



**PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP LEBAR
PEMOTONGAN (*KERF WIDTH*) DAN KEKERASAN PADA
PEMOTONGAN BAJA KARBON DENGAN CNC *PLASMA*
*ARC CUTTING***

Skripsi

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

Oleh

Riska Surya Agnitas

NIM.5201415044

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

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Riska Surya Agnitias

NIM : 5201415044

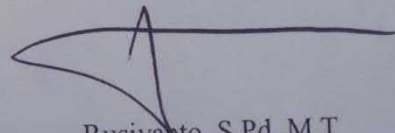
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Lebar Pemotongan (*Kerf Width*) dan Kekerasan Pada Pemotongan Baja Karbon dengan *CNC Plasma Arc Cutting*

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

Semarang, Juli 2019

Pembimbing,



Rusiyanto, S.Pd.,M.T

NIP. 197403211999031002

PENGESAHAN

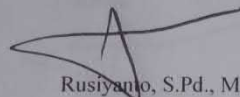
Skripsi/TA dengan judul Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Lebar Pemotongan (*Kerf Width*) dan Kekerasan Pada Pemotongan Baja Karbon dengan *CNC Plasma Arc Cutting* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 11 Juli 2019

Oleh

Nama : Riska Surya Agnitas
NIM : 5201415044
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

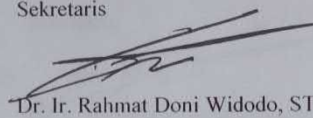
Panitia:

Ketua



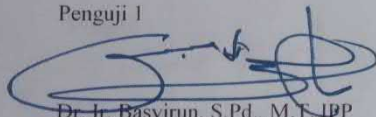
Rusiyanto, S.Pd., M.T
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



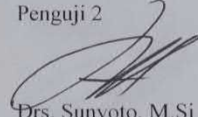
Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, ST, M.T. IPP.
NIP. 197509272006041002

Penguji 1



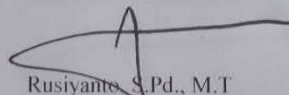
Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T. IPP
NIP.196809241994031002

Penguji 2



Drs. Sunyoto, M.Si
NIP.196511051991021001

Penguji 3 / Pembimbing



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

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP.196911301994031001

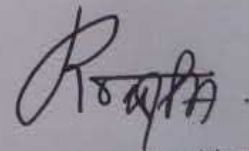
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan atau doktor), 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 arah 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 dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, seta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini

Semarang, Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Riska Surya Agnitas

NIM.5201415044

Motto

Setiap manusia pasti pernah mengalami kegagalan. Namun manusia yang baik tidak akan menyerah hanya karena sebuah kegagalan. Sebagai manusia kapasitas kita hanya berusaha, berdoa, dan berserah diri terhadap semua ketentuannya. Lakukan setiap pekerjaan di dunia sebaik yang kita mampu lakukan. Karena setiap yang kita kerjakan akan dimintai pertanggungjawaban.

Persembahan :

Skripsi ini ditujukan untuk seluruh keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan, serta untuk diri saya sendiri yang terus berjuang meski terkadang lelah menghadang dan keterbatasan menjadi penghalang...

ABSTRAK

Agnitias, Riska S, 2019. Pengaruh Variasi Kuat Arus terhadap Lebar Pemotongan (*Kerf Width*) dan Kekerasan Pada Pemotongan Baja Karbon dengan *CNC Plasma Arc Cutting*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Rusiyanto S.Pd, M.T.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar variasi kuat arus memberikan pengaruh terhadap lebar pemotongan dan kekerasan pada proses pemotongan baja karbon sedang dengan menggunakan *CNC Plasma Arc Cutting*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan tujuan untuk mengetahui hubungan sebab akibat dari perlakuan yang diberikan. Variasi kuat arus yang digunakan dalam proses pemotongan ini adalah 20 A, 25A, 30A, 35A, dan 40A. Pengujian yang dilakukan adalah kekerasan dan lebar pemotongan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis diskriptif dan regresi linier sederhana.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa terjadi perubahan lebar pemotongan dan kekerasan. Lebar pemotongan dan kekerasan terendah diperoleh pada penggunaan arus sebesar 20 A yaitu dengan lebar sebesar 1,64 mm dan kekerasan sebesar 707,4 HV. Lebar pemotongan dan kekerasan tertinggi diperoleh pada penggunaan arus sebesar 40A dengan lebar sebesar 2,58 mm dan kekerasan sebesar 857,7 HV. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi kuat arus pada proses pemotongan baja karbon sedang menggunakan *CNC Plasma Arc Cutting* memberi pengaruh sebesar 99,59% terhadap nilai lebar pemotongan dan sebesar 94,17% terhadap nilai kekerasan.

Kata Kunci : Baja Karbon Sedang, Variasi Kuat Arus, Kekerasan, Lebar Pemotongan (*Kerf Width*), *Plasma Arc Cutting*

Abstract

The purpose of this research is to know how many variation of current effects to wide cutting (Kerf Width) and hardness in carbon steel cutting process using CNC Plasma Arc Cutting.

This research uses experiment methods and simple linier regression to know the effect based on given treatment. The current variation in this test are 20 A, 25A, 30A, 35A, and 40A. Parameters that tested are wide cutting and hardness. The data from the test is analyzed with descriptive analitical technic and simple linier regression.

The result of the test shows that there are wide cutting and hardness. The lowest wide cutting and hardness are got at 20A current, wide cutting is 1,64 mm and hardness is 707,4 HV. The highest wide cutting and hardness are got at 40A current, wide current is 2,58 mm and hardness is 857,7 HV. The conclusion based on this research is variation of current in medium carbon steel cutting process using CNC Plasma Arc Cutting is gives effect 99,59% to wide cutting and 94,17% to hardness.

Keywords : Medium Carbon Steel, Current Variation, Hardness, Cut Width (Kerf Width), Plasma Arc Cutting

PRAKATA

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan judul **“PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP LEBAR PEMOTONGAN (*KERF WIDTH*) DAN KEKERASAN PADA PEMOTONGAN BAJA KARBON DENGAN *CNC PLASMA ARC CUTTING*”** dengan tepat waktu.

Selama penyusunan karya tulis ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik.
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin sekaligus sebagai Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan perkenaan memberi bimbingan serta arahan.
3. Dr. Ir.Basyirun, S.Pd., M.T., IPP, Sebagai Dosen Penguji pertama
4. Drs. Sunyoto, M.Si, sebagai Dosen Penguji kedua
5. Semua dosen Jurusan Teknik FT UNNES yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Proposal Skripsi ini dapat memberi manfaat dan membantu kelancaran penelitian yang akan dilaksanakan.

Semarang, 2019
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
MOTTO	v
ABSTRAK	vi
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	6
1.4 Rumusan Masalah.....	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka	10
2.2 Landasan Teori	16
2.2.1 Klasifikasi Cara pemotongan.....	16
2.2.2 Teori Plasma	17

2.2.2.1 PAC	18
2.2.2.2 Prinsip Pemotongan PAC	20
2.2.2.3 Mesin Potong Busur Plasma.....	22
2.2.2.4 <i>Torch</i> Plasma	24
2.2.2.5 Gas Plasma	32
2.2.2.6 Tekanan Gas	34
2.2.2.7 Kuat Arus.....	34
2.2.2.8 Kualitas Pemotongan PAC	35
2.2.3 Karakteristik Baja Karbon	39
2.2.3.1 Klasifikasi Baja	39
2.2.3.2 Pengaruh unsur Karbon terhadap Baja.....	41
2.2.3.3 Baja Campuran	42
2.2.4 Pengukuran <i>Kerf Width</i> atau Lebar Pemotongan	44
2.2.5 Uji Kekerasan	45
BAB III METODE PENELITIAN	48
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	48
3.2 Desain Penelitian	48
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	48
3.4 Parameter Penelitian	52
3.5 Teknik Pengumpulan Data	53
3.6 Teknik Analisis Data	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Deskripsi Data	58

4.1.1 Pengukuran Lebar Pemotongan (<i>kerf width</i>).....	58
4.1.2 Uji Kekerasan	60
4.2 Analisis Data.....	61
4.2.1 Pengaruh Arus pada Lebar Pemotongan (<i>kerf width</i>).....	61
4.2.2 Pengaruh Arus pada Nilai Kekerasan.....	62
4.3 Pembahasan	63
4.4 Keterbatasan Penelitian	66
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Simpulan.....	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pemotongan Panas	16
Tabel 2.2 Konstruksi Mesin Potong Busur Plasma.....	23
Tabel 2.3 Metode Pemotongan Busur Plasma	33
Tabel 2.4 Arus Pemotongan pada Baja Karbon	35
Tabel 2.5 Standar <i>kerf width</i>	45
Tabel 3.1 Kandungan Baja Karbon Sedang	52
Tabel 3.2 Hasil Pengukuran	56
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Lebar pemotongan (<i>kerf width</i>)	59
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan	60
Tabel 4.3 Perbandingan Kekerasan Baja Karbon Sedang.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tingkatan Fase Molekul Pada Air.....	17
Gambar 2.2	Ilustrasi Perbedaan Materi Antara Fase Gas dengan Fase Plasma untuk Gas Hidrogen.....	18
Gambar 2.3	Prinsip dasar Pemotongan dengan Plasma.....	22
Gambar 2.4	<i>Typical Manual Plasma Arc Cutting Setup</i>	22
Gambar 2.5	<i>Non Transferred Arc Torch</i>	24
Gambar 2.6	<i>Single Transfer Arc Torch</i>	25
Gambar 2.7	<i>Dual Flow Torch</i>	26
Gambar 2.8	<i>Water Injection Plasma Torch</i>	27
Gambar 2.9	<i>Air Injection Plasma Torch</i>	27
Gambar 2.10	<i>Oksigen Injection Plasma Torch</i>	28
Gambar 2.11	Bagian <i>Torch</i> Plasma.....	29
Gambar 2.12	<i>Swirl Ring</i>	29
Gambar 2.13	Elektroda.....	30
Gambar 2.14	<i>Nozzle Tip</i>	31
Gambar 2.15	<i>Retaining Cup</i>	31
Gambar 2.16	<i>Shield</i>	32
Gambar 2.17	Bentuk Elektroda dan Sistem Suplai Gas <i>Orifice</i>	37
Gambar 2.18	<i>Kerf</i>	36
Gambar 2.19	Kulitas Hasil Potong <i>Plasma Arc Cutting</i>	38
Gambar 2.20	<i>Input dan Output</i> Parameter.....	39
Gambar 2.21	Tipe Lekukan Piramid Intan.....	47
Gambar 3.1	Gambar Spesimen.....	52
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	54
Gambar 4.1	Grafik Nilai Lebar Pemotongan (<i>kerf width</i>).....	61
Gambar 4.2	Grafik Nilai Kekerasan.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk pemotongan sebuah material. Pertama yaitu menggunakan tenaga mekanis yaitu pengguntingan dan penggerajian, dan kedua adalah pemotongan dengan menggunakan sumber panas bertemperatur tinggi untuk pemotongan yaitu pemotongan dengan gas atau dengan menggunakan busur plasma (Sunaryo, 2008: 51).

Salah satu proses pemotongan logam yang memberikan efisiensi waktu dalam pengerjaan ialah proses pemotongan logam dengan menggunakan busur plasma atau *plasma arc cutting* karena pada proses pemotongan dengan menggunakan *plasma arc cutting* tidak dibutuhkan waktu pemanasan awal sehingga menjadikan proses pemotongan menjadi lebih cepat. Setiap pekerjaan memerlukan efisiensi dalam waktu, waktu merupakan hal yang diperhitungkan di dalam dunia kerja. Suwasono dalam Hamid *et al*, (2018: 13) menjelaskan bahwa “Kebutuhan jam orang (JO) untuk paket kerja masuk kedalam anggaran. Apabila suatu paket kerja tidak lengkap dan ketika anggaran telah habis, maka akan ada kecenderungan untuk meminjam jam orang dari suatu pekerjaan lain yang melebihi anggaran”. Dunia manajemen industri memerlukan adanya pemanfaatan waktu, waktu yang dimaksud adalah waktu dalam proses pengerjaan logam mentah menjadi barang jadi. Jika dalam proses ke proses kita dapat

meminimalisasikan dan memaksimalkan waktu dalam pengerjaan, maka produk yang akan dihasilkan akan sesuai target dan biaya produksi menjadi lebih murah.

Pemotongan busur plasma atau *plasma arc cutting* merupakan proses yang banyak digunakan untuk pemotongan logam seperti baja karbon, aluminium dan *stainless steel*. Proses pemotongan tersebut menggunakan gas yang terionisasi atau biasa disebut dengan plasma yang ditekan keluar dengan kecepatan tinggi menggunakan torch plasma (Singh, 2011). Plasma sendiri menurut Chen (dalam Nur, 2011: 17), merupakan daerah tumbukan elektron yang dapat terjadi secara signifikan. Plasma dapat terbentuk apabila temperatur suatu energi dinaikkan sehingga membuat atom gas terionisasi dan melepaskan elektron sehingga dalam keadaan normal mengelilingi inti.

Proses pemotongan busur plasma atau *plasma arc cutting* dapat digunakan untuk melakukan pemotongan logam yang memiliki konduktivitas listrik. Salah satu jenis material logam yang memiliki konduktivitas listrik ialah baja. Baja yang digunakan adalah jenis baja karbon sedang atau *medium carbon steel*. Menurut (Suarsana, 2017: 33) *medium carbon steel* memiliki kadar karbon 0.25 – 0.55 %. Baja jenis ini memiliki sifat lebih kuat dan keras serta mampu dikeraskan. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk perkakas yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Selain itu baja karbon sedang juga digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, dan lainnya.

Proses pemotongan diawali dengan terbentuknya busur api diantara elektroda dan benda kerja dari hasil reaksi ionisasi listrik terhadap gas potong. Gas tersebut dipanaskan oleh busur api sehingga suhunya meningkat dan

kemudian gas akan terionisasi menjadi penghantar listrik. Gas yang terionisasi dalam kondisi ini disebut plasma. Plasma dialirkan melalui *nozzle* untuk memotong benda kerja (Akhmad, 2009) .

Parameter yang mempengaruhi kualitas hasil pemotongan material dan waktu pengerjaan menggunakan busur plasma atau *plasma arc cutting* adalah: kecepatan pemotongan, kuat arus, ketinggian torch terhadap permukaan potong, tekanan gas dan aliran gas plasma (Salonitis & Vatousianos, 2012). Kualitas hasil pemotongan yang baik tidak hanya dipengaruhi oleh parameter yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh jenis bahan dan ketebalan bahan yang akan dipotong.

Salah satu parameter yang berpengaruh pada pemotongan dengan menggunakan *plasma arc cutting* adalah kuat arus. Kuat arus merupakan parameter yang secara langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam. Semakin tinggi kuat arus yang digunakan maka suhu pada busur plasma meningkat yang membuat proses pemotongan akan menjadi lebih cepat (Jeffus, 2012: 539). Energi panas yang sangat terfokus pada saat pemotongan logam dengan menggunakan *plasma arc cutting* dapat meningkatkan nilai dari lebar pemotongan (*kerf width*) dan terjadinya perubahan pada kekerasan material logam. Pengaruh lebar pemotongan (*kerf width*) dan kekerasan pada proses pemotongan dengan menggunakan *plasma arc cutting* memberikan kerugian karena, apabila lebar pemotongan terlalu besar maka material yang terbuang akan meningkat dan ketelitian ukuran hasil pemotongan menurun sehingga hasil pemotongan menjadi tidak sesuai dengan desain atau gambar. Sedangkan apabila terjadi perubahan kekerasan pada material hasil potong akan membutuhkan waktu

yang lama untuk dilakukan langkah kerja selanjutnya. Apabila salah satu proses produksi terhambat maka akan menyebabkan menurunnya hasil produksi yang akan menyebabkan kerugian. Oleh karena itu, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kuat arus menyebabkan perubahan pada kekerasan dan lebar pemotongan (*kerf width*) pada proses pemotongan dengan menggunakan *plasma arc cutting* maka dari itu penulis memilih judul “Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Lebar Pemotongan (*Kerf Width*) Dan Kekerasan Pada Pemotongan Baja Karbon Dengan CNC *Plasma Arc Cutting*”.

1.2 Identifikasi Masalah

Adanya permasalahan yang muncul dari kekerasan dan lebar pemotongan (*kerf width*) pada baja karbon sedang yang dipotong dengan menggunakan CNC *Plasma Arc Cutting* dipengaruhi oleh faktor – faktor yaitu:

- 1 Kecepatan pemotongan merupakan salah satu parameter yang dapat mempengaruhi kualitas hasil potong. Menurut (Illi *et al*, 2010) variabel yang mempengaruhi kekasaran permukaan ialah ketebalan material, kecepatan potong dan kuat arus.
- 2 Arus pada proses pemotongan logam menggunakan busur plasma merupakan parameter yang secara langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam. Semakin tinggi kuat arus maka proses pemotongan akan lebih cepat dan mampu untuk digunakan pada material yang tebal. Penggunaan arus memberikan pengaruh sebesar 85,03%

terhadap meningkatnya nilai MRR pada proses pemotongan dengan menggunakan *plasma arc cutting* (Patel & Vyas, 2017: 92)

- 3 Ketinggian *torch* pada pemotongan menggunakan *plasma arc cutting* mempengaruhi konisitas dan kekasaran permukaan potong. Semakin tinggi *torch* terhadap permukaan potong maka nyala gas plasma menjadi tidak silindris namun akan berbentuk seperti lilin yang terbalik (Salontis & Vatousianus, 2012: 290). Oleh karena itu untuk mendapatkan nyala gas plasma yang baik atur jarak *torch* terhadap permukaan potong.
- 4 Tekanan gas yang digunakan berpengaruh terhadap hasil pada permukaan potong suatu material. Aliran gas yang terlalu rendah akan menghasilkan potongan dengan lelehan (*dross*) yang berlebih dan sisi miring yang tajam. Aliran gas yang tinggi dapat menyebabkan hasil potongan yang terjadi buruk karena turbulensi aliran plasma dan gas buang. Mengatur tekanan merupakan salah satu cara untuk mengatur tekanan gas yang keluar.
- 5 Jenis gas yang digunakan, ada beberapa gas yang mampu digunakan sebagai pemotongan dengan busur plasma diantaranya: udara, oksigen, nitrogen, dan campuran argon-hidrogen. Pemilihan jenis gas yang digunakan tergantung pada jenis material yang akan dipotong.
- 6 Jenis dan ukuran *torch* yang digunakan. Ukuran *torch* berpengaruh pada nyala gas plasma dan kecepatan. Apabila *torch* yang digunakan semakin besar maka kecepatan plasma menjadi menurun.

1.3 Pembatasan Masalah

Banyaknya faktor yang mempengaruhi nilai lebar pemotongan (*kerf width*) dan kekerasan menggunakan busur plasma potong atau *Plasma Arc Cutting* maka peneliti membatasi masalah dengan:

1. Gas plasma yang digunakan adalah udara yang terkompresi
2. Mesin las plasma potong yang digunakan yaitu Redbo CUT-40 dengan kisaran arus maksimal 40A
3. Torch yang digunakan berjenis *transferred arc torch* dan aliran pada *torch* yaitu *turbulent mode*.
4. Variasi arus sebesar 20 A, 25 A, 30 A, 35 A, dan 40 A
5. Bahan yang digunakan adalah plat baja karbon sedang
6. Pengujian yang akan dilakukan yaitu uji lebar pemotongan (*Kerf Width*) dan kekerasan material pada hasil pemotongan menggunakan busur plasma potong atau *Plasma Arc Cutting*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah yang akan menjadi objek penelitian adalah:

1. Seberapa besar pengaruh variasi kuat arus terhadap lebar pemotongan pada material baja karbon sedang pada proses pemotongan dengan menggunakan *CNC plasma arc cutting*?
2. Seberapa besar variasi kuat arus yang diberikan dapat memberikan pengaruh terhadap kekerasan di daerah HAZ pada material baja karbon sedang setelah

dilakukan proses pemotongan dengan menggunakan CNC *plasma arc cutting*.

1.5 Tujuan

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah di atas adalah :

- 1 Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi kuat arus terhadap lebar pemotongan (*kerf width*) yang dihasilkan setelah dilakukan pemotongan menggunakan CNC *plasma arc cutting*.
- 2 Untuk mengetahui seberapa besar variasi kuat arus yang diberikan dapat memberikan pengaruh terhadap kekerasan di daerah HAZ pada material baja karbon sedang setelah dilakukan proses pemotongan dengan menggunakan CNC *plasma arc cutting*.

1.6 Manfaat

Setelah mengetahui adanya pengaruh variasi kuat arus terhadap lebar pemotongan (*kerf width*) dan kekerasan pada material baja karbon sedang dengan menggunakan *cnc plasma arc cutting* maka diperoleh manfaat yaitu:

- 1 Sebagai acuan dalam menentukan arus yang optimal dalam melakukan pemotongan dengan busur plasma atau *CNC plasma arc cutting* pada industri pengelasan agar mendapatkan lebar pemotongan yang terkecil sehingga ukuran hasil potong sesuai dengan desain gambar
- 2 Setelah mengetahui adanya perubahan kekerasan yang terjadi akibat pemotongan dengan menggunakan busur plasma potong maka penelitian ini

dapat dijadikan acuan dalam industri pengelasan untuk menentukan proses yang tepat pada material setelah dilakukan pemotongan.

- 3 Menjadi acuan bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya pada pengelasan menggunakan busur plasma atau *plasma arc cutting* dengan menggunakan *numerical control*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Setelah penulis membaca berbagai literatur, terdapat banyak penelitian mengenai proses pemotongan logam dengan menggunakan *plasma arc cutting*. Diantara banyak penelitian tersebut, terdapat beberapa penelitian yang sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian-penelitian yang dijadikan sebagai acuan penulis antara lain:

Agarwal and Ketulkumar R (2019) dengan penelitian yang berjudul “*Optimizing Plasma Arc Cutting Parameters for Structural Steel using Grey Relational Analysis*” penelitian ini menggunakan material baja IS 2062 E250 BR. Variabel bebas pada penelitian ini adalah: kuat arus, jarak torch, tekanan gas dan kecepatan. Variabel terikat yang diteliti adalah: MRR, *top and bottom kerf widths* dan *bevel angle*. Penelitian ini menggunakan metode Grey Relational Analysis untuk menemukan tingkat paling cocok untuk kombinasi pada variabel bebas. Relevansi penelitian ini dengan penelitian yang penulis lakukan adalah kuat arus sebagai variabel bebas dan *kerf width* sebagai variabel terikat serta penggunaan material baja karbon rendah dan mesin plasma cut 40. Kesimpulan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan nilai MRR, *top and bottom kerf widths* dan *bevel angle* yang rendah maka digunakan kecepatan dan kuat arus yang tinggi namun jarak dan tekanan yang digunakan sedang. Pembaharuan yang akan penulis

lakukan adalah penggunaan variasi arus yang digunakan dan penambahan pengujian kekerasan pada daerah HAZ.

Peko, *et al* (2018) dengan penelitian yang berjudul “*Modelling of Kerf Width in Plasma Jet Metal Cutting Process using ANN Approach*” dengan parameter yaitu ketinggian potong, kecepatan potong dan arus. sedangkan variabel yang diteliti adalah lebar pemotongan (*kerf width*). Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu *aluminium alloy*. Relevansi penelitian ini dengan penelitian penulis adalah variabel yang diteliti yaitu *kerf width*. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu nilai dari *kerf width* meningkat disebabkan oleh ketinggian potong, kecepatan potong, dan kuat arus.

Bhalodiya, *et al* (2016) dengan penelitian yang berjudul “*The Effects of Process Parameters of Plasma Arc Cutting on Cutting Quality of SS410*” dengan parameter arus, jarak torch, kecepatan potong dan tekanan gas sedangkan variabel yang diteliti yaitu *material removal rate*, *kerf width*, *bevel angle*, dan kelurusan material. Relevansi penelitian ini dengan penelitian penulis adalah penggunaan parameter arus dan variabel yang diteliti yaitu *kerf width*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebanyak 40% arus dan 48% kecepatan potong mempengaruhi nilai MRR atau *material removal rate*, pada *top kerf width* jarak torch memberi pengaruh sebanyak 25% kemudian diikuti oleh parameter lain, sedangkan pada *bottom kerf width* arus memberikan pengaruh sebanyak 49%. Kelurusan material dipengaruhi oleh kecepatan pemotongan yaitu sebanyak 51%.

Das, *et al* (2014) dengan penelitian yang berjudul “*Optimization of Process Parameters in Plasma Arc Cutting of EN 31 Steel Based on MRR and*

Multiple Roughness Characteristics Using Grey Relational Analysis". Relevansi penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan penulis adalah penggunaan variasi kuat arus sebagai variabel bebas dan pengukuran material yang terbuang sebagai variabel terikat. Menggunakan metode Taguchi OA dengan *grey relational analysis*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah hasil yang optimal didapatkan dari penggunaan tekanan gas yang sedang, arus yang tinggi, dan jarak torch yang tinggi. Pembaharuan penelitian yang dilakukan adalah perbedaan nilai kuat arus dan penambahan pengujian kekerasan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik pada material hasil potong.

Hamid (2014) dengan judul penelitian yaitu "*Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Gas Flow Rate terhadap lebar kerf pemotongan pada pemotongan aluminium 5083 dengan menggunakan Mesin Cutting Plasma*". relevansi penelitian ini dengan yang akan dilakukan adalah penggunaan variasi kuat arus sebagai variabel bebas dan pengukuran lebar pemotongan sebagai variabel terikat. pembaharuan yang akan dilakukan penulis adalah nilai kuat arus yang digunakan dan penambahan pengujian kekerasan. Kesimpulan dari penelitian ini diperoleh bahwa kuat arus pada pemotongan Aluminium 5083 memberi pengaruh terhadap lebar *kerf*. Angka lebar *kerf* terbesar diperoleh pada saat pemotongan dengan arus sebesar 80A dan pengaturan *gas flow rate* sebesar 10 L/menit. Sedangkan pada variasi kuat arus (50 A, 65A, dan 80A) dan pengaturan *gas flow rate* sebesar 14 L/menit memberikan angka lebar *kerf* tersempit.

Hamid, *et al* (2018), dengan penelitian yang berjudul "*Optimasi Proses Parameter Pemotongan Plasma Arc Cutting pada Logam Aluminium*

menggunakan Metode Taguchi” relevansi penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan penulis adalah penggunaan mesin CNC *plasma arc cutting*, penggunaan arus sebagai variabel bebas dan pengukuran lebar pemotongan sebagai variabel terikat. kesimpulan penelitian ini berdasarkan analisis Taguchi yang dilakukan, setiap variabel bebas memiliki urutan yang berbeda-beda. Pada kekasaran logam (SR), arus memberi pengaruh sebesar 93%, jarak pemotongan 6.01%, dan gas 0.9%. Selanjutnya pada lebar *kerf*, jarak pemotongan memberikan pengaruh sebesar 85% diikuti variabel lain. Pada *conicity* yang memberi pengaruh terbesar ialah jarak pemotongan dan diikuti oleh variabel yang lain. Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan penulis adalah penggunaan variasi kuat arus sebagai variabel bebas dan pengukuran lebar *kerf* sebagai variabel terikat. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu jenis mesin, material serta nilai kuat arus yang digunakan.

Lazarević (2014) dengan judul “*Experimental research of the plasma ARC cutting process*”. Persamaan dengan penelitian yang dilakukan adalah variabel terikat yang diteliti yaitu pengukuran lebar pemotongan (*kerf width*). Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan yaitu material, jenis mesin, variasi kuat arus. kesimpulan dari penelitian ini adalah lebar kerf (*kerf width*) dipengaruhi oleh kuat arus. Semakin kecil arus yang digunakan maka akan menghasilkan lebar pemotongan yang semakin sempit, begitu apabila kuat arus yang digunakan semakin besar maka akan terjadi peningkatan lebar pemotongan secara significant.

Ilii and Munteanu (2010) dengan judul "*Experimental Results Concerning the Variation of Surface Roughness Parameter (Ra) at Plasma Arc Cutting of a Stainless Steel Workpiece*" penelitian ini menggunakan mesin CNC plasma potong. Material yang digunakan adalah *stainless steel* jenis AISI 304. Variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan potong, arus, dan ketebalan material. Variabel terikat dari penelitian ini adalah kekasaran permukaan yang di ukur dengan *profilometer* HandySury E-35A/B. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan aplikasi perhitungan secara matematika yaitu ketebalan material merupakan variabel yang paling mempengaruhi terhadap kekasaran permukaan, diikuti oleh kecepatan potong dan terakhir arus.

Masoudi, *et al* (2018) dengan penelitian yang berjudul "*Development of an intelligent model to optimize heat-affected zone, kerf, and roughness in 309 stainless steel plasma cutting by using experimental results*". Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan adalah menggunakan gas oksigen untuk menghasilkan plasma, pengukuran *kerf width*. Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan yaitu jenis mesin, jenis bahan, variasi kuat arus. Hasil yang diperoleh setelah melakukan penelitian adalah arus merupakan variabel yang sangat peka. Arus memberi pengaruh besar terhadap *kerf width*, kekasaran, dan intensitas HAZ. Meningkatnya arus menyebabkan nilai dari ke-3 parameter keluaran meningkat. Dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai ketebalan HAZ dan *kerf width* yang kecil maka digunakan kecepatan potong dan tekanan gas yang tinggi namun arus rendah.

Nedic, *et al* (2013) dengan penelitian yang berjudul “*Quality of Plasma Cutting*”. Variabel penelitian yang digunakan adalah kecepatan potong dan intensitas arus. Material yang digunakan adalah plat baja S235 dengan ketebalan 15 mm dan arus yang digunakan adalah 60 A, 80 A, dan 120 A. Parameter keluaran yang diteliti yaitu kekasaran, *kerf width*, dan material yang meleleh dibawah potongan. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa arus rendah menghasilkan kualitas potong yang buruk karena material yang meleleh mengumpul di bawah potongan. Oleh karena itu dibutuhkan perlakuan tambahan untuk mendapatkan hasil pemotongan yang baik maka kecepatan potong ditingkatkan sebesar 20% dari nilai tabel kecepatan dengan menggunakan nilai arus yang rendah. Persamaan penelitian ini dengan penelitian penulis adalah penggunaan variasi arus sebagai variabel bebas dan pengukuran lebar pemotongan (*kerf width*) yang dihasilkan sebagai variabel terikat. Sedangkan perbedaan dengan penelitian penulis yaitu jenis mesin yang digunakan, nilai arus yang digunakan, tebal material serta penambahan uji kekerasan yang dilakukan .

Patel & Vyas (2017) dengan judul “*Parametric Investigation of Plasma Arc Cutting on Aluminium Alloy 6082*” bahwa aluminium alloy 6082 dengan ketebalan 5 mm dapat terpotong menggunakan arus diantara 30A-40A. Parameter yang digunakan adalah arus, jarak torch dengan permukaan, dan kecepatan yang kemudian diikuti oleh besar tekanan gas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah MRR (*Material Removal Rate*), *Kerf width*, dan sudut pemotongan (*bevel angle*). Parameter yang paling mempengaruhi hasil penelitian tersebut ialah ampere. Persentase kontribusi adalah kuat arus, jarak pemotongan, tekanan gas dan

kecepatan. Semakin besar arus maka MRR, *Kerf width*, dan sudut pemotongan (*bevel angle*) akan menjadi lebih besar.

Salonitis and Vatousianos (2012) dengan penelitian yang berjudul “*Experimental Investigation of the Plasma Arc Cutting Process*”. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong CNC plasma (KF 2512- HPR 260) dengan *torch* ganda. Material yang digunakan adalah plat baja ringan dengan tebal 15 mm, panjang 150 mm, dan lebar 50 mm. Variabel bebas yang digunakan yaitu kecepatan potong, arus, ketinggian potong, dan tekanan gas. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk meneliti variabel yang ditentukan. Variabel terikat dari penelitian ini adalah *kerf taper angle* atau sudut lancip pemotongan, kekasaran, dan HAZ. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu *kerf taper angle* atau sudut lancip pemotongan dan kekasaran dipengaruhi oleh ketinggian potong sedangkan HAZ dipengaruhi oleh arus. Persamaan dengan penelitian penulis yaitu penggunaan arus sebagai variabel bebas dan pengukuran lebar pemotongan sebagai variabel terikat. Sedangkan perbedaan dengan penelitian penulis yaitu jenis mesin yang digunakan, tebal material, dan metode penelitian yang digunakan serta penambahan uji kekerasan pada material hasil potong agar penelitian yang dilakukan terjadi pengembangan

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Klasifikasi Cara Pemotongan

Pemotongan logam dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu cara pertama dengan tenaga mekanis yaitu menggunakan gergaji, gerinda ataupun

gunting. Cara kedua dengan menggunakan sumber panas bertemperatur tinggi yaitu menggunakan gas atau dengan menggunakan busur plasma. Sumber energi panas yang digunakan sebagai proses pemotongan termal termasuk kedalam reaksi oksidasi, energi listrik, dan energi sinar (Sunaryo, 2008: 51).

Setiap proses pemotongan menggunakan energi panas memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Pada tabel 2.1 akan dijelaskan kekurangan dan kelebihan dari proses pemotongan dengan menggunakan busur plasma dan pemotongan dengan menggunakan gas.

Tabel 2.1 Perbandingan Proses Pemotongan Panas

Karakteristik	<i>Plasma Arc Cutting</i>	<i>Oxy Fuel</i>
Material	Logam yang memiliki sifat konduktif	Terbatas pada pemotongan logam
Pemanas awal	Tidak dibutuhkan	Dibutuhkan
Produktivitas	<ul style="list-style-type: none"> - Karena dibutuhkan pemanasan awal maka waktu pemotongan menjadi lebih cepat - Pemotongan cepat pada material tipis - Lebar pemotongan kecil dan perlu dilakukan pembersihan pasca pemotongan 	Mudah dibawa dan biaya pengoperasian lebih murah
Kegunaan	<ul style="list-style-type: none"> - Mampu memotong dengan kombinasi material yang berbeda - Tidak diperlukannya tabung gas tambahan 	Dapat digunakan sebagai pengelasan, mematri, dan pemanasan logam
Keselamatan	<ul style="list-style-type: none"> - Proses elektrik dapat menyebabkan resiko tersengat listrik - Perlu menggunakan pakaian yang sesuai dengan standar keselamatan 	<ul style="list-style-type: none"> - Karena menggunakan tabung gas, sehingga beresiko meledaknya tabung gas - Perlu digunakan pakaian yang sesuai dengan standar keselamatan

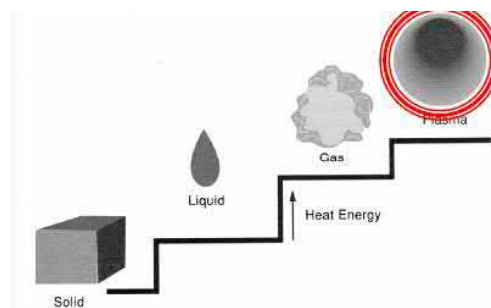
Sumber: *Plasma 40 Operating Manual*

2.2.2 Teori Plasma

Menurut (Nur, 2011) Konsep tentang plasma pertama kali dikemukakan oleh Langmuir dan Tonks pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik, jadi plasma dapat juga didefinisikan sebagai percampuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif.

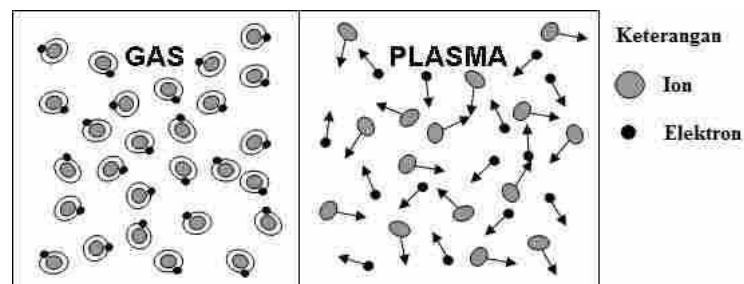
Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan ion-ion yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut dengan fase plasma. Secara sederhana maka plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai bentuk materi fase zat ke-4 setelah fase padat, fase cair, dan fase gas.

Penambahan energi pada fase gas akan membuat zat tersebut mengalami proses ionisasi, yaitu terjadinya ion dan elektron bebas melalui atom gas. Apabila keadaan ini terjadi maka fase zat tersebut telah berubah menjadi plasma. Plasma memiliki konduktivitas yang sangat tinggi terhadap listrik karena banyak elektron bebas yang tersebar dan berpotensi menyerap arus listrik.



Gambar 2.1 Tingkatan Fase Molekul Pada Air
Sumber : (Akhmad, 2009: 52)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan proses terbentuknya plasma dari perubahan melalui urutan padat, cair, gas, dan akhirnya plasma. Gambar 2.1 menunjukkan apabila es (merupakan materi fase padat) mendapat energi, maka ia akan mencair pada suhu diatas 0°C menjadi air. Jika diberikan energi, setelah melewati suhu 100°C akan menjadi uap air dengan molekul H_2O . Pemberian energi secara terus-menerus pada uap air akan memecahkan molekul air menjadi H_2 dan O_2 dan akhirnya molekul tersebut akan terionisasi menjadi ion-ion positif dan elektron yang dalam keadaan tertentu terjadi keseimbangan antara ion dan elektron, keadaan ini disebut dengan plasma.



Gambar 2.2 Ilustrasi Perbedaan Materi Antara Fase Gas Dengan Fase Plasma Untuk Gas Hidrogen
Sumber : (Nur, 2011: 17)

2.2.2.1 PAC (*Plasma Arc Cutting*)

PAC (Plasma Arc Cutting) atau pemotongan dengan menggunakan busur plasma merupakan jenis pengelasan potong yang digunakan untuk melakukan pemotongan pada baja atau logam menggunakan *torch* plasma. Gas disemprotkan keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi dan pada waktu yang bersamaan busur listrik dibentuk melalui gas dari *nozzle* ke permukaan potong, pada proses tersebut sebagian gas diubah menjadi plasma. Plasma cukup panas

untuk melelehkan logam yang akan dipotong dan gas yang disemprotkan dari *nozzle* memiliki kecepatan yang tinggi sehingga membuat logam yang telah mencair terpisah dari material.

Plasma merupakan daerah reaksi tumbukan elektron yang sangat signifikan untuk terjadi. Plasma dapat terjadi ketika temperatur atau energi suatu gas dinaikkan sehingga memungkinkan atom-atom gas terionisasi akan membuat gas tersebut melepaskan elektron-elektronnya yang pada keadaan normal mengelilingi inti.

Pemotongan dengan *oxy-fuel* adalah proses memotong dengan cara membakar atau mengoksidasi logam hingga terpotong. Proses pemotongan ini terbatas untuk pemotongan logam besi yang menunjang proses oksidasi. Logam seperti aluminium dan baja tahan karat membentuk oksida yang menghambat proses oksidasi lebih lanjut menjadikan pemotongan dengan *oxy-fuel* konvensional tidak mungkin dilakukan. Proses pemotongan dengan plasma tidak bergantung pada oksidasi untuk melakukan pemotongan dan dapat digunakan untuk memotong aluminium, stainless, dan banyak material konduktif lainnya. Jenis gas yang berbeda dapat digunakan untuk memotong dengan plasma, salah satunya adalah dengan mengkompresi udara untuk menjadi plasma.

Pemotongan dengan busur plasma lebih mudah dipelajari dan pada bahan yang tipis pemotongan dengan busur plasma lebih cepat daripada pemotongan dengan *oxy-fuel*. Namun, untuk pemotongan baja dengan tebal 1 inch atau lebih, akan lebih cepat apabila menggunakan pemotongan dengan *oxy-fuel*.

Untuk memotong baja tebal dengan menggunakan busur plasma dapat juga dilakukan namun dibutuhkan daya yang lebih besar. Menurut (Akhmad: 2009) Aliran pada torch mesin busur plasma dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. *Turbulent Mode*

Jenis operasi pengerjaan ini digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang tinggi dan mempunyai ukuran yang pendek. Selain itu, nyala api yang dihasilkan pada operasi jenis ini mempunyai temperatur yang lebih dingin pada daerah luar *nozzel*. Penggunaan operasi *Turbulent Mode* sering dipakai dalam proses pemotongan, pengelasan, dan proses penyemprotan.

2. *Laminar Mode*

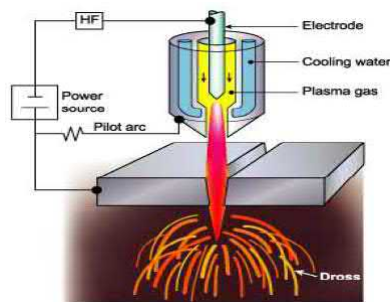
Jenis operasi pengerjaan dengan *Laminar Mode* digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang rendah dan mempunyai ukuran yang panjang. Untuk mendapatkan nyala api yang besar, gas yang memiliki laju aliran rendah dipertahankan didalam suatu *nozzel* yang panjang agar mendapatkan nyala api yang laminar. Operasi pengerjaan jenis ini digunakan pada pengerjaan material yang diinginkan terjadinya percikan dari lelehan logam yang menetes. Penggunaan operasi pengerjaan laminar memiliki kecepatan nyala api sekitar 50 m/s dan panjang nyala api sekitar 900 mm.

2.2.2.2 Prinsip Pemotongan *Plasma Arc Cutting*

Prinsip pemotongan busur plasma atau *Plasma arc cutting* yaitu ketika temperatur gas naik, atom-atom di dalam gas terionisasi oleh aktivitas panas

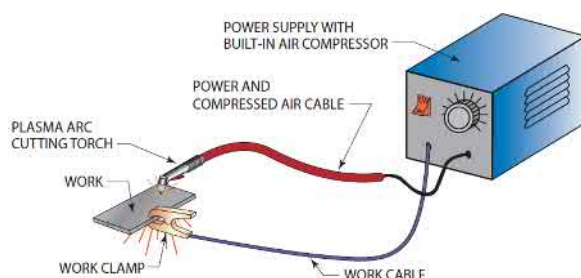
dan dipisah menjadi elektron bermuatan negatif (-) dan ion bermuatan positif (+) dan masuk dalam kondisi gerak aktif. Kondisi ini disebut sebagai plasma. Plasma secara elektrik berada dalam kondisi netral. Jadi semakin tinggi temperatur, gerakan termal atom-atom tersebut menjadi semakin aktif, sehingga memudahkan arus mengalir dan temperatur gas menjadi lebih tinggi disebabkan oleh kenaikan energi.

Bila udara dalam kondisi plasma ini disuplai energi listrik untuk membentuk sebuah kolom busur dan daerah disekitarnya didinginkan, arus tidak bisa mengalir dengan mudah pada lingkungan/kondisi dingin disebabkan oleh naiknya tahanan listrik, sehingga arus terkonsentrasi ke daerah busur di pusat nyala api, ini menaikkan temperatur daerah tersebut. Kolom busur nyala pada bagian pusat/sumbunya terjadi lebih sempit oleh efek jepitan panas (*thermal pinch effect*) membentuk sebuah busur plasma dengan temperatur setinggi 2000° - 3000° C. Ketika busur plasma menyempit pada *nozzle*, busur plasma tersebut menjadi panas dan sempit. Karena bagian panas dan sempit dari busur tersebut dapat melelehkan benda kerja dengan sangat mudah, busur plasma dapat digunakan untuk memotong. Benda kerja dilelehkan dengan menggunakan energi dari busur plasma dan daerah yang meleleh dihembus oleh aliran gas plasma berkecepatan tinggi untuk melengkapi proses pemotongan. Busur plasma potong (*Plasma arc cutting*) mampu memotong material baja karbon rendah atau baja lunak ataupun material non besi seperti aluminium (campuran).



Gambar 2.3 Prinsip dasar Pemotongan dengan Plasma
Sumber : (Akhmad, 2009: 53)

Proses pemotongan busur plasma baik secara manual ataupun dengan menggunakan mesin dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk untuk memotong tumpukan material, pemotongan bentuk, pemotongan miring, *gouging*, dan memotong dengan banyak posisi.



Gambar 2.4 *Typical Manual Plasma Arc Cutting Setup*
Sumber: (Jeffus: 2012)

2.2.2.3 Mesin Potong Busur Plasma

Pemotongan dengan plasma biasa dilakukan secara manual, namun pada umumnya pemotongan ini dilakukan pada sebuah mesin otomatis yang dikombinasikan dengan peralatan *Numeric Control* (NC), dengan pertimbangan peningkatan kualitas pada permukaan potong serta efisiensi operasional. Sumber tenaga DC yang mempunyai penurunan atau karakteristik arus rendah digunakan sebagai pemasok tenaga. Tegangan tanpa beban 200-

400 V disyaratkan untuk merubah gas *orifice* (mulut lubang) menjadi gas plasma yang digunakan untuk operasi pemotongan. Tegangan (*Voltage*) dalam kondisi terbeban adalah sekitar 100-180 V.

Tabel 2.2 Konstruksi mesin potong busur plasma

Komponen Sistem	Fungsi
Sumber tenaga DC	Merubah arus AC menjadi arus DC. Dioda silikon umumnya digunakan dalam bentuk kombinasi dengan sistem kontrol pembalik pada peralatan penyearah, meskipun <i>thyristor</i> digunakan dalam bentuk kombinasi dengan sistem kontrol arus ketika arus menjadi besar
Pengionisasi frekuensi tinggi	Menimbulkan plasma. Mampu menimbulkan beberapa ribu volt frekuensi tinggi
Alat penyuplai gas	Memberikan gas yang digunakan untuk pemotongan busur plasma. Umumnya menggunakan gas Ar, N ₂ , H ₂ , O ₂ atau udara
Alat pendingin	Memberikan air pendingin untuk melindungi <i>torch</i> plasma dari panasnya plasma
<i>Torch</i> plasma	Menimbulkan busur plasma di antara material yang akan di potong
Alat pengontrol	Menimbulkan busur untuk pemotongan busur plasma dan untuk mengontrol gas dan air untuk pendinginan

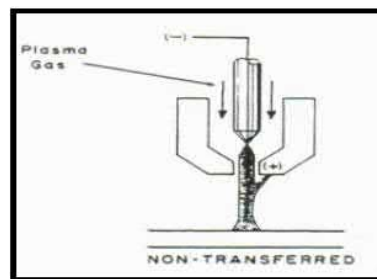
Sumber : (Sunaryo, 2008: 60)

Pilot arc terbentuk diantara elektroda dan tip pada *torch* plasma saat proses pembentukan busur plasma dimulai. Tip dihubungkan ke ground pada rangkaian resistor untuk membatasi arus yang melewati *torch* plasma. Salah satu cara dengan menghubungkan generator dengan frekuensi tinggi ke elektroda dan tip. *Power supply* berguna untuk mempertahankan agar arus yang masuk kedalam *torch* rendah.

2.2.2.4 Torch Plasma

Torch merupakan wadah dimana terjadinya proses ionisasi gas primer oleh elektroda yang akan di alirkan melalui *nozzle*. Ada dua jenis torch yang digunakan dalam penggunaan busur plasma yaitu :

1. *Nontransferred Arc Torch*



Gambar 2.5 *Non-Transferred Arc Torch*

Sumber: (Akhmad, 2009: 53)

Pada *nontransferred arc torch* (Gambar 2.5) kutub negatif (-) pada *arc torch* terletak pada *tungsten electrode*, sedangkan kutub positif (+) terletak pada *torch body*. *Non-Transferred Arc Torch* memiliki beberapa macam yaitu:

a. *Turbulent Mode Flame Torch*

Jenis *torch* ini memiliki nyala api dengan kecepatan tinggi dan mempunyai panjang nyala api sekitar 15 cm. *Turbulent mode flame torch* menggunakan elektroda dengan diameter kecil dan *nozzle* yang memiliki panjang lubang 25 mm. Diameter *orifice* pada *torch* jenis ini dapat diubah-ubah. Penggunaan jenis *torch* ini biasanya pada pengerjaan semprot (*spraying*), pengerjaan insulator dan sintesis kimia.

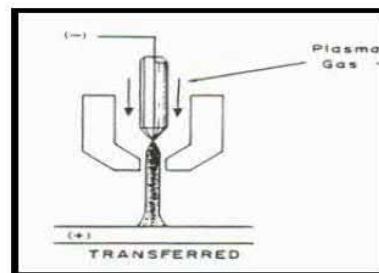
b. *Laminor Mode Flame Torch*

Torch jenis ini memiliki nyala api dengan kecepatan rendah dan memiliki panjang nyala api sekitar 1 m. *Laminor mode flame torch* menggunakan elektroda dengan diameter kecil dan *nozzle* yang memiliki panjang lubang lebih dari 125 mm. Nyala api yang dihasilkan dengan jenis *torch* ini digunakan untuk proses *spherodizing* dan proses peleburan keramik.

c. *High Power Torch*

Jenis *torch* ini dirancang untuk busur dengan temperatur tinggi dan dioperasikan dengan arus listrik yang sangat tinggi (lebih dari 2000A). Untuk mencegah terjadinya pengikisan elektroda, pada *nozzle torch* digunakan bahan magnetik yang bersifat mengikat medan listrik.

2. *Transferred Arc Torch*



Gambar 2.6 *Single Transfer Arc Torch*

Sumber: (Akhmad, 2009: 54)

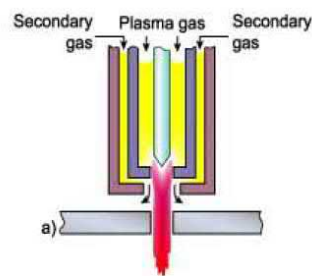
Transfer Arc Torch (Gambar 2.6) menunjukkan kutub (-) berada pada elektroda, sedangkan kutub positif (+) berada pada benda kerja. Jenis *torch* ini memiliki beberapa macam, yaitu:

a. *Single Flow Torch*

Jenis *torch* ini sering digunakan pada operasi pengerjaan logam. Mode ini memiliki elektroda dengan bentuk piringan yang *ditaper* pada bagian sisinya. Panjang lubang dalam *nozzle* dijaga seminimal mungkin (3-5 mm). *Single flow torch* sering digunakan untuk pengerjaan pemotongan baja dengan berbagai tipe, aluminium dan berbagai jenis tembaga.

b. *Dual Flow Torch*

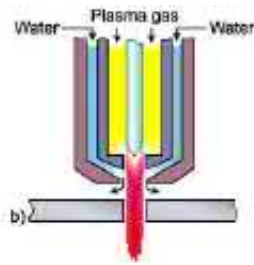
Jenis *torch* ini terdapat adanya penambahan aliran gas yang mengitari busur utama untuk melindungi benda kerja (Gambar 2.7). Pada pemotongan baja karbon aliran gas tambahannya menggunakan oksigen. Pemotongan dengan plasma oksigen mempunyai kecepatan potong yang sangat tinggi.



Gambar 2.7 *Dual Flow Torch*
Sumber: (Akhmad, 2009: 54)

c. *Water Injection Plasma Torch*

Jenis *torch* ini menggunakan air sebagai pelindung plasma. Bagian dari *water injection Plasma Torch* ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.

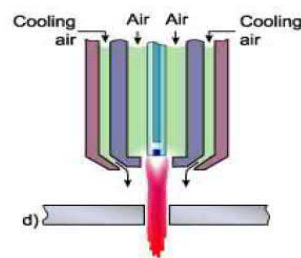


Gambar 2.8 *Water Injection Plasma Torch*

Sumber: (Akhmad, 2009: 54)

d. *Air Injection Plasma Torch*

Plasma pembentukan dari jenis gas argon atau nitrogen dapat diganti menggunakan udara, akan tetapi perlu digunakan elektroda khusus dari *hafnium zirconium* atau tembaga yang terpasang didudukan. Harga elektroda *hafnium zirconium* sangat mahal, oleh karena itu penggunaan elektroda ini dapat diganti dengan elektroda tungsten

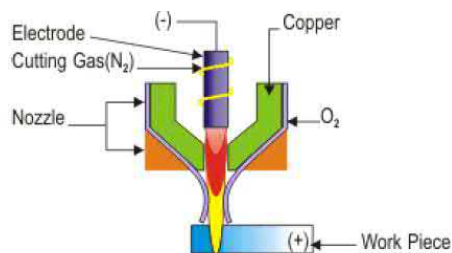


Gambar 2.9 *Air Injection Plasma Torch*

Sumber: (Akhmad, 2009: 54)

e. *Oksigen Injection Plasma Torch*

Jenis *torch* ini menggunakan elektroda jenis *zirconium*. Pada *torch* ini menggunakan oksigen sebagai plasmanya.



Gambar 2.10 *Oksigen Injection Plasma Torch*

Sumber: (Akhmad, 2009: 54)

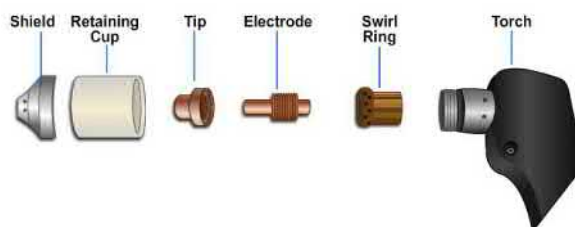
f. *Welding Torch*

Jenis *torch* ini dioperasikan untuk mendapat aliran turbulen yang minimal dan kecepatan rendah agar logam cair/logam las tidak terlempar keluar. Elektroda yang digunakan biasanya lebih kecil dari elektroda pada *plasma cutting*. Ukuran *nozzle* yang digunakan memiliki ukuran yang lebih besar dari yang digunakan pada *plasma cutting*. Agar mendapat hasil yang lebih baik digunakan rangkaian *torch* dengan aliran *torch* laminar.

g. *Micro Torch atau Needle Torch*

Jenis *torch* ini hampir sama dengan nyala pada *welding torch*, yang membedakannya adalah daya yang digunakan pada *torch* ini sangat kecil (sekitar 1 KW). *Micro torch* atau *needle torch* digunakan pada pengelasan atau pemotongan lembaran logam yang tipis. *Torch* ini dapat dioperasikan dengan rangkaian *transferred type* atau *non-transferred type torch*.

Torch plasma memiliki beberapa bagian. Setiap bagian pada torch plasma memiliki kegunaan yang berbeda. Berikut adalah bagian – bagian pada *torch* plasma :



Gambar 2.11 Bagian *Torch Plasma*
 Sumber: (NAVEDTRA 14250A)

a. *Swirl Ring*

Swirl ring terbuat dari plastik bertemperatur tinggi, dirancang dengan lubang pada sisi *swirl ring* untuk memutar gas plasma pada proses pemotongan. Gas di dalam *swirl ring* memusatkan busur plasma pada elektroda dan membantu mengontrol dan menyempitkan busur saat melawati tip. Beberapa peralatan yang digunakan pada proses pemotongan dengan menggunakan plasma memutar gas dengan searah jarum jam. Periksa manual dari pabrikan, arah aliran gas akan menunjukkan sisi mana dari potongan yang akan miring.



Gambar 2.12 *Swirl ring*
 Sumber: (NAVEDTRA 14250A)

b. Elektroda

Elektroda merupakan bagian yang menghubungkan listrik dari sumber daya yang kemudian dirubah dan dihasilkan busur pemotongan. Elektroda biasanya terbuat dari tembaga dengan sisipan terbuat dari hafnium. Elektroda paduan hafnium lebih baik digunakan dengan udara terkompresi bersih atau kering atau nitrogen, meskipun konsumsi elektroda mungkin lebih besar apabila digunakan dengan plasma udara daripada dengan nitrogen.



Gambar 2.13 Elektroda
Sumber: (NAVEDTRA 14250A)

c. *Nozzle Tip*

Ujung *nozzle* memiliki lubang kecil yang berbentuk kerucut di tengahnya. Jarak antara ujung elektroda dan *nozzle tip* merupakan tempat dimana arus listrik merubah gas menjadi plasma. Tujuan dari penggunaan tip pada *torch* adalah untuk menyempitkan busur plasma. Penyempitan busur plasma dapat meningkatkan masa jenis energi dan kecepatan. Tip terbuat dari tembaga dengan ukuran lubang khusus atau lubang tip berada di tengah tip. Ukuran tip berdasarkan nilai arus listrik pada masing-masing torch.



Gambar 2.14 Tip
Sumber: (Jeffus: 2012)

d. *Retaining cup*

Retaining cup mempunyai dua fungsi. Pertama adalah untuk memegang bagian torch yang mampu habis dengan kuat ditempatnya. Kedua melindungi dan membuat bagian-bagian bahan habis pakai lainnya melakukan kontak dengan benda kerja.



Gambar 2.15 *Retaining cup*
Sumber: (NAVEDTRA 14250A)

e. *Shields*

Ada dua jenis shield (pelindung) yang digunakan pada *torch* plasma yaitu *drag shield* dan *deflector shield*. *Drag shield* bertujuan untuk melindungi bagian depan *torch* plasma dari benda kerja dan melindungi tip *torch* dari percikan api. *Deflector shield* berfungsi untuk melindungi elektroda dari percikan api pada saat proses pemotongan.



Gambar 2.16 *Shield*

Sumber: (NAVEDTRA 14250A)

2.2.2.5 Gas Plasma

Untuk mempermudah penyiapan busur plasma dan menaikkan efek panas (*thermal*), gas yang akan digunakan harus memiliki kemampuan pendinginan yang tinggi. Gas yang dapat digunakan antara lain argon, helium, udara atau oksigen dan nitrogen. Gas yang akan digunakan sebagai pemotongan harus dipilih dan disesuaikan dengan jenis material yang akan digunakan.

Pemotongan material baja karbon lebih disarankan untuk menggunakan udara yang terkompresi karena lebih mudah dan lebih murah. Setiap penggunaan gas plasma memiliki kekurangan dan kelebihan yang berbeda, yang akan di uraikan pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.3 Metode pemotongan busur plasma

Material induk yang dapat digunakan	Tipe gas plasma				
	Plasma oksigen	Plasma udara	Plasma nitrogen	Plasma argon hidrogen	Plasma injeksi air
Baja lunak	● Permukaan yang baik, bebas dari material yang terbuang dapat tercapai	O Keadaan bebas dari material yang terbuang dapat tercapai tetapi terjadi lapisan nitrida	X Material yang terbuang masih menempel, terjadi lapisan nitrida	X Material yang terbuang masih menempel	● Permukaan yang baik, bebas dari material yang terbuang dapat tercapai (bila digunakan oksigen)
Baja tahan karat	Δ Bebas dari material yang terbuang, tetapi permukaan kasar	Δ Bebas dari material yang terbuang, tetapi permukaan kasar	O Bebas dari material yang terbuang, permukaan halus, tetapi hitam karena lapisan nitrida	● Kualitas bagus, menunjukkan logam murni	● Kualitas permukaan bagus, tidak terjadi perubahan warna (bila digunakan nitrogen)
Aluminium	Δ Bebas dari material yang terbuang, tetapi permukaan kasar	Δ Bebas dari material yang terbuang tetapi permukaan sedikit kasar	Δ Bebas dari material yang terbuang tetapi permukaan sedikit kasar	● Kualitas bagus, menunjukkan logam murni	● Kualitas bagus, menunjukkan permukaan logam murni (bila digunakan nitrogen)

Sumber: (Sunaryo: 2008: 64)

Dengan keterangan :

- = Sangat baik x = Kurang baik
 O = Baik Δ = Buruk

2.2.2.6 Tekanan Gas

Kebanyakan mesin *plasma arc cutting* menggunakan udara yang terkompresi untuk membentuk plasma dan melakukan pemotongan. Udara yang terkompresi harus bersih dan kering maka dari itu digunakanlah filter pengering untuk mencegah udara yang masuk torch plasma tercampur dengan minyak, debu atau kelembaban. Campuran udara yang terbawa masuk kedalam torch dapat menyebabkan lengkungan antara elektroda dan nozel. Udara yang terkompresi dapat disediakan dari mesin kompresor yang ada diluar mesin plasma atau mesin kompresor bawaan dari mesin plasma.

Proses pemotongan menggunakan *plasma arc cutting* perlu memperhatikan tekanan gas yang keluar dan ketebalan material yang dilakukan pemotongan. Tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan meningkatnya lelehan dan sisi yang tajam pada hasil potongan, namun tekanan gas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan hasil potongan yang buruk karena turbulensi aliran plasma yang besar dan gas buang.

2.2.2.7 Kuat Arus

Kuat arus merupakan parameter yang secara langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam. Semakin tinggi nilai kuat arus yang diberikan, maka daya plasma akan menjadi lebih besar sehingga nyala plasma juga menjadai semakin besar pula. Pengaturan nilai arus bergantung pada ketebalan material yang akan dilakukan pemotongan. Semakin tebal material yang akan dilakukan maka penggunaan arus juga semakin besar.

Tabel 2.4 Arus Pemotongan pada Baja Karbon

<i>Arc Current</i> (A)	<i>Material Thickness</i>		<i>Maximum cut speeds</i>
	inch	mm	mm/min
20 - 25	1/32	0,5	1620
		0,8	1270
	1/16	1,3	792
		1,5	447
30 - 40	3/32	2,4	1625
	1/8	3,2	486
	3/16	4,7	246
	1/4	6,4	185

Sumber: *Plasma 40 Operating Manual*

2.2.2.8 Kualitas Pemotongan *Plasma Arc Cutting*

Kualitas pemotongan yang baik akan mengurangi waktu dan usaha yang dibutuhkan untuk membersihkan material yang telah di potong sebelum dilakukan proses pemesinan selanjutnya. Apabila material tersebut akan dilakukan proses pengelasan maka hasil pemotongan yang bersih penting untuk menghasilkan las yang baik. Terdapat beberapa faktor penentu kualitas hasil potong, diantaranya:

a. *Kerf*

Kerf merupakan celah yang dihasilkan dari sebuah proses pemotongan atau jumlah material yang terbuang pada proses pemotongan. *Kerf* memberikan pengaruh terhadap tingkat ketelitian ukuran pada hasil potong. Lebar dari pemotongan pada *plasma arc cutting* sering kali lebih lebar daripada pemotongan dengan menggunakan *oxyfuel cut*. Terdapat

beberapa faktor yang dapat menyebabkan lebar pemotongan (*kerf width*).

Beberapa faktor tersebut diantaranya :

- Jarak pemotongan : semakin dekat jarak *tip* terhadap benda kerja, maka lebar pemotongan atau *kerf width* akan semakin kecil.
- Diameter tip : semakin besar lubang pada torch maka lebar pemotongan akan semakin besar.
- Pengaturan arus : semakin besar arus yang digunakan maka akan menghasilkan daya yang semakin besar pula, sehingga menyebabkan meningkatnya lebar pemotongan (*kerf width*).
- Gas : jenis gas atau campuran gas akan memberikan pengaruh terhadap lebar pemotongan (*kerf width*) karena perubahan gas mempengaruhi kecepatan plasma, daya, konsentrasi aliran plasma dan faktor lainnya.
- Kecepatan pemotongan : semakin cepat suatu pemotongan maka lebar pemotongan (*kerf width*) akan semakin kecil, namun sudut kemiringan pada sisi hasil potong dan dross akan meningkat apabila kecepatan yang digunakan berlebihan



Gambar 2.18 *Kerf*
Sumber: (Jeffus, 2012: 550)

b. *Bevel Angle*

Plasma gas dapat memotong logam, dengan cara gerakan berputar-putar. Efek dari putaran busur plasma menghasilkan banyak energi pada salah satu sisi potong daripada sisi lainnya. *Bevel angle* menyebabkan kemiringan sisi pada pemotongan lurus (biasanya 4-6°). Arah *torch* dan putaran gas menentukan sisi mana yang lurus dan sisi mana yang akan miring.

c. *Drag Line*

Drag lines (kekasaran) merupakan alur yang terjadi pada permukaan hasil potong. Kecepatan potong dan pengaturan arus memiliki peran penting terhadap wujud dari *drag lines*.

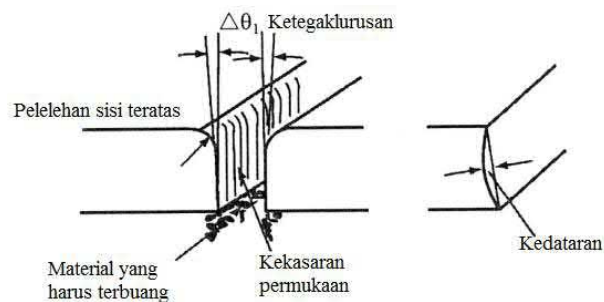
d. *Top Edge Rounding*

Top edge rounding atau kedataran permukaan pada tepi atas permukaan potong. Hal ini disebabkan oleh busur plasma memiliki suhu yang lebih panas pada bagian atas permukaan potong daripada bagian bawah. Biasanya terjadi pada pemotongan dengan menggunakan plasma potong. Faktor yang mempengaruhi terbentuknya *top edge rounding* adalah ketebalan material dan semakin terlihat jelas pada logam yang lebih tebal.

e. *Dross*

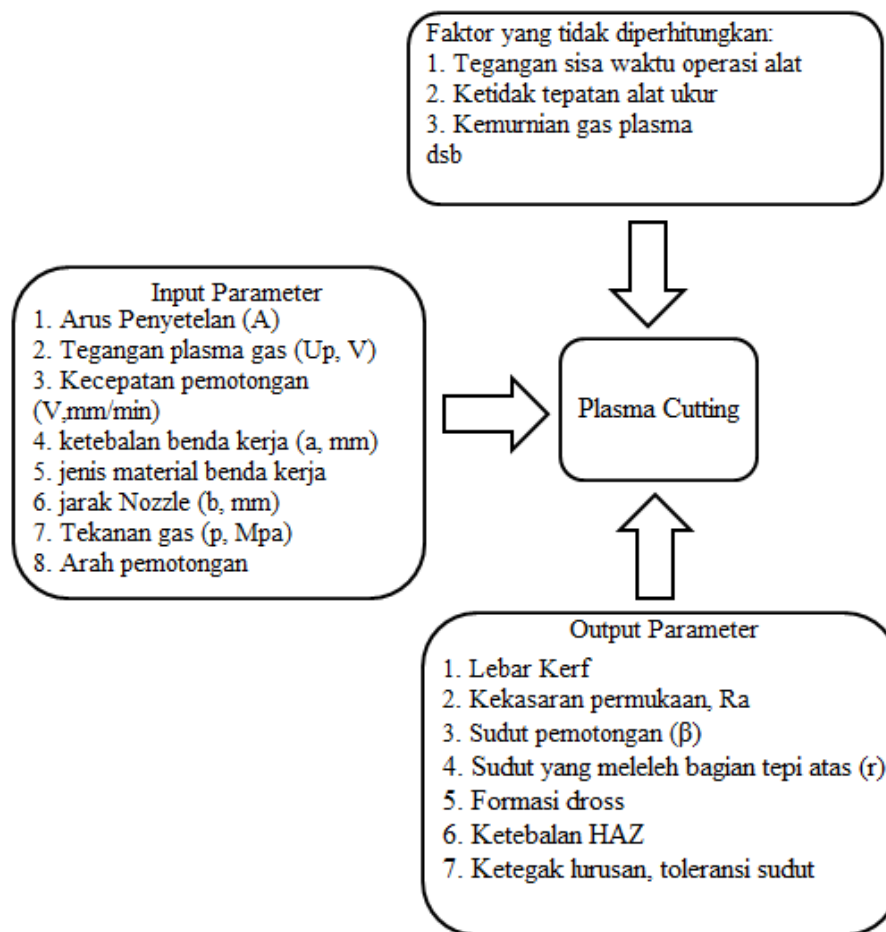
Dross adalah lelehan material yang teroksidasi kembali yang tidak sepenuhnya dapat di keluarkan dari *kerf* selama proses pemotongan. *Dross* dapat terakumulasi di bagian bawah plat dan membentuk seperti gelembung yang berukuran kecil, dan keras dari material yang belum terpotong (*dross* berkecepatan tinggi). Faktor yang mempengaruhi *dross*

adalah jenis material, ketebalan material, komposisi kimia material yang digunakan, kondisi permukaan, kerataan, dan perubahan suhu material yang di potong. Namun, faktor penting yang mempengaruhi *dross* adalah kecepatan potong, arus, dan jarak *torch*.



Gambar 2.19 Kualitas Hasil Potong Plasma Arc Cutting
Sumber: Sunaryo, (2008: 65)

Untuk memperoleh output parameter sesuai dengan standar maka diperlukan pengaturan input parameter yang sesuai dengan keperluan pemotongan. Parameter yang memberikan pengaruh terhadap hasil pemotongan adalah, kuat arus (*Ampere*), tekanan gas (*gas pressure*), jenis *nozzle*, kecepatan pemotongan (*feed rate*) dsb (Hamid *et al*, 2018: 14).



Gambar 2.20 *Input dan Output Parameter*

Sumber: (Hamid *et al*, 2018: 14)

2.2.3 Karakteristik Baja Karbon

2.2.3.1 Klasifikasi Baja

Baja merupakan jenis paduan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Baja dijual dalam berbagai bentuk seperti: plat baja, baja-baja strip, dan baja-baja batang/profil. Penggunaan baja sangat luas untuk itu berdasarkan keperluan masing-masing, baja diklasifikasikan menurut beberapa cara antara lain:

1. Menurut cara pembuatannya: baja *Bessemer*, baja *Siemens-Martin* (*Open herath*), baja listrik, dan lainnya.

2. Menurut penggunaannya: baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja perkakas, dan lainnya.
3. Menurut kekuatannya: baja kekuatan lunak, baja kekuatan tinggi
4. Menurut strukturmikronya: baja *eutektoid*, baja *hypoeutektoid*, baja *hypereutektoid*, baja *austenitik*, baja *ferritik*, baja *martensitik*, dan lainnya.
5. Menurut komposisi kimianya: baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lainnya.

Klasifikasi baja yang sering digunakan tidak hanya berpegang pada salah satu cara melainkan gabungan dari beberapa cara di atas. Untuk mempermudah dalam proses mempelajarinya maka baja diklasifikasikan menurut komposisi kimia dan/atau struktur mikronya. Menurut komposisi kimia, baja dibagi menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan.

Baja karbon merupakan jenis baja yang mengandung unsur karbon dalam jumlah tertentu di dalamnya. Pada baja karbon terdapat unsur lain selain besi dan karbon namun dalam batas-batas tertentu dan tidak memberikan banyak pengaruh terhadap sifatnya. Unsur ini merupakan ikutan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja seperti: mangan dan silikon serta unsur pengotoran seperti: belerang (S), fosfor (P), oksigen (O), nitrogen (N), dan unsur lainnya yang biasanya ditekan hingga kadar yang sangat kecil. Baja dengan kandungan unsur mangan (Mn) kurang dari 0.8%, silikon (Si) kurang dari 0.5%, dan unsur lain dengan kadar yang sedikit dapat dianggap sebagai baja karbon. Penambahan unsur mangan (Mn) dan silikon (Si) dalam proses pembuatan baja

sengaja dilakukan sebagai *deoxidiser* untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran.

Low carbon steel atau baja karbon rendah memiliki kadar karbon sampai 0.2 %. Penggunaan baja karbon rendah sangat luas, diantaranya: sebagai baja konstruksi umum, baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa, dan lain-lain. Baja jenis ini memiliki kekuatan relatif rendah, lunak, namun keuletannya liuggi, mudah dibentuk dan dimachining. Baja jenis ini tidak dapat dikeraskan.

Medium carbon steel atau baja karbon sedang memiliki kadar karbon sebesar 0.25 % - 0.55 % C. Baja jenis ini memiliki sifat lebih kuat dan keras, dan mampu dikeraskan. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk perkakas yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Selain itu baja karbon sedang juga digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, dan lainnya.

High carbon steel atau baja karbon tinggi mengandung unsur karbon lebih dari 0.55 %. Baja jenis ini lebih kuat dan lebih keras dari jenis baja karbon lainnya. Namun memiliki ketangguhan dan keuletan yang rendah. Penggunaan baja karbon tinggi banyak digunakan pada perkakas yang memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, hamer, tap, dan perkakas tangan lainnya.

2.2.3.2 Pengaruh Unsur Karbon terhadap Baja

Kandungan unsur-unsur pada logam baja akan memberikan pengaruh pada sifat keuletan dan kekerasan. Unsur yang digunakan untuk baja antara

lain, nikel, *phospor*, silikon, mangan, kromium, *molybdenum*, vanadium, *wolfram*, belerang, dan karbon.

Unsur karbon yang terkandung pada baja merupakan unsur utama yang terdapat dalam besi sehingga disebut dengan baja. Unsur karbon dapat membuat baja menjadi keras namun rapuh. Sifat keras dan lunak untuk baja tergantung pada presentase kandungan karbon. Semakin tinggi komposisinya maka akan semakin kuat dan rapuh, dan semakin rendah komposisinya maka baja akan semakin lunak dan elastis.

2.2.3.3 Baja Campuran (*Alloy steel*)

Baja campuran merupakan penambahan unsur-unsur lain di dalam baja karbon yang akan memberikan pengaruh terhadap sifat-sifat kekerasan, ketahanan (elastis) keadaan pembekuan dan komposisi kimia daripada baja karbon, sehingga membuat baja karbon menjadi berkualitas tinggi. Penambahan unsur pada baja dapat dilakukan dengan satu unsur atau lebih tergantung dari karakteristik atau sifat-sifat baja karbon yang akan dibuat. Unsur yang ditambahkan adalah nikel, krom, mangan, silikon, tungsten, vanadium, *molyden*, *cobalt*. Penambahan unsur tersebut membuat sifat-sifat dan karakteristik baja karbon sebagai berikut:

1. Baja Nikel

Penambahan unsur Nikel (Ni) pada baja karbon akan membuat sifat baja karbon menjadi liat dan kuat serta mampu mencegah baja karbon dari karat (tahan karat).

2. Baja Krom

Penambahan unsur krom pada baja karbon akan menjadikan sifat baja karbon bertambah liat, keras, dan tahan aus. Penambahan unsur krom digunakan pada pembuatan peralatan seperti roda gigi, dan poros. Seringkali ditambahkan unsur nikel sehingga menjadi baja krom nikel yang memiliki kekuatan yang sangat baik dan tahan terhadap karat.

3. Baja Mangan

Penambahan unsur mangan terhadap baja karbon membuat hasil pekerjaan menjadi lebih baik (bersih) dan juga menambah kekuatan dan ketahanan panas dari baja karbon.

4. Baja Tungsten

Penambahan unsur tungsten pada baja karbon yang apabila ditambahkan dengan unsur krom, vanadium, *molybdenum* atau mangan untuk dijadikan baja potong cepat (H.S.S) yang dipergunakan sebagai pahat potong atau (*cutting tools*). Baja tungsten mampu tahan terhadap panas yang tinggi pada saat digunakan untuk memotong.

5. Baja Silikon

Penambahan unsur silikon pada baja karbon membuat sifat baja karbon menjadi lebih elastis dan sangat baik digunakan untuk membuat pegas.

6. Baja *Molybdeen*

Penambahan unsur *molybdeen* membuat baja menjadi liat dan menambah kekuatan baja. Salah satu campuran baja potong cepat

(H.S.S) terbuat dari baja molybdeen, sehingga membuat baja tetap liat pada temperatur tinggi.

7. Baja Vanadium

Penambahan vanadium pada baja karbon akan memperbaiki butir-butir baja atau susunan butir-butir baja menjadi lebih halus. Apabila dicampur dengan krom membuat baja krom-vanadium menjadi baja yang lebih kuat dan lebih tahan akan keausan. Roda-roda gigi dan batang penggerak sangat baik apabila dibuat dari baja krom-vanadium.

8. Baja *Cobalt*

Dengan penambahan unsur kobalt akan membuat sifat baja menjadi keras, tahan terhadap panas, dan tahan keausan. Baja *cobalt* sangat banyak digunakan untuk konstruksi pesawat terbang atau konstruksi yang tahan panas.

2.2.4 ***Kerf Width* atau Lebar Pemotongan**

Pengukuran lebar pemotongan atau (*kerf width*) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui lebar hasil pemotongan yang dilakukan menggunakan *plasma arc cutting* yang dioperasikan dengan bantuan *numerical control* atau program numerik agar mendapatkan ukuran hasil pemotongan yang sesuai dengan gambar atau desain. *Kerf* merupakan lebar yang dihasilkan dari proses pemotongan atau jumlah material yang terbuang pada setiap proses pemotongan. Setiap proses pemotongan menghasilkan *kerf*.

Untuk mengetahui nilai dari *kerf* dapat menggunakan mistar, *vernier caliper*, mikrometer sekrup, *filler gauge*, *welding tapper gauge* atau foto mikro. Tabel 2.5 merupakan standar *kerf width* untuk beberapa ketebalan material.

Tabel 2.5 Standar *Kerf Width*

<i>Plate Thickness</i>		<i>Kerf Allowance</i>	
In	Mm	in	mm
1/8 to 1	3,2 to 25,4	+3/32	+2,4
1 to 2	25,4 to 51	+3/16	+4,8
2 to 5	51,0 to 127,0	+5/16	+8

Sumber: (Jeffus, 2012: 543)

2.2.5 Uji Kekerasan

Pada umumnya kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Kekerasan juga dapat diartikan sebagai ukuran ketahanan terhadap lekukan. Terdapat beberapa cara untuk melakukan pengujian kekerasan diantaranya adalah uji kekerasan Vickers.

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan Brinell. Karena berbentuk piramid, maka pengujian ini sering disebut denham uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan pada piramida intan (DPH), atau angka

kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. DPH dapat ditentukan dari persamaan berikut:

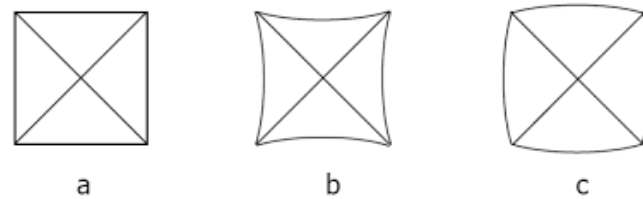
$$HV = \frac{2p \sin(\frac{\theta}{2})}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad (1)$$

Dimana P = beban yang diterapkan, kg

L = panjang diagonal rata-rata, mm

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Uji kekerasan Vickers sudah banyak digunakan dalam penelitian dikarenakan metode ini memberikan hasil berupa skala kekerasan kontinu untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni memiliki nilai DPH sebesar 5, hingga logam yang sangat keras bernilai DPH 1500. Jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode vickers adalah: (1) Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban, (2) Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan (3) Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.



Gambar 2.21 Tipe lekukan piramid intan. (a) Lekukan sempurna; lekukan bantal jarum (*pin cushion*), disebabkan oleh penurunan; (c) lekukan berbentuk tong, disebabkan oleh penimbunan ke atas.

Sumber: (Dieter, 1996: 335)

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penekan piramida intan harus berbentuk bujur sangkar (gambar a). Lekukan bantal jarum atau *pin cushion* (gambar b) adalah akibat terjadinya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terjadi pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong (gambar c) akibat penimbunan ke atas logam-logam di sekitar permukaan penekan terdapat pada logam-logam yang mengalami proses pengerjaan dingin.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada pengaruh variasi arus terhadap lebar pemotongan (*kerf width*) dan kekerasan material baja karbon sedang dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh variasi arus terhadap nilai dari lebar pemotongan (*kerf width*) sebesar 99,59 %. Nilai lebar pemotongan terendah didapatkan pada penggunaan arus 20 A dengan nilai lebar pemotongan 1,64 mm dan nilai lebar terbesar didapatkan pada penggunaan arus 40 A dengan nilai lebar pemotongan sebesar 2,58 mm. Dapat disimpulkan apabila arus dalam pemotongan menggunakan *cnc plasma arc cutting* yang digunakan semakin tinggi maka menghasilkan nilai lebar pemotongan (*kerf width*) yang semakin besar.
2. Terdapat pengaruh variasi arus terhadap nilai kekerasan di daerah HAZ terhadap material baja karbon sedang. Berdasarkan data nilai kekerasan pada daerah HAZ menggunakan arus yang telah ditentukan, dapat disimpulkan bahwa arus memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan sebesar 94,17 %. Nilai kekerasan material sebelum dilakukan pemotongan yaitu sebesar 232,9 HV namun setelah dilakukan pemotongan terjadi perubahan nilai kekerasan. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada penggunaan arus 20 A yaitu sebesar 707,4 HV dan nilai kekerasan tertinggi pada arus 40 A dengan nilai kekerasan sebesar 857,7 HV.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya sebaiknya memperhatikan beberapa saran berikut ini:

1. Berdasarkan simpulan maka untuk mendapatkan lebar pemotongan yang kecil dan kekerasan yang rendah, industri pengelasan potong dengan *CNC plasma arc cutting* dapat menggunakan arus pemotongan sebesar 20 A.
2. Karena desain *bed machine* yang sulit digunakan pada material dengan ukuran kecil maka penelitian selanjutnya dapat melakukan perubahan terhadap desain *bed machine* agar dapat digunakan untuk memotong benda dengan dimensi yang kecil.
3. Penelitian selanjutnya dapat memvariasikan kemiringan torch terhadap lebar hasil pemotongan dengan menggunakan *cnc plasma arc cutting*.
4. Penelitian selanjutnya dapat memvariasikan material yang akan dilakukan pemotongan dengan menggunakan *cnc plasma arc cutting* untuk mengetahui kualitas hasil pemotongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, Al Antoni. (2009). “Pemesinan non konvensional plasma arc cutting”. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), 51–56.
- Agarwal, P. H., & Ketulkumar, R Patel (2019). “Optimizing Plasma Arc Cutting Parameters for Structural Steel using Grey Relational Analysis”. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)* Vol: 8(1), 27–30.
- Bhalodiya, Maulik K., Vijay F Pipalia, & Akash B, Pandey. (2016). “The Effects of Process Parameters of Plasma Arc Cutting on Cutting Quality of SS410”. *International Journal for Scientific Research and Development*, Vol 4(1), 257–259.
- BOC Limited. 2014. *Smoothcut Plasma 40 Operating Manual*. Australia: BOC Limited
- Çelik, Yahya Hisman. 2013. “Investigating the Effects of Cutting Parameters on Materials Cut in CNC plasma”. *Materials and Manufacturing Process*, Vol 28: 1053-1060
- CSFE Nonresident Training Course, “*Plasma Arc Cutting Operations (NAVEDTRA 14250A)*”, Naval Education and Training Professional Development and Technology Center, pp.7-9 and 7-10
- Das, Milan Kumar., Kaushik Kumar., Tapan Kr. Barman., & Prasanta Sahoo. (2014). Optimization of Process Parameters in Plasma Arc Cutting of EN 31 Steel Based on MRR and Multiple Roughness Characteristics Using Grey Relational Analysis. *Procedia Materials Science* Vol. 5: 1550-1559.
- Dieter, George E., Sriati Djaprie. 1996. *Metalurgi Mekanik jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Hamid, Abdul. 2014. “*Variasi Kuat Arus dan Gas Flow Rate terhadap Lebar Kerf pada Pemotongan Aluminium 5083 Menggunakan Cutting Plasma*”. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Malang.
- Hamid, Abdul. Oyong Novareza. Teguh Dwi W. 2018. “Optimasi Proses Parameter Pemotongan Plasma Arc Cutting pada Logam Aluminium Menggunakan Metode Taguchi” *Prosiding SNST 9*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim. Semarang. 13-18

- Ilii, Sanda Maria., Margareta Coteata dan Adriana Munteanu. (2010). "Experimental Results Concerning The Variation Of Surface Roughness Parameter (Ra) At Plasma Arc Cutting Of A Stainless Steel Workpiece". *International Jurnal of Modern Manufacture Technologies* Vol. II(1): 31-36.
- Jeffus, Lary. 2012. *Welding Principles and Applications 7th ed.* US: Cengage Learning.
- Lazarević, Andela. (2014). "Experimental research of the plasma ARC cutting process". *Journal of Applied Engineering Science*, 12(4), 291–296.
- Masoudi, S., *et al.* (2018). "Development of an intelligent model to optimize heat-affected zone, kerf, and roughness in 309 stainless steel plasma cutting by using experimental results". *Materials and Manufacturing Processes*. <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1532579>
- Nedic, Bogdan., Marko Janković., Miroslav Radovanovic., Gordana G Lakic. (2013). *Quality of Plasma Cutting*. International Conference on Tribology. <https://www.researchgate.net/publication/291135790>. 13 September 2018 (04:48)
- Nur, Muhammad. 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Undip Press
- Patel, Sagar B., & Tejas K Vyas. (2017). "Parametric Investigation of Plasma Arc Cutting on Aluminium Alloy 6082". *International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering (ICIIME)* Vol. 5 (6) : 87–93.
- Peko, Ivan., Bogdan Nedic., Aleksandar Dordevic & Ivica Veza. 2018. "Modelling of Kerf Width in Plasma Jet Metal Cutting Process using ANN Approach" *Tehnicki vjesnik* Vol. 25(2) : 401-406. <https://doi.org/10.17559/TV-20161024093323>
- Salonitis, K., & Vatousianos, S. (2012). "Experimental investigation of the plasma arc cutting process". *Procedia CIRP* Vol. 3(1) : 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.050>
- Singh, Vivek. 2011. "Analysis of Process Parameters of Plasma Arc Cutting using Design of Experiment". *Departemen of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Rourkela*. Thesis.
- Suarsana. 2017. *Diktat Ilmu Material Teknik*. Denpasar: Universitas Udayana.

Sunaryo, Heri. 2008. *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.