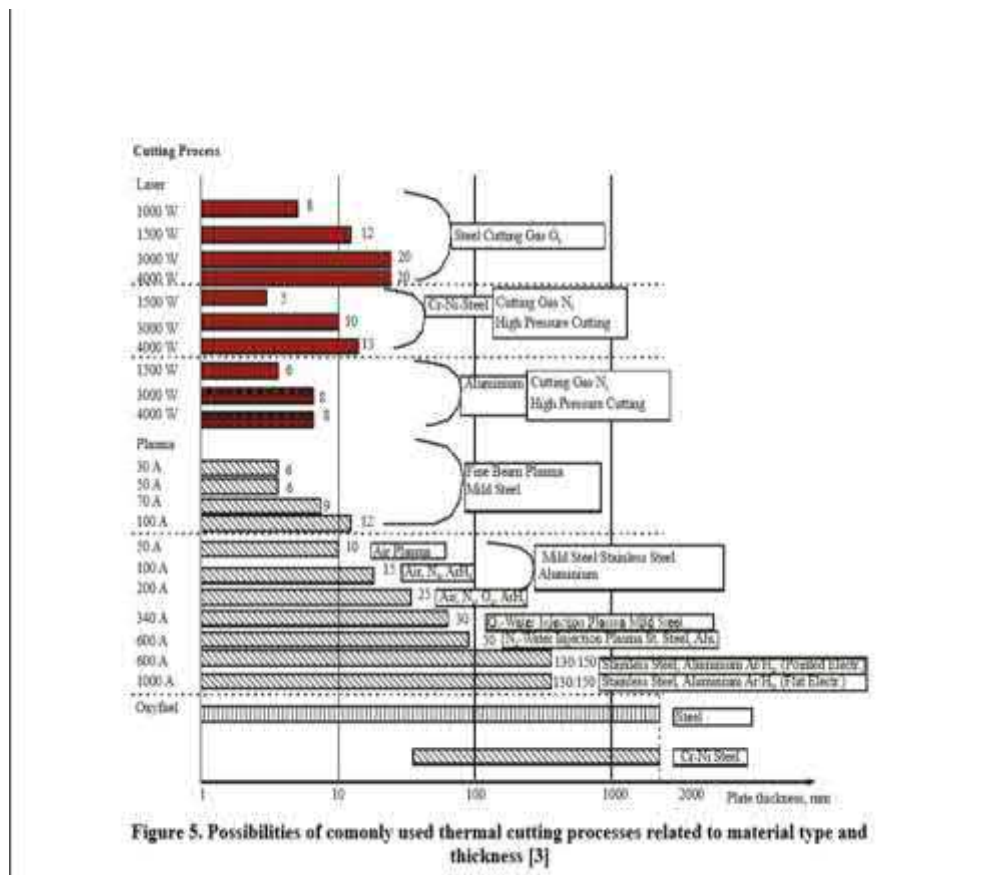
K. Salonitis, dkk (2012) mempelajari kualitas pemotongan. kualitas potongan telah dilihat dengan mengukur sudut garitan, kekasaran tepi dan ukuran HAZ. pemotongan dilakukan pada 15 mm S235 lembaran baja ringan, dengan penggunaan oksigen sebagai gas plasma dan udara sebagai gas pelindung. arus pemotongan memiliki efek paling kuat pada HAZ. meningkatkan arus pemotongan dan mengurangi kecepatan pemotongan menghasilkan peningkatan HAZ. dengan menggunakan ANOVA, ditemukan bahwa kekasaran permukaan dan konsistensi dipengaruhi oleh tinggi pemotongan, sedangkan zona yang terkena panas dipengaruhi oleh arus pemotongan.

B. Abdalnasser, dkk (2016) melakukan pekerjaan pada paduan aluminium 1100. Tingkat pemindahan material dan kekasaran permukaan diukur dan dianalisis. Dua ketebalan spesimen yang berbeda, 3 mm dan 6 mm digunakan untuk melakukan percobaan. Percobaan dilakukan berdasarkan prosedur standar taguchi dengan susunan orthogonal L9. Arus busur, kecepatan potong, dan celah busur digunakan sebagai parameter. Laju pemindahan material diukur dengan menentukan berat spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pemotongan. Dari analisis percobaan dapat disimpulkan bahwa saat ini dalam tingkat penghapusan material hasilnya signifikan.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Santoso dkk, (2018) adalah pengaruh kecepatan dan sudut potong terhadap berat material hilang dan kekerasan

daerah *plastized zone* pada pemotongan material SS400 dengan *oxy fuel welding*. Pada penelitian ini menggunakan kecepatan potong sebesar 200 mm/menit, 300 mm/menit dan 400 mm/menit dengan sudut torch 0°, 5° dan 10 ° dan spesimen uji adalah SS400. Hasil dari penelitian ini yaitu berat material yang hilang, kecepatan potong dan sudut potong tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan material dengan media air pada daerah *plastized zone*, ada pengaruh kecepatan potong dan berat material yang hilang terhadap kekerasan material dengan media *coolant* pada daerah *plastized zone*.

Abdul Hamid, dkk (2018) meneliti tentang “Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Gas *Flow Rate* Terhadap Lebar *Kerf* Pemotongan Pada Alumunium 5083 dengan Menggunakan Mesin Plasma *Cutting*”. Hasil penelitian diperoleh variasi kuat arus pada pemotongan Alumunium 5083 memberikan pengaruh terhadap lebar *kerf*. Kuat arus sebesar 80 A memberikan pengaruh lebar *kerf* terlebar yaitu sebesar 2,01 mm pada jumlah gas 10L/menit dan 1,61 mm pada jumlah gas 14L/menit. Kuat arus sebesar 50 A memberikan hasil lebar *kerf* tersempit sebesar 1,25 mm pada jumlah gas 10L/menit. Pengaturan gas *flow rate* sebesar 10L/menit memberikan angka lebar *kerf* terbesar pada setiap hasil pemotongan dengan variasi kuat arus (50 A, 65 A, 80 A) memberikan hasil lebar pemotongan tersempit pada setiap pemotongannya. Untuk memperoleh hasil tersempit dalam pemotongan dapat menggunakan kuat arus sebesar 50 A dan gas *flow rate* sebesar 14L/menit. Berikut merupakan grafik hubungan antara kuat arus dan tebal plat :



Gambar 2.1 Hubungan kuat arus dan tebal plat

(Sumber : Samardzic, 2005 : 310)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tekanan Udara

Udara memiliki massa meskipun sangat kecil. Tetapi dengan jumlah yang sangat banyak massa mereka tidak dianggap ringan. Di bumi ada yang namanya gravitasi yang menarik udara ini ke bawah sehingga dikenal dengan namanya berat. Jadi pengertian tekanan udara adalah tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu.

Menurut Wirawan, (2008: 469) Udara di permukaan bumi ini terdiri atas campuran dari bermacam-macam gas. Komposisi dari macam-macam gas tersebut

adalah sebagai berikut : 78 % vol.gas, 21 % vol. nitrogen, dan 1% gas lainnya seperti *carbondioksida, argon, helium, krypton, neon dan xenon*. Sifat-sifat udara senantiasa mengikuti hukum-hukum gas. Karakteristik udara dapat diidentifikasi sebagai berikut :

- a. Udara mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah.
- b. Volume udara tidak tetap.
- c. Udara dapat dikempa (dipadatkan).
- d. Berat jenis udara 0.0013 kg/dm^3
- e. Udara tidak berwarna.

Untuk mencapai standar output parameter, maka diperlukan pengaturan inout parameter yang tepat sesuai kebutuhan pemotongan. Dimana pengaturan parameter yang berpengaruh antara lain, kuat arus (*ampere*), tekanan gas (*Gas Pressure*), jenis *nozzle* , kecepatan pemotongan (*feed rate*).

2.2.2 Struktur Mikro

Menurut Lely Susita R.M., dkk (1996: 50) struktur mikro adalah struktur yang hanya bisa diamati melalui mikroskop baik itu mikroskop optik maupun mikroskop elektron. Informasi yang bisa diperoleh dari struktur mikro antara lain identifikasi fasa-fasa yang ada, presentase fasa, distribusi fasa, inklusi (pengotor), presipitat maupun ukuran butir. Perubahan struktur suatu sistem pencampuran logam hanya akan terjadi apabila suatu campuran didinginkan secara perlahan-lahan. Pada cairan logam yang telah mencapai temperatur tertinggi kemudian didinginkan sampai mencapai titik beku, maka akan terjadi perubahan-perubahan

struktur, perubahan struktur yang terjadi pada suatu logam adalah berhubungan dengan letak atom-atom di dalam balur-balur atau jarak antara tiap-tiap balur dan besarnya suatu balur yang terjadi (Arifin, 1976 : 73). Perubahan yang terjadi pada suatu logam adalah berhubungan dengan letak atom-atom di dalam balur-balur jarak antara tiap-tiap balur dan besarnya suatu balur yang terjadi.

Struktur mikro dapat diubah dengan suatu perlakuan panas. Ini berarti untuk material dengan komposisi yang sama dapat mempunyai sifat-sifat yang berbeda dan ini bisa diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya. Dengan kata lain, untuk memperbaiki sifat-sifat suatu material sesuai dengan yang dikehendaki dapat diperoleh dengan cara mengubah struktur mikronya.

Cara mengetahui struktur mikro suatu material perlu dilakukan pengujian struktur mikro. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur sebelum perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas suatu material. Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon :

1. Austenite

Austenite adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendingin selanjutnya austenite berubah menjadi ferrit dan pearlit dan sementite. Sifat austenite adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%. Berikut struktur *austenite* :



Gambar 2.2 Struktur *Austenite*

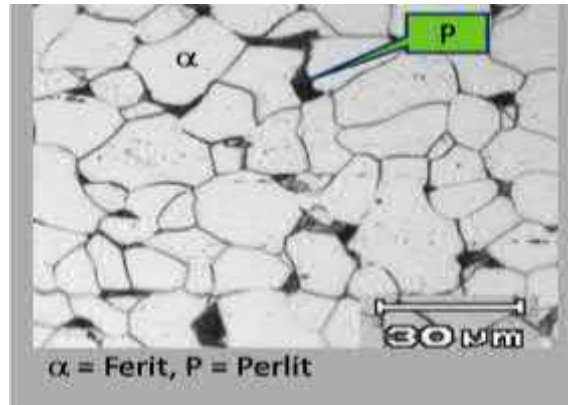
(Sumber : <https://www.google.co.id/search?safe> diunduh 15 februari)

2. *Feritt*

Fasa ini disebut alpha (α), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon oleh sebab itu daya larut karbon dalam *ferrite* rendah < 1 atom C per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008%, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu 723°C . Ferrite bersifat magnetik sampai suhu 768°C . Sifat *ferrite* lainnya adalah lunak dan liat. *Ferrite* berwarna putih.

3. *Pearlit*

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferrit dengan kadar karbon 0,025% dan *sementite* dalam bentuk lamellar (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. *Pearlite* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoid lamellar*. Sifat *pearlite* adalah lebih keras dan lebih kuat dari pada *ferrite* tetapi kurang liat dan tidak magnetis. *Pearlite* berwarna hitam. Berikut ini gambar struktur *ferrite* dan *pearlite* :

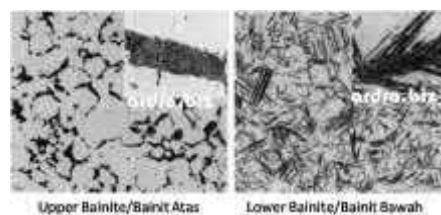


Gambar 2. 3 Struktur *Pearlit* dan *Ferrit*

(Sumber : <https://www.google.co.id/search?q> diunduh 15 februari)

4. *Bainit*

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenite* ke suhu antara 250°C-550°C dan ditahan pada suhu tersebut (isothermal). *Bainit* adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) non lamellar (tidak berupa lapisan). *Bainit* merupakan struktur mikro campuran fasa ferrit dan sementite (Fe_3C). Sifat dari *bainit* adalah lunak. Berikut gambar struktur *bainit*:



Gambar 2.4 Struktur *Bainit*

(Sumber : <https://www.google.co.id/search?q> diunduh 15 februari)

5. *Martensite*

Martensite merupakan fasa dimana ferrit dan sementite bercampur, tetapi bukan dalam lamellar, melainkan jarum-jarum *sementite*. Fasa ini terbentuk dari austenite meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam metrik *ferrite*. *Martensite* bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1 % C akan terbentuk *martensite* pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval $0,6\% < C < 1,08\%$. Sifat dari *martensite* adalah rapuh dan keras, kekerasan tergantung dari komposisi karbon. *Martensite* berbentuk seperti jarum. Berikut ini struktur *martensite*:



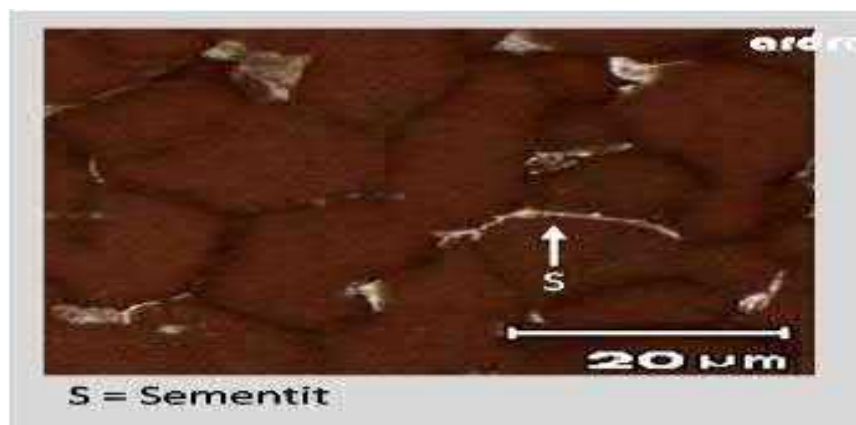
Gambar 2.5 Struktur *Martensite*

(Sumber : <https://www.google.co.id/search?q=struktur+mikro>

diunduh 15 februari)

6. *Sementite* (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (*sementite*). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan *ferrit*, *sementite* sangat keras. Karbida besi dalam ferrit akan meningkatkan kekerasan baja, tetapi karbida besi murni tidak liat. Karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Sifat *sementite* adalah keras, rapuh dan magnetis. Berikut ini struktur dari *sementite* (karbida besi) :



Gambar 2.6 Struktur *Sementite*

(Sumber : <https://www.google.co.id/search?safe> diunduh 15 februari)

2.2.3 Lebar *Kerf*

Kerf adalah ruang yang terbentuk pada logam sebagai logam dihapus selama pemotongan. Lebar *kerf* dipengaruhi oleh beberapa faktor pada saat pemotongan dilakukan, baik dari teknik pemotongan maupun dari setting mesin plasmanya

sedniri. Beberapa faktor mempengaruhi lebar *kerf* adalah sebagai berikut (Jeffus, 2011: 542).

1. ketinggian/jarak torch: semakin dekat ujung *nozzle* dengan permukaan benda kerja, semakin sempit *kerf* yang akan terbentuk.
2. Diameter lubang: menggunakan diameter lubang *nozzle* sekecil mungkin maka akan membuat *kerf* lebih kecil.
3. Pengaturan daya: pengaturan daya yang terlalu tinggi akan menyebabkan peningkatan lebar *kerf*.
4. Kecepatan pemotongan: saat kecepatan pemotongan ditingkatkan, lebar *kerf* akan berkurang, Namun, *dross* akan meningkat jika kecepatannya terlalu cepat.
5. Gas: jenis gas atau campuran gas akan mempengaruhi lebar *kerf* karena perubahan gas mempengaruhi kecepatan pemotongan, daya, konsentrasi aliran plasma, dan faktor lainnya.
6. Elektroda dan ujung *nozzle*: jika elektroda dan ujung *nozzle* mulai aus karena penggunaan atau rusak, kualitas *Plasma Arc Cutting* dan lebar *kerf* akan terpengaruh.
7. Berputar-putar gas plasma: pada beberapa obor, gas diarahkan dalam gerakan melingkar di sekitar elektroda sebelum memasuki lubang ujung *nozzle*. Berputar-putar ini menyebabkan aliran plasma yang dihasilkan menjadi lebih padat dengan sisi yang lebih lurus. Hasilnya adalah kualitas potongan yang optimal, termasuk *kerf* yang sempit.

8. Injeksi air: injeksi air ke dalam aliran plasma karena meninggalkan ujung *nozzle* tidak sama dengan penggunaan selubung air. Injeksi air ke aliran plasma akan meningkatkan pusaran dan lebih berkonsentrasi plasma, maka akan meningkatkan kualitas pemotongan, memperpanjang umur ujung nosel, dan membuat *kerf* lebih sempit.

2.2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang digunakan, karena dapat dilakukan pada benda uji yang relatif kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan penekanan tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya, (Surdia dan Saito, 2000: 31).

Menurut Surdia dan Chijiwa (1976: 204) kekerasan adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan. Pengukuran kekerasan adalah mudah, sehingga banyak dilakukan dalam pemilihan bahan. Ada beberapa macam alat penguji kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan : bahan, kekerasan, ukuran dan hal lainnya dari suatu produk.

Menurut Sudjana (2008: 409) dalam bukunya bahwa secara umum semua sifat mekanik dapat terwakili oleh sifat kekerasan bahan, orang berasumsi bahwa yang keras itu pasti kuat, sehingga jika dibutuhkan bahan yang kuat, maka pilih bahan yang bersifat keras. Ini merupakan pernyataan yang keliru, bahwa ada suatu bahan yang memiliki kesebandingan antara kekerasan dengan kekuatan itu benar tetapi ada juga sifat yang justru perbandingannya terbalik bahwa bahan yang keras akan

rapuh. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian, ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan (*scratch hardness*), kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dan kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*). Untuk logam, hanya lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa (Dieter, 1993: 328).

Tabel 2.1 Karakteristik pengujian kekerasan

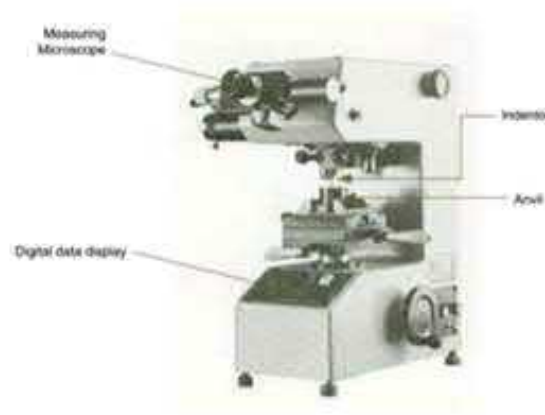
Cara Pengujian	Brinell	Rockwell	Vickers
Penekanan	Bola baja 10mm karbida	Kerucut intan 120 Bola Baja 1/16-1/2	Piramida intan sudut bidang berhadapan 136
Beban	500-3000 kg	Beban mula 10kg beban total 60, 100, 150 kg	1 - 120 kg
Kekerasan	beban / luas penekanan	Dalam penekanan	beban/ luas penekanan

(Sumber : Surdia dan Saito, 2000: 32)

a. Kekerasan *Vickers*

Pada prinsipnya pengujian dengan sistem *Vickers* ini tidak jauh berbeda dengan pengujian kekerasan dengan sistem Brinell, salah satu yang berbeda dalam pengujian kekerasan sistem *Vickers* ini adalah pemakaian indentornya, dimana *Vickers* menggunakan piramida intan dengan sudut puncak piramida adalah 136°. Bentuk identor yang relative tajam dibanding dengan *brinell* yang menggunakan bola baja, *Vickers* memberikan pembebanan yang sangat kecil yakni dengan tingkatan beban 5,10,20,30,50 dan 120 kg, bahkan pengujian *microstruktur* hanya

ditentukan 10 g, sehingga pengujian kekerasan *Vickers* cocok digunakan pada bahan yang keras dan tipis, sedangkan untuk bahan yang lunak dan tidak homogen seperti besi tuang (*cast Iron*) *Vickers* tidak sesuai untuk digunakan, (Sudjana 2008:420).



Gambar 2.7 Mesin Uji kekerasan *Vickers*

(Sumber : Sudjana, 2008: 420)

Angka Kekerasan piramida intan atau *Hardnes Vickers Number (HVN)*, didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak, *HVN* dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{185 P}{L^2}$$

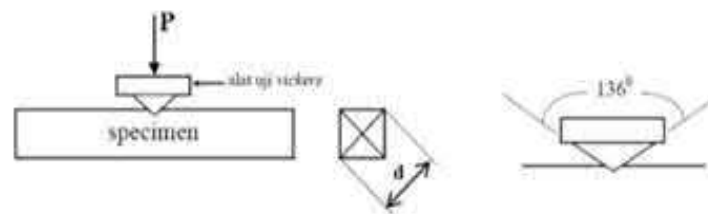
Dimana VHN = Angka kekerasan Vickers (HVN)

P = beban yang diterapkan (kg)

L = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan= 136°

Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan *mikro Vickers*. Pengujian mikro *Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relative kecil yang sulit dideteksi oleh metode pengujian makro *Vickers*. Prinsip pengujian *mikro Vickers* adalah dengan menenkankan penetrator pada permukaan benda uji sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga relative kecil yaitu berkisar antara 10-1000 kgf, Dieter (1966:334).



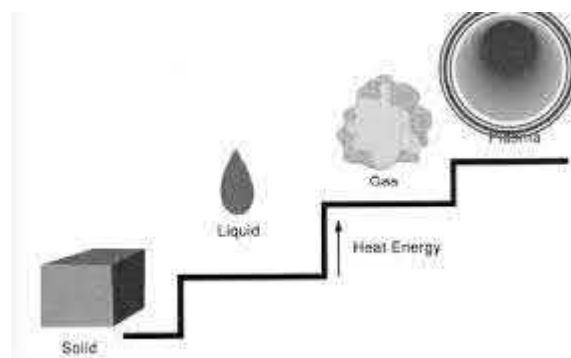
Gambar 2.8 Skema pengujian *Vickers Hardness*

(Sumber : Dieter, 1993 : 335)

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penumbuk intan harus berbentuk bujur sangkar, akan tetapi penyimpangan lekukan bisa terjadi seperti lekukan bantal jarum akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan, Dieter (1966 : 335).

2.2.5 Plasma

Plasma adalah suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan berubah wujud dari padat ke cair, dan jika diberikan kalor berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah menjadi wujud plasma. (Akhmad, 2009:51).



Gambar 2.9 Tingkatan Fase Molekul

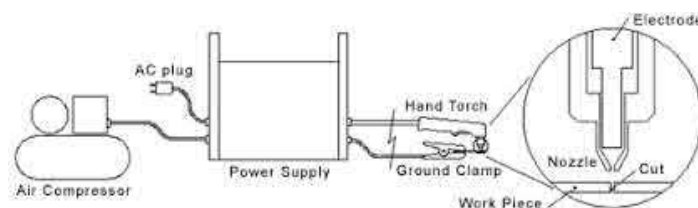
(Sumber : Akhmad, 2009: 52).

Dengan menambahkan sejumlah energi lagi pada fase uap air tersebut, maka akan didapatkan sejenis karakteristik fase yang mudah terpengaruh terhadap temperature dan elektrisita, proses ini disebut Ionisasi.

Plasma dapat dibuat dengan cara memanfaatkan tegangan listrik, contohnya dengan menghadapkan dua buah elektroda di udara bebas dalam hal ini udara merupakan suatu isolator yaitu materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Pada kedua elektroda dialiri tegangan listrik yang cukup tinggi sehingga sifat konduktor akan muncul pada udara di antara kedua elektroda dan bersamaan dengan itu arus listrik mulai mengalir.

2.2.6 Prinsip Kerja Plasma Arc Cutting

Proses Plasma arc cutting diawali dengan terbentuknya busur *wolframe* (*arc*) diantara elektroda dan benda kerja dari hasil reaksi ionisasi listrik terhadap gas potong yang sangat konduktif. Gas dipanaskan oleh busur *wolframe* hingga suhunya meningkat sangat tinggi lalu gas akan terionisasi dan menjadi penghantar listrik. Gas dalam kondisi ini disebut plasma (Akhmad, 2009 : 52). Suhu plasma ini bisa mencapai 33.000 °C, kira-kira 10 kali suhu yang dihasilkan oleh reaksi oksigen dan asitelin. Gas yang digunakan pada plasma antara lain argon, hydrogen dan nitrogen. Kombinasi argon dan nitrogen memberikan hasil yang terbaik. Untuk operasi pemotongan digunakan campuran 80% argon dan 20% hidrogen dengan arus sekitar 400 A. Untuk pemotongann baja tahan karat harus menggunakan nitrogen, karena uap nya mengandung racun, jadi diperlukan sistem pembuangan yang baik.



Gambar 2.10 Prinsip kerja *plasma cutting*

(Sumber: <https://www.google.co.id/url?sa> diunduh 15 februari)

Gas yang digunakan pada *Plasma Arc Cutting* ada 2 yaitu;

- A. Gas Primer, gas ini merupakan gas yang dapat membuat busur plasma. Contoh : Nitrogen, argon, hydrogen atau perpaduan antara ketiga bahan tersebut.

- B. Gas Sekunder atau Air, gas sekunder berfungsi untuk mengelilingi busur elektrik dalam melindungi lokasi sekitar proses pemotongan dari gas primer agar lebih fokus dan tidak menyebar.

2.2.7 Komponen *Plasma Arc Cutting*

2.2.7.1 *Torch Plasma*

Torch adalah wadah/tempat proses terionisasi gas primer oleh elektroda tungsten yang akan dialirkan melalui *nozzle*. *Nozzle* adalah tempat atau lubang keluarnya gas yang telah terionisasi.

Menurut Cahyono, (2017: 8) ada dua macam tipe *torch* yang digunakan di dalam mesin busur plasma yaitu ;

- *Nontransferred arc torch*

Pada nontransfer arc torch kutub negative (-) berada pada tungsten elektroda, sedangkan kutub positif (+) berada pada torch body. *Torch* jenis ini ada beberapa macam, diantaranya;

- *Turbulent mode flame torch*

Nyala api yang dihasilkan torch jenis ini memiliki kecepatan tinggi dan mempunyai panjang nyala api sekitar 15 cm. Torch ini menggunakan elektroda yang mempunyai diameter kecil dan nosel yang mempunyai panjang lubang 25 mm. Diameter orifis yang pada jenis ini dapat dirubah. Torch jenis ini biasanya digunakan untuk pengerjaan semprot, pengerjaan insulator dan sintesis kimia.

- *Laminor mode flame torch*

Nyala api yang dihasilkan torch jenis ini memiliki kecepatan rendah dan mempunyai panjang nyala api sekitar 1 m. Torch ini menggunakan elektroda yang

berdiameter kecil dan nosel yang memiliki panjang lubang lebih dari 125 mm. Nyala api yang dihasilkan dengan torch mode ini biasanya digunakan untuk proses spherodizing dan proses peleburan keramik.

- *High Power torch*

Torch jenis ini dirancang untuk busur yang mempunyai emperature tinggi dan dioperasikan dengan arus listrik yang sangat tinggi (lebih dari 2000 A). Untuk mencegah terjadinya pengikisan elektroda di nosel torch digunakan bahan magnetic yang bersifat mengikat medan listrik.

- *Transfer Arc Torch*

Pada transfer Arc Torch, kutub negative (-) berada pada tungsten elektroda, sedangkan kutub positif (+) berada pada benda kerja. Torch jenis ini ada beberapa macam, yaitu ;

- *Single flow torch*

Torch ini merupakan jenis yang paling sering digunakan pada operasi pengerjaan logam. Mode ini mempunyai elektroda yang berbentuk piringan yang ditaper pada bagian sisi-sisinya. Panjang lubang di dalam nosel dijaga seminimal mungkin (3-5 mm). *Single flow torch* biasanya digunakan untuk pengerjaan pemotongan baja dengan berbagai tipenya, aluminium dan berbagai jenis tembaga.

- *Dual flow torch*

Pada dual flow torch ini terdapat adanya penambahan aliran gas yang mengitari busur utama untuk melindungi benda kerja. Pada pemotongan baja karbon aliran gas tambahannya adalah oksigen. Pada pemotongan dengan plasma yang menggunakan oksigen mempunyai kecepatan potong yang sangat tinggi.

- *Water Injection Plasma Torch*

Pada torch jenis ini digunakan air sebagai pelindung plasma.

- *Air Injection Plasma Torch*

Plasma pembentukan gas (argon atau nitrogen) dapat diganti dengan udara, tetapi ini memerlukan elektroda khusus dari *hafnium zirconium* atau tembaga yang terpasang di dudukan. Elektroda *hafnium zirconium* harganya sangat mahal, oleh karena itu bisa diganti dengan elektroda tungsten, bentuknya seperti gambar di bawah ini.

- *Oxygen Injection Plasma Torch*

Jenis *torch* ini menggunakan zirconium sebagai elektrodanya. Jenis *torch* ini menggunakan *oxygen* sebagai plasmanya. Umur elektroda pada jenis ini pendek.

- *Welding torch*

Torch ini dioperasikan untuk mendapatkan aliran turbulen yang minimal dan memiliki kecepatan yang rendah. Hal ini dimaksudkan agar logam cair/logam las tidak terlempar keluar. Elektroda yang digunakan pada plasma cutting. *Nozzel* yang digunakan juga lebih besar dari pada plasma cutting. Untuk hasil yang lebih baik digunakan rangkaian *transferred-type torch* dengan aliran torch laminar.

- *Micro torches atau needle torches*

Torch jenis ini hampir sama dengan nyala pengelasan (*welding torch*), bedanya pada daya yang digunakan sangat kecil (sekitar 1 KW). Penggunaan tipe ini pada pengelasan atau pemotongan dapat dioperasikan dengan rangkaian *transferred-type torch* maupun *nontransferred-type torch*.

2.2.7.2 Kompresor

Kompresor merupakan komponen dari *plasma cutting* yang sangat dibutuhkan, karena pada dasarnya prinsip dari *plasma cutting* adalah membutuhkan tekanan udara, dan tekanan udara tersebut merupakan hasil dari kompresor. Kompresor adalah mesin untuk memampatkan udara atau gas. Secara umum biasanya menghisap udara dari atmosfer, yang secara fisika merupakan campuran beberapa gas dengan susunan 78% Nitrogen, 21% Oksigen, dan 1% campuran Argon, Karbon dioksida, Uap Air, Minyak, dan lainnya (Angky, 2014:2).

Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan suatu gas, tekanan gas dapat dinaikkan dengan memaksakan untuk mengurangi volumenya dan ketika volumenya dikurangi, tekanannya akan naik.

- Jenis-jenis Kompresor

Menurut Wirawan, (2008:474) klasifikasi kompresor dapat digolongkan atas beberapa yaitu;

- a. Kompresor yang digolongkan atas dasar tekanannya, digolongkan menjadi 3 macam yaitu;
 1. Kompresor (pemampat) dipakai untuk jenis yang bertekanan tinggi
 2. *Blower* (peniup) dipakai untuk bertekanan rendah
 3. *Fan* (kipas) dipakai untuk bertekanan sangat rendah.
- b. Atas dasar pemampatnya kompresor dibagi menjadi 2 yaitu;
 1. Jenis Turbo, jenis turbo menaikkan tekanan dan kecepatan gas dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller atau dengan gaya angkat (*lift*) yang ditimbulkan oleh sudu

2. Jenis perpindahan, jenis perpindahan memanfaatkan volume gas yang dihisap ke dalam silinder atau stator oleh torak atau sudu. Jenis perpindahan dibagi 2 :

- a. Jenis putar (*rotary*); Kompresor ulir putar (*Rotary Screw Compressor*), *Lobe, Vane, Liquid Ring, Scroll*.
- b. Jenis bolak-balik : Kompresor piston aksi tunggal, kompresor piston aksi ganda, kompresor piston diafragma.
- c. Kompresor yang dibagi atas dasar Konstruksinya dibagi menjadi beberapa macam, yaitu;
 1. Berdasarkan jumlah tingkat kompresi, yaitu; satu tingkat, dua tingkat, dan banyak tingkat.
 2. Berdasarkan langkah kerja, yaitu; kerja tunggal, kerja ganda.
 3. Berdasarkan susunan silinder, yaitu; mendatar, tegak, bentuk-L, bentuk-V, bentuk-W, bentuk bintang, lawan berimbang.
 4. Berdasarkan cara pendingin, yaitu; pendingin air, pendingin udara.
 5. Berdasarkan transmisi penggerak, yaitu; langsung, sabuk-V, roda gigi.
 6. Berdasarkan penempatannya, yaitu; Permanen (*stationery*), dapat dipindahkan (*portable*).
 7. Berdasarkan cara pelumasannya, yaitu; Pelumas minyak, tanpa minyak.

Secara umum kompresor dibagi menjadi dua jenis yaitu dinamik dan perpindahan positif.

1. Kompresor *Positive displacement*

Jika suatu gas/udara di dalam sebuah ruangan tertutup diperkecil volumenya, maka gas/udara tersebut akan mengalami kompresi. Kompresor yang menggunakan azas ini disebut kompresor jenis *displacement*. Kompresor ini tersedia dalam dua jenis : *reciprocating* dan putar/*rotary*.

a. Kompresor *Reciprocating* (Piston)

Di dalam industri, kompresor *reciprocating* paling banyak digunakan untuk mengkompresi baik udara maupun refrigerant. Prinsip kerjanya seperti pompa sepeda dengan karakteristik dimana aliran keluar tetap hampir konstan pada kisaran tekanan pengeluaran tertentu. Juga, kapasitas kompresor proporsional langsung terhadap keceptannya, keluarnya seperti denyutan.

Kompresor udara *reciprocating* biasanya merupakan aksi tunggal dimana penekanan dilakukan hanya menggunakan satu sisi dari piston. Kompresor yang bekerja menggunakan dua sisi piston disebut sebagai aksi ganda. Sebuah kompresor dianggap sebagai kompresor satu tahap jika keseluruhan penekanan dilakukan menggunakan satu silinder atau beberapa silinder yang paralel.

b. Kompresor Putar/*Rotary*

Kompresor *rotary* mempunyai rotor dalam satu tempat dengan piston dan memberikan pengeluaran kontinyu bebas denyutan. Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan kompresor *reciprocating*.

Kompresor ulir putar menggunakan pendingin air. Jika pendingin sudah dilakukan pada bagian dalam kompresor, tidak akan terjadi suhu operasi yang

ekstrim pada bagian-bagian yang bekerja. Kompresor putar merupakan kompresor kontonyu, dengan paket yang sudah termasuk pendingin udara atau pendingin air. Karena desainnya yang sederhana dan hanya sedikit bagian-bagian yang bekerja, kompresor udara ulir putar mudah perawatannya, mudah operasinya dan fleksibel dalam pemasangannya. Kompresor udara putar dapat dipasang pada permukaan apapun yang dapat menyangga berat bebannya.

c. Kompresor Dinamis

Kompresor dinamis terbagi ke dalam 2 jenis :

1. Kompresor Sentrifugal

Kompresor udara sentrifugal merupakan kompresor dinamis, yang tergantung pada transfer energy dari impeller yang berputar ke udara. Rotor melakukan pekerjaan ini dengan mengubah momen dan tekanan udara.

2. Kompresor *Axial*

Kompresor ini memiliki prinsip kerja seperti jenis rotary yaitu sistem udara allir dan cocok sebagai penghantar udara yang besar. Kompresor aliran ada yang dibuat arah masukannya udara secara aksial dan ada yang radial. Keadaan udara dirubah dalam satu roda turbin atau lebih untuk mengalirkan kecepatan udara. Energi kinetik yang timbul diubah ke energi yang berbentuk tekanan.

2.2.8 Mesin Las *Plasma Cutting*

Mesin las *Plasma Cutting* merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk memotong berbagai jenis logam atau plat atau bahan lainnya dengan tingkat akurasi yang baik. Pemotongan plat yang dilakukan dengan plasma menghasilkan hasil

potongan yang jauh lebih halus. Dalam pengoperasian mesin plasma biasanya menggunakan CNC atau teknologi robot yang bekerja dengan pemrograman komputer secara otomatis. Dalam proses penggunaan mesin *plasma cutting* juga terdapat kelebihan-kelebihan diantaranya tingkat kecepatan potong yang tepat, tidak memerlukan cetakan, biaya produksi lebih hemat dan efektif.



Gambar 2.11 Mesin plasma *cutting* tipe Redbo 40 A.

2.2.9 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti Sulfur(S), Fosfor(P), Silikon(Si), Mangan(Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi (Wattimena dkk, 2014: 1164). Sifat baja pada umumnya sangat diengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Menurut Arifin (1976:111) berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (mild steel) mengandung karbon antara 0.1% sampai 0.3%. Setiap 1 ton baja karbon rendah mengandung/berisi 20-60 pound karbon. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam bentuk plat-plat baja, baja-baja strip dan baja-baja batang/profil. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan/dijadikan baja-baja sebagai berikut :

- a. Baja karbon rendah yang mengandung 0.04% - 0.10% C dijadikan baja-baja plat/strip.
- b. Baja karbon rendah yang mengandung 0.05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- c. Baja karbon rendah yang mengandung 0.15% - 0.25% digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan atau dijadikan baja-baja konstruksi.
- d. Baja karbon rendah yang mengandung 0.20% - 0.30% C digunakan untuk membuat baut-baut an paku-paku keling atau untuk keperluan konstruksi.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon ini mengandung karbon antara 0.30% - 0.60 % karbon, dan setiap 1 ton baja karbon ini mengandung karbon antara 60 – 120 pound (30 – 60 kg). Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian-bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon ini dapat digunakan untuk hal-hal sebagai berikut :

- a. Mengandung 0.40% C digunakan untuk keperluan industri kendaraan misalnya untuk bahan membuat baut-baut/ mur-mur, poros engkol dan lain lain.
- b. Mengandung 0.50% C digunakan untuk membuat roda-roda gigi, martil, *clamp* (alat penjepit).
- c. Mengandung karbon 0.55% - 0.60% C digunakan untuk membuat pegas-pegas.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon ini mengandung karbon antara 0.70% - 1.30%, dan setiap 1 ton mengandung karbon antara 140 -260 pound. Baja karbon ini banyak dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang mengalami proses panas (*heat treatment*). Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon ini dapat digunakan untuk hal-hal sebagai berikut :

- a. Mengandung kira-kira 0.95% C digunakan untuk keperluan pembuatan pegas-pegas, alat-alat perkakas seperti : paron/landasan, palu/martil, gergaji dan alat-alat/pahat-pahat potong.
- b. Mengandung karbon 1% - 1.5% digunakan untuk keperluan pembuatan kikir, pisau-pisau cukur, mata-mata gergaji dan peluru-peluru untuk bantalan peluru.

2.2.10 Klasifikasi Baja

1. Menurut kekuatannya terdapat beberapa jenis baja, diantaranya : ST 37, ST 42, ST 50, dan seterusnya. Standart DIN (jerman) ST xx kekuatan dalam kg/mm. Contoh : ST 37: baja dengan kekuatan 37 kg/mm².
2. Menurut komposisinya ;
 - a. Baja karbon rendah : C<0,25%
 - b. Baja karbon menengah : C=0,25%-0,55%
 - c. Baja karbon tinggi : C>0,55%
 - d. Baja paduan rendah : unsur paduan <10%
 - e. Baja paduan tinggi : unsur paduan >10%

2.2.11 Baja ST 37

Baja ST 37 banyak digunakan untuk konstruksi umum karena mempunyai sifat mampu las dan kepekaan terhadap retak las. Baja ST 37 adalah baja yang mempunyai kekuatan tarik 37 kg/mm². Kekuatan tarik ini adalah maksimum kemampuan sebelum material mengalami patah. Kekuatan tarik yield merupakan titik awal dimana sifatnya mulai berubah dari elastis menjadi plastis. Baja ST 37 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon rendah, disebut juga baja lunak, banyak sekali digunakan untuk pembuatan baja batangan, tangki, perkapalan, jembatan, menara, pesawat angkat dan dalam permesinan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UNNES dengan jumlah spesimen keseluruhan 4 spesimen, spesimen pertama digunakan sebagai uji lebar *kerf* dan spesimen kedua digunakan sebagai uji struktur mikro dan uji kekerasan. Pengujian lebar *kerf* menggunakan *Taper Gauge*, pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik, dan pengujian kekerasan menggunakan uji *Vickers*. Variasi tekanan udara yang digunakan adalah 0.3 MPa, 0.5 MPa, dan 0.8 MPa. Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan data yang penulis dapat melalui penelitian ini, dapat di tarik kesimpulan bahwa ada pengaruh variasi tekanan udara terhadap struktur mikro. Struktur mikro yang dihasilkan pada tekanan udara 0.3 MPa memiliki struktur yaitu *ferrite*, *pearlite* dan *martensite*, struktur *pearlite* lebih terlihat hitam pekat dan lebih mendominasi, untuk tingkat kerapatannya cukup renggang. Kemudian untuk tekanan udara 0.5 MPa masih memiliki struktur yang sama namun ukurannya lebih kecil dan berbentuk seperti bulatan-bulatan dan tingkat kerapatannya cukup renggang.pada tekanan udara 0.8 memiliki struktur yang masih sama namun tingkat kerapatannya sangat rapat dibandingkan dengan tekanan udara yang sebelumnya, dan mempunyai bentuk yang cukup lebar. Masing-masing tekanan udara memiliki susunan dan ukuran struktur yang berbeda-beda. Hasil terbaik ada pada tekanan 0.8 MPa, dikarenakan susunan strukturnya yang sangat rapat.

2. Hasil variasi tekanan udara terhadap lebar *kerf* yaitu, pada tekanan udara 0.3 MPa menghasilkan lebar *kerf* 1.2 mm, kemudian pada tekanan udara 0.5 MPa menghasilkan lebar *kerf* 1.5 mm dan pada tekanan udara 0.8 MPa menghasilkan 1.3 mm. Berdasarkan hasil lebar *kerf* tersebut dapat kita simpulkan bahwa lebar *kerf* yang paling minimum pada tekanan udara 0.3 MPa, jadi untuk mendapatkan lebar *kerf* yang minimum pada pemotongan plat dengan tebal 1.3 mm harus menggunakan parameter yang pas, yaitu menggunakan tekanan udara 0.3 MPa, kuat arus 20 A, tinggi torch 0.1 mm dan *feed rate* 400 m/s.
3. Hasil variasi tekanan udara terhadap nilai kekerasan yaitu, adanya penurunan nilai kekerasan yang terjadi pada setiap tekanan udara dibandingkan dengan *raw material* untuk nilai kekerasan yang paling rendah adalah pada tekanan udara 0.3 MPa, yaitu 124.9 *HVN*, selanjutnya pada tekanan udara 0.5 MPa memiliki nilai kekerasan sebesar 147.1 *HVN*, lebih besar daripada tekanan udara 0.3 MPa, pada tekanan udara 0.8 memiliki nilai kekerasan 133.5 *HVN*, kekerasannya lebih kecil dibandingkan dengan tekanan 0.5 MPa.
4. Adanya perbedaan yang dihasilkan pada struktur mikro, terdapat perbedaan struktur mikro yang terbentuk. Perbedaan struktur mikro pada setiap spesimennya dapat diidentifikasi dari tingkat kerapatan susunan strukturnya. Spesimen dengan tekanan udara 0.8 MPa merupakan spesimen dengan tingkat kerapatan susunan struktur mikronnya yang paling rapat apabila dibandingkan dengan spesimen lainnya.

5. Adanya perbedaan pada hasil lebar *kerf*, yaitu pada spesimen 0.3 MPa vs 0.5 MPa, hal ini menunjukkan bahwa variasi tekanan udara memiliki pengaruh terhadap hasil lebar *kerf*.
6. Adanya perbedaan pada hasil nilai kekerasan, yaitu pada spesimen 0.3 MPa vs 0.5 MPa, hal ini menunjukkan bahwa variasi tekanan udara memiliki pengaruh terhadap hasil nilai kekerasan.

5.2 Saran

1. Untuk proses pemotongan plat dengan bahan baja karbon rendah dan tebal 1.3 mm gunakanlah parameter sebagai berikut ; tekanan udara 0.3 MPa, kuat arus 20 A tinggi *torch* 0.1 mm dan *feed rate* 400 m/s.
2. Plat yang akan di potong usahakan jangan bergelombang, karena akan mempersulit proses pemotongan.
3. Usahakan tekanan udara selalu konstan agar lebar *kerf* yang dihasilkan selalu sama, dari awal pemotongan sampai akhir pemotongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulnasser, B. dan Bhuvanesh, R. 2016. *Plasma Arc Cutting Optimization Parameters for Aluminium Alloy*. International Conference on Functional Materials and Metallurgy. pp. 1-7.
- Akhmad, A., A. 2009. *Pemesinan Nonkonvensional Plasma Arc Cutting*. Jurnal Rekayasa Mesin. 9(2) : 51-56.
- Amri, A. A. N. dan W. Sumbodo. 2018. *Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015*. Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin. 3(2): 110-115.
- Arifin, S. 1976. *Ilmu Logam*. Padang : Ghalia Indonesia.
- Cahyono, S. 2017. Rancang Bangun Meja Mesin Plasma Cutting Dengan Gerak 3 Axis X, Y, Z Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino. Tugas Akhir. TM 145502
- Chamarti, S. Reddy, N., S. Elipey, M., K. dan Reddy, D., V. 2013. *Investigation Analysis of Plasma Arc Cutting Parameters on the Unevenness Surface of HARdox-400 Material*. Procedia Engineering 64. pp. 854-861.
- Das, M., K. Kumar, K. Barman, T., Kr. dan Sahoo, P. 2014. *Optimization of Process Parameters in Plasma Arc Cutting of EN 31 Steel Based on MRR and Multiple Roughness Characteristic Using Grey Relational Analysis*. International Conference on Advance in Manufacturing and Materials Engineering. pp. 1550-1559.
- Dieter, G., E. 1966. *Metalurgi Teknik*. Edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Hamid, A. Novareza, O. dan Widodo, T., D. 2018. *Optimasi Proses Parameter Pemotongan Plasma Arc Cutting Pada Logam Aluminium Menggunakan Metode Taguchi*. Prosiding SNST ke-9. ISBN 978-602-99334-9-9.
- Jeffus, Larry. 2011. *Welding And Metal Fabrication*. 1nd ed. England: Cengage Learning.
- Lely Susita R.M., dkk. 1996 . *Karakterisasi Struktur Mikro Stainless-Steel Hasil Implant Asi Ion Nitrogen*. Yogyakarta : PPNY Batan.

- Pawar, S. S. dan K. H. Inamdar. 2017. *Experimental Analysis of Plasma Arc Cutting Process for SS 316L Plates*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). E-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X : 75-80.
- Permana, B. Badaruddin, M. dan Zulhanif. 2013. *Karakterisasi Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Carbon Rendah Untuk Cane Cutter Blade Pada PT Gunung Madu Plantation*. Jurnal FEMA. 1(2).
- Puspawan, A. 2014. *Analysis Of Compressor Isentropic Efficiency Type Sullair Screw Air Compressor In Factory Of Hot Strip Mill*. Jurnal Ilmiah Bidang Sains Teknologi Murni Disiplin dan Antar Disiplin. 2(14) : 1-57.
- Salonitis, K., dan Vatuosianos, S. 2012. *Experimental Investigation of the Plasma Arc Cutting Process*. 45th CIRP Conference on Manufacturing System. pp. 287-292.
- Samardzic. Stoic, A. Klaric, S. dan Pavic, J. 2005. *Possibilities Of Cost Effective Plasma Cutting Application*. 4th DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries. Salovonski Brod, Croatia.
- Santoso, E.B., Hidayat, R. dan Herrapstanti, E. H. 2018. *Pengaruh Kecepatan Sudut Potong Terhadap Material Hilang dan Kekerasan Daerah Plastisized Zone Pada Pemotongan Material SS400 Dengan Oxy Fuel Welding*. 10(1): 2085-8817.
- Sudjana. 2005. *Metoda Statistika*. Cetakan Ketujuh. Bandung: PT. Tarsito.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 3. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R & D*. Bandung : Alfabeta Bandung.
- Surdia, T., dan Chijiwa, K. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Cetakan Kedelapan. Jakarta : PT Pradnya Paramida.
- Surdia, T., dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan Kelima. Jakarta: PT Pradnya Paramida.

Wattimena, W.M.E., dan Louhenapessy, J. 2014. *Pengaruh Holding Time dan Quenching Terhadap Kekerasan Baja Karbon ST 37 Pada Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Batok Biji Pala*. Jurnal Teknologi. 11(1) : 1163-1171.