

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Pramono (1998), dalam penelitiannya yaitu untuk mengetahui pengaruh besar arus listrik dan kecepatan pemotongan terhadap lebar *kerf* pada *plasma arc cutting*. Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*). Dari hasil penelitian ini besar arus listrik dan kecepatan pemotongan berpengaruh terhadap lebar *kerf*.

Prihartono (1997), dalam penelitiannya yaitu untuk mengetahui pengaruh besar arus listrik, kecepatan pemotongan dan tekanan gas nitrogen terhadap ketegaklurusan pada sisi hasil potong pada proses pemotongan pelat baja dengan menggunakan *plasma arc cutting*. Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*). Dari hasil penelitian ini besar arus listrik, kecepatan pemotongan dan tekanan gas nitrogen berpengaruh terhadap ketegaklurusan pada sisi hasil potong.

#### 2.2 Busur Plasma

Busur plasma dikembangkan pertama kali pada tahun 1960. Pada masa itu biasanya digunakan untuk memotong stainless steel dan aluminium. Pada tahun-tahun selanjutnya teknologi busur plasma mengalami perkembangan sampai ditemukannya *Water-Injection Plasma Arc Cutting* pada tahun 1970. Pada prinsipnya *Water-Injection Plasma Arc Cutting* ini berbeda dengan metode konvensional. Perbedaannya terletak pada sistem injeksi air pada proses *Water-injection* yang tidak terdapat pada metode konvensional. Penyemprotan air secara radial disekeliling busur plasma ini berfungsi sebagai pemipih dari *torch*, sebagai media pendingin, dan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya oksidasi pada hasil potong.

Keunggulan dari *Water-Injection Plasma Arc Cutting* adalah ketelitian pengerjaan tinggi, hasil potong yang halus, pembentukan *dross* yang dapat diminimalisir, meningkatkan waktu pakai dari nosel karena menggunakan *water-injection*, hanya menggunakan satu jenis gas yaitu nitrogen untuk seluruh metal yang akan dipotong. Pada awal penggunaan dari busur plasma, peralatan yang

digunakan mempunyai kesamaan dengan pengelasan busur tungsten. Perbedaannya pada penggunaan elektrode yang hanya digunakan sebagai penyalaan dan adanya *orifice* pada nosel. Sebagai tambahan seperti halnya peralatan pengelasan busur gas tungsten, pemotong busur plasma penyalannya memerlukan alat pemantik busur untuk permulaan penyalaan busur.

Dalam perkembangan penggunaannya, busur plasma digunakan antara lain untuk pengerjaan semprot (*spraying*), pengerjaan permukaan (*surfacing*), dan pengelasan (*welding*) pada logam seperti baja karbon, aluminium, *stainless steel*, titanium, dan sebagainya.

### 2.2.1 Definisi Plasma

Yang dimaksud plasma adalah gas yang dipanaskan sampai sebagian dari gas tersebut terionisasi dan dapat menghantarkan arus listrik (*Boulus, Fauchais, and Pfender, Plenum Press "thermal plasmas: Fundamentals and Applications," New York (1994)*). Pada saat busur dibangkitkan gas dalam saluran yang mengalir mengitari elektroda, beberapa dari molekul gas dalam saluran berubah menjadi terionisasi. Aliran gas yang terionisasi atau busur plasma ini terdiri dari atom-atom atau molekul netral. Konduktifitas elektrik dari busur plasma bervariasi sesuai dengan derajat ionisasinya.

Plasma terjadi selama busur dibangkitkan. Di alam sekitar kita juga sering menjumpai terbentuknya plasma, yaitu ketika udara terionisasi oleh ledakan petir. Fenomena ini sama seperti penggunaan plasma pada busur pengelasan, busur sinar karbon, dan busur nyala api dapur. Pada saat ini pengertian busur plasma (*plasma arc*) diasosiasikan dengan proses yang menggunakan *constricted arc* (pemusatan busur). Pemusatan busur dihasilkan dengan cara melewati busur dengan nosel kecil dari elektroda ke benda kerja sehingga timbul kekuatan yang lebih besar.

Pada mulanya ionisasi terjadi pada penyalaan busur plasma yang ditimbulkan oleh adanya loncatan bunga api dari getaran frekuensi tinggi atau tegangan tinggi diantara elektroda. Panas dari busur dan ionisasi dijaga agar tetap stabil oleh adanya hambatan efek pemanasan dari arus listrik yang melewati gas.

Sebagai tambahan dari formasi plasma dalam busur, gas dapat dijaga pada titik ionisasi dengan metode induksi (*induction method*) atau metode kapasitansi (*capacitance method*). Generator induksi plasma memanaskan gas dengan menginduksikan suatu alat perangkai daya frekuensi tinggi ( $\pm 30$  MHz) didalam

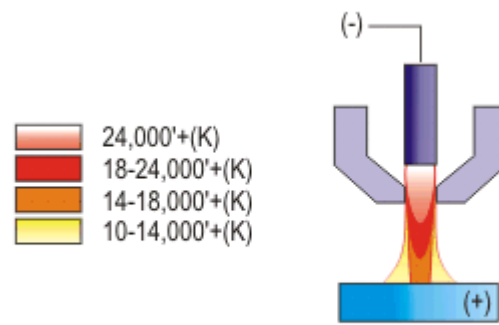
aliran gas sehingga terjadi penghantaran (konduksi) akibat pelepasan percikan bunga api. Pada metode kapasitas daya gelombang mikro (1000 MHz) digunakan untuk memanaskan gas sehingga terjadi pelepasan bunga api antara pusat elektroda dengan sekitar tabung koaksial.

### 2.2.2 Temperatur Busur Plasma

Perubahan temperatur tinggi dan parameter listrik yang diakibatkan oleh adanya pemusatan busur ditunjukkan pada Gambar 2.1 pada bagian kiri gambar menunjukkan kondisi normal busur tungsten yang beroperasi pada 200 A DCSP dengan gas argon dengan laju aliran 40 cfh. Sedangkan bagian kanan menggambarkan busur dengan arus dan aliran gas yang sama tetapi dilakukan pemusatan busur dengan melewati melalui nosel dengan diameter 3/16 inch. Pada kondisi ini dalam pemusatan busur terjadi peningkatan tegangan listrik sebesar 100% dan kenaikan temperatur 30% dibandingkan tegangan listrik dan temperatur yang terjadi pada busur yang terbuka (tanpa melalui nosel). Metode spectroscopic digunakan untuk mengukur temperatur busur berdasarkan analisis dan interpretasi terhadap emisi spektrum.

Peningkatan temperatur pada pemusatan busur ini bukan merupakan keuntungan yang utama, selama temperatur pada busur terbuka sudah jauh melebihi titik lebur dari logam benda kerja. Keuntungan utama dari penggunaan nosel adalah kestabilan arah dan pengaruh pemusatan busur yang diakibatkan dan ketidakpekaan relatif terhadap perubahan jarak penyalaan terhadap benda kerja.

Penggunaan nosel juga bertujuan untuk meningkatkan kecepatan dari gas potong, sehingga busur plasma yang terjadi juga mempunyai suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan nosel. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan gas, maka banyaknya gas yang terionisasi dan terbakar pada waktu yang sama akan semakin banyak. Hal ini menyebabkan penggunaan nosel dapat meningkatkan suhu dari busur plasma.



Gambar 2.1 Temperatur Busur Plasma

Sumber : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1061>

Busur plasma yang terjadi dapat kita atur karakteristiknya. Pengaturan ini berfungsi untuk mendapatkan busur yang sesuai dengan kondisi pengerjaan yang kita inginkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik dari busur plasma yang terjadi adalah :

1. Jenis gas.
2. Diameter *orifice* dan bentuknya.
3. Arus listrik plasma.
4. Laju aliran gas.

Pada pengerjaan logam, pemilihan karakteristik yang sesuai dari busur plasma sangat dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Karakteristik yang dimaksud jenis atau sifat dari busur plasma yang terjadi. Parameter-parameter tersebut dapat diatur untuk mendapatkan panas yang rendah atau mendapatkan panas yang tinggi. Pemusatan energi yang besar dan kecepatan yang tinggi dari pancaran (*jet*) dibutuhkan pada pemotongan busur plasma yang diperoleh dengan menggunakan arus listrik tinggi, diameter nosel yang kecil, laju aliran gas yang tinggi, dan gas yang memiliki konduktifitas *thermal* yang tinggi. Sedangkan untuk keperluan pengelasan dan pengerjaan digunakan kecepatan dan pancaran plasma yang rendah. Hal ini dibutuhkan untuk mencegah terlemparnya logam cair dari benda kerja. Untuk itu digunakan diameter nosel yang lebih besar, laju aliran gas yang rendah dan arus listrik yang rendah. Busur plasma untuk *surfacing* lebih besar daripada pengelasan, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kerapatan panas dan meminimalkan penetrasi pada saat pengerjaan logam serta mempertahankan sifat-sifat lain yang menguntungkan dari busur plasma.

### 2.3 Pemotongan Busur Plasma

Pemotongan busur plasma adalah proses pemotongan logam dengan menggunakan gas terionisasi yang dilewatkan nosel dan memotong logam dengan cara melelehkannya. Lelehan logam yang terjadi biasanya terdapat pada bagian bawah sisi hasil potong, lelehan ini yang disebut terak (*dross*). Pancaran dari busur plasma ini akan menguapkan sebagian dari lelehan logam sehingga terbentuk alur atau potongan.

Pada pemotongan busur plasma dikembangkan suatu cara dimana busur dibatasi dengan nosel yang berada diantara elektroda (katoda) dan benda kerja sebagai anoda. Langkah ini mengakibatkan meningkatnya kerapatan busur, temperatur busur, dan tegangan listrik. Busur yang mengalir melalui nosel menjadi sangat panas dan berkecepatan tinggi.

Karakteristik pancaran busur plasma dapat dipilih dengan merubah jenis gas, besar aliran gas, besar arus busur, dan ukuran nosel. Sebagai contoh jika dipakai kecepatan aliran gas yang rendah maka momentum pancaran busur plasma akan menurun. Pancaran busur plasma membentuk pemusatan sumber panas yang tinggi jika kecepatan aliran gas dinaikkan sampai memenuhi kebutuhan, besar momentum pancaran panas busur sehingga terjadi alur lubang atau pemotongan.

Ada 2 busur utama pemotongan busur plasma berdasarkan besar arus yang digunakan yaitu : *low-current plasma cutting system* dan *high-current plasma cutting system*.

*Low-current Plasma Arc Cutting* (sistem pemotongan plasma dengan arus rendah) mempunyai batasan arus listrik maksimum 125 A. Nyala busurnya relatif kecil, biasanya digunakan pendinginan udara dan pengoperasiannya biasanya secara manual. Udara biasa juga digunakan sebagai gas plasma. Mesin ini bisa digunakan untuk memotong secara khusus seperti memotong secara melingkar. Kecepatan potongnya lebih besar daripada pemotongan dengan gas *Oxyacetylene*.

*High-current Plasma Cutting System* (sistem pemotongan plasma dengan arus tinggi) menggunakan arus listrik sebesar 100 hingga 500 A. Sistem pendinginan yang digunakan biasanya menggunakan air. Peralatan ini sama seperti mesin pemotong dengan nyala/busur oksigen dan cara penggunaannya adalah secara otomatis.

### 2.3.1 Bagian-bagian pada Mesin *Plasma Arc Cutting*

Berikut ini adalah bagian-bagian yang digunakan (Gambar 2.2) pada mesin *Plasma Arc Cutting*, adalah:

#### a. Elektroda

Elektroda digunakan untuk menghasilkan busur listrik. Pada pemotongan busur elektroda yang digunakan biasanya elektroda tungsten. Mesin potong busur plasma dengan rangkaian DCSP (*Direct Current Straight Polarity*) menghubungkan elektroda dengan kutub negatif (-) sedangkan pada rangkaian DCRP (*Direct Current Reserve Polarity*) elektroda disambungkan dengan kutub positif (+).

#### b. Nozzle (Nosel)

Nosel merupakan bagian yang dilewati oleh plasma (gas yang terionisasi). Kerapatan arus listrik dan gas terjadi dalam lubang nosel. Pembatasan ini mengakibatkan peningkatan panas dan panjang busur.

Banyak jenis nosel yang didinginkan dengan air secara langsung melalui lubang air yang ada pada nosel. Beberapa model dipakai dalam arus rendah dengan memakai pendingin secara tidak langsung. Nosel ini memakai kontak termal yang baik dengan komponen yang lain yaitu air pendingin atau gas pelindung.

Nosel mempunyai dua dimensi utama, yaitu :

##### - *Orifice diameter*

Merupakan lubang tempat busur dan gas mengalir. Pembatasan busur dapat maksimum bila dibuat lubang sekecil mungkin, tetapi nosel akan lebih cepat rusak bila lubang terlalu kecil bagi aliran gas.

##### - *Throat length*

Merupakan tebal dari lubang. Bentuk dari *Throat length* dapat berupa silindris dengan sisi yang tegak lurus, bisa juga berbentuk *converging* atau *diverging taper*.

c. *Shielding gas*

Merupakan gas pelindung yaitu gas yang tidak melalui nosel tetapi mengitari nosel dan membentuk pelindung busur. Aliran gas pelindung ini dibatasi oleh *outer gas cup* yang ada diluar nosel. Tidak semua mesin potong plasma menggunakan gas pelindung.

d. *Orifice Gas*

Merupakan gas pelindung plasma yaitu gas yang langsung masuk kedalam nosel dan mengitari elektroda. Hal ini membuat gas terionisasi pada busur dan membentuk plasma yang kemudian dipancarkan keluar dari lubang nosel sebagai busur plasma. Jenis gas yang digunakan bervariasi disesuaikan dengan operasi atau pengerjaan yang dilakukan.

e. *Plenum chamber*

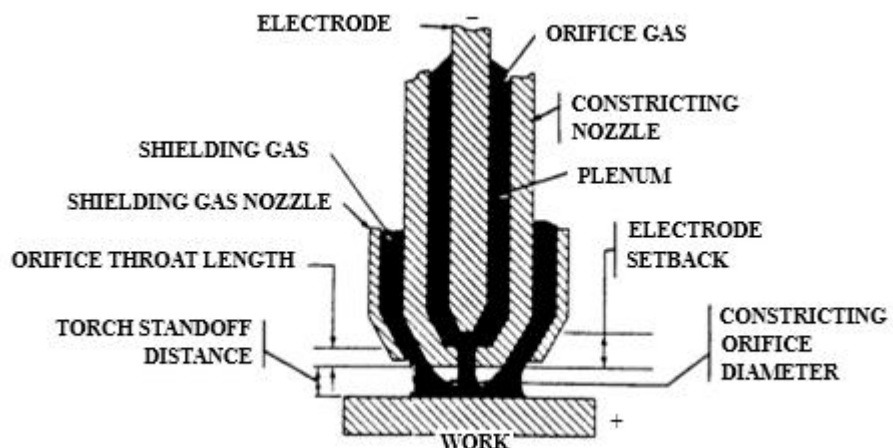
Adalah ruangan antara dinding nosel dan elektroda. Orifis gas melalui ruang ini kemudian mengalir melalui nosel menuju permukaan benda kerja. Pada beberapa peralatan kecepatan tangensial diberikan pada gas didalam *chamber* (ruang) untuk berputar mengitari elektroda dan keluar melalui ruang nosel.

f. *Electrode setback*

Merupakan jarak antara ujung elektroda dengan muka luar lubang nosel.

g. *Torch standoff off*

Adalah jarak antara ujung luar nosel dan permukaan benda kerja. Jarak ini dapat dimajukan dan dimundurkan untuk mendapatkan posisi yang tepat sehingga dapat menghasilkan hasil potong yang baik.



Gambar 2.2 Istilah-istilah pada Mesin *Plasma Arc Cutting*

Sumber : AWS, 1971

### 2.3.2 Prinsip Kerja *Plasma Arc Cutting*

Pada prinsipnya *Plasma Arc Cutting* adalah proses pemotongan dengan menggunakan gas terionisasi yang melewati nosel dan memotong logam dengan melelehkannya. Pada saat *DC Power Supply* dinyalakan pertama kali, pada nosel belum dihasilkan busur karena gas belum terionisasi sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Medan listrik tinggi dihasilkan karena adanya lompatan bunga api antara elektrode dengan nosel. Medan listrik tinggi ini yang kemudian akan dilewati gas sehingga gas tersebut terionisasi dan dapat menghantarkan arus listrik.

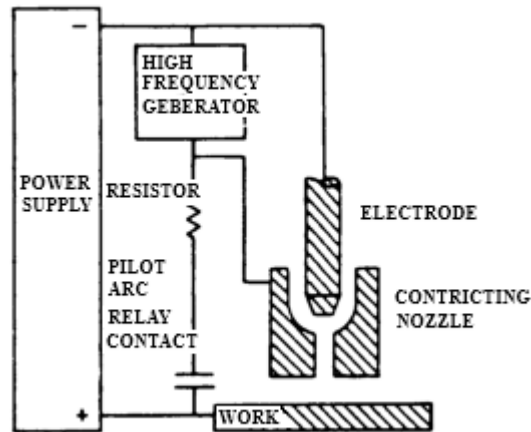
Bunga api yang terjadi disebabkan adanya rangkaian antara *DC Power Supply* melalui elektrode nosel, *current limiting resistor (R)*, *relay constant (S)*, dan kembali ke *DC Power Supply*. Rangkaian ini bekerja hanya pada permulaan proses, setelah *Pilot Arc* (busur mula-mula) terbentuk dan busur utama menyala maka rangkaian ini akan dimatikan. Prinsip kerja *Plasma Arc Cutting* seperti pada gambar 2.3.

*Pilot Arc* merupakan inti dari gas plasma, karena ini kenaikan ionisasi yang sangat tinggi. Gas yang terionisasi mengalir melalui nosel dan kemudian ke benda kerja. Pada jarak 1 inch (25,4 mm) atau kurang biasanya akan menghasilkan busur utama. Arus listrik akan setinggi ketahanan *Power Supply* yang diijinkan.

Sesudah busur utama menyala antara elektrode dan benda kerja, maka *pilot arc* tidak diperlukan lagi. *Relay constant (S)* dibuka untuk mematikan *pilot arc* secara otomatis dan mengurangi beban panas dari nosel.

Penambahan HFI (*High Frequency Igniter*) pada instalasi ini berfungsi untuk meningkatkan frekuensi dari arus listrik pada instalasi ini. Seperti diketahui bahwa instalasi ini bekerja hanya pada arus listrik yang mempunyai frekuensi tinggi. HFI merupakan alat yang berfungsi untuk meningkatkan frekuensi dari arus listrik sesuai dengan yang kita inginkan.

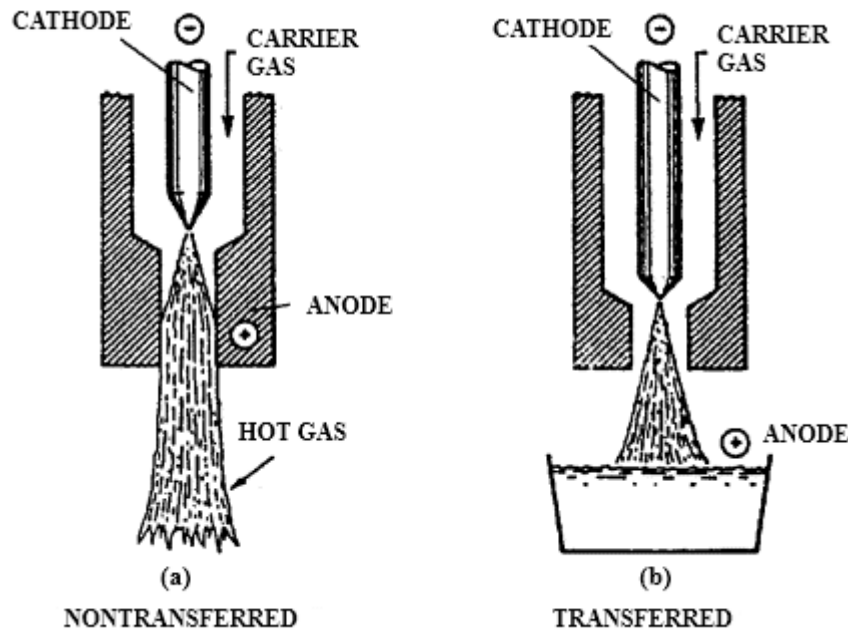




Gambar 2.3 Prinsip Kerja *Plasma Arc Cutting*  
Sumber : Peter, 2002

Berdasarkan cara rangkaian kerja, plasma arc cutting dapat dibedakan dua jenis, yaitu : *transferred-type torch* dan *non transferred-type torch* (Gambar 2.4). Prinsip kerja *transferred-type torch* adalah elektroda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber tegangan, sedangkan nosel dihubungkan dengan kutub positif yang melalui sebuah resistor yang membatasi arus yang masuk ke nosel hingga 50 A saja. Benda kerja juga dihubungkan dengan kutub positif dari sumber tegangan. Ketika penyalaan, pilot arc (busur mula-mula) dibentuk antara elektroda dan nosel yang menjadi penghubung untuk busur plasma arus listrik tinggi antara elektroda dan benda kerja.

Untuk *non transferred-type torch* sumber tegangan dihubungkan dengan elektrode dan nosel sehingga elektrode dan nosel dialiri arus listrik yang sama. Biasanya busur plasma berbentuk nyala api yang sangat berguna untuk pengerjaan permukaan.



Gambar 2.4 Plasma Arc Cutting dengan *Tranferred* dan *Nontranferred Type Torch*  
 Sumber : Smith, 1989

## 2.4 Polaritas Plasma Arc

Pada Plasma Arc terdapat dua macam polaritas yang digunakan baik untuk pengelasan, pemotongan, atau pengerjaan permukaan. Polaritas itu adalah :

### 1. *Direct Current Straight Polarity (DCSP)*

Ketika logam benda kerja dihubungkan dengan kutub (+) dan elektroda dihubungkan dengan kutub (-), maka rangkaian tersebut merupakan polaritas lurus (DCSP). Dengan elektroda bermuatan negatif dan benda kerja yang bermuatan positif, maka arus listrik akan mengalir dari benda kerja menuju elektroda. Sebagian besar dari seluruh panas yang dihasilkan dilepaskan pada benda kerja dan sisanya dilepaskan oleh elektroda.

Konsentrasi panas yang dihasilkan oleh benda kerja akan menghasilkan penetrasi yang dalam pada benda kerja. Hal ini disebabkan pada polaritas lurus (*straight polarity*) elektron bergerak dari elektroda dan menumbuk benda kerja dengan kecepatanyang sangat tinggi, sehingga dapat terjadi pentrasi yang dalam pada benda kerja. Karena elektroda tidak terjadi penumbukan elektron maka temperatur di elektroda relatif tidak tinggi sehingga memungkinkan digunakan arus listrik yang besar pada polaritas lurus ini.

DCSP digunakan dengan temperatur pelelehan benda kerja yang tinggi untuk penetrasi yang dalam, kecepatan potong yang lambat dan manik las yang sempit pada proses pengelasan.

## 2. *Direct Current Reserve Polarity (DCRP)*

Ketika logam benda kerja dihubungkan pada kutub negatif (-) dan elektroda dihubungkan dengan kutub (+), maka rangkaian ini disebut rangkaian polaritas balik (DCRP). Dengan elektrodayang bermuatan positif maka arus listrik akan mengalir dari elektroda ke benda kerja. Sebagian besar dari panas yang dihasilkan dilepaskan pada elektroda dan sisanya dilepaskan pada logam benda kerja.

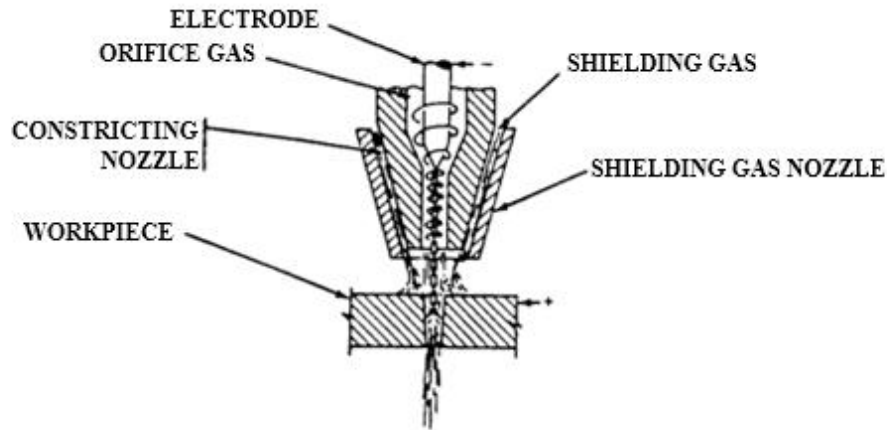
Dalam polaritas balik *reserve polarity* elektroda menjadi panas sekali, sehingga arus listrik yang dapat dialirkan menjadi rendah. Untuk ukuran elektroda yang sama dalam polaritas balik hanya sepersepuluh ( $1/10$ ) dari arus listrik polaritas lurus yang dapat dialirkan. Bila arus terlalu besar maka ujung elektroda akan turut mencair dan merubah komposisi logam cair yang dihasilkan. Konsentrasi panas menghasilkan penetrasi yang dangkal, endapan logam untuk las rata-rata tinggi dan menghasilkan las yang baik pada lembaran logam. DCRP banyak digunakan untuk pengelasan pada posisi datar (*flat position*) karena logam tidak terlalu panas.

## 2.5 *Modifikasi Plasma Arc Cutting*

Proses *Plasma arc cutting* dimodifikasi untuk meningkatkan kualitas pemotongan. Penerapannya pada tebal material 30 – 38 mm, pelindung tambahan dari gas atau air juga dipakai untuk meningkatkan kualitas pemotongan.

### 2.5.1 *Dual Flow Plasma Arc Cutting*

Pemotongan plasma *dual flow* dilengkapi oleh sebuah ruang gas yang mengelilingi busur plasma. Gas yang dipakai adalah nitrogen, sedangkan gas pelindung disesuaikan dengan material yang dipotong. Untuk *mild steel* dipakai CO<sub>2</sub> atau udara. Kecepatan pemotongan lebih tinggi dibanding *plasma arc cutting* konvensional, tetapi kualitas pemotongan kurang memuaskan untuk banyak aplikasi. CO<sub>2</sub> sering dipakai sebagai gas pelindung pada *stainless steel* dan campuran argon-hidrogen untuk aluminium.



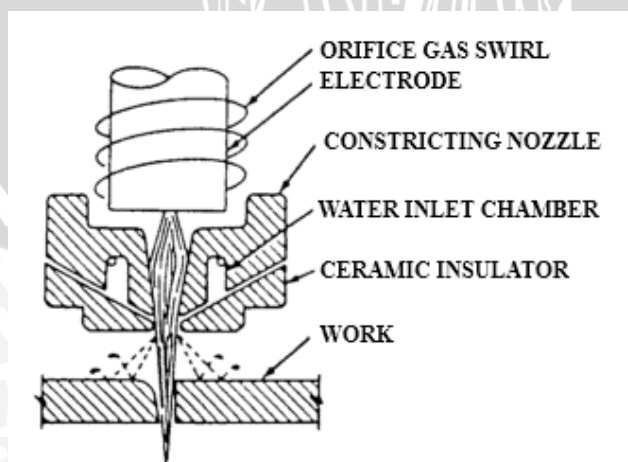
Gambar 2.5 Pemotongan plasma *dual flow*  
 Sumber : Smith, 1989 : 359

### 2.5.2 Gas/water Shield Plasma Arc Cutting

Teknik ini sama dengan *dual flow*, kualitas pemotongan dapat ditingkatkan dengan menggunakan air sebagai pelindung tambahan. Pemotongan untuk bentuk bundar dan kecepatan pemotongannya tidak sebaik *plasma arc cutting* konvensional.

### 2.5.3 Water Injection Plasma Arc Cutting

Modifikasi ini menggunakan air bertekanan yang berada dekat nosel untuk membatasi busur plasma. Air bertekanan ini melindungi plasma dari reaksi dengan atmosfer. Ujung nosel terbuat dari keramik yang dapat membantu mencegah terjadinya *double arcing*. *Double arcing* terjadi jika busur meloncat dari elektrode ke nosel dan kemudian ke benda kerja, biasanya merusak nosel.



Gambar 2.6 Pemotongan plasma menggunakan air pembatas  
 Sumber : Parmar, 1995 : 585

Air pembatas ini membuat busur plasma menjadi runcing, karena air pada nosel merupakan semprotan cairan yang mendinginkan sisi *kerf*, maka akan menghasilkan bentuk sisi yang runcing. Ketika orifis gas dan air diinjeksikan secara tangensial, gas plasma menjadi melingkari elektroda. Akibatnya permukaan yang dihasilkan tegak lurus pada bagian sisi *kerf*, sedangkan pada sisi yang lain menyudut, pada pemotongan untuk arah *torch* harus ditentukan untuk menghasilkan bagian potong yang tegak lurus dan skrap berbentuk *bevel* (V).

#### **2.5.4 Under water plasma arc cutting**

Modifikasi dari ketiga diatas adalah pemotongan plasma didalam air, keuntungan dari proses ini adalah peredaman terhadap suara operasi yang sangat bising, pelindung terhadap operator dari panas dan radiasi, mengurangi deformasi material yang dipotong. Dan air sebagai media pelindung, busur tambahan yang mencegah terjadinya kontaminasi material dengan udara.

### **2.6 Torch Pada Plasma Arc Machine**

#### **2.6.1 Aliran Torch Pada Plasma Arc Machine**

Jenis aliran gas pada *torch* dapat dibedakan menjadi dua macam aliran gas, jenis aliran ini adalah :

##### **1. Turbulent mode**

Jenis aliran ini menghasilkan busur dengan kecepatan gas yang tinggi. Nyala api yang dihasilkan pada penggunaan operasi *Turbulent mode* ini mempunyai ukuran yang pendek dan mempunyai temperatur agak dingin pada daerah luar nosel. Metode ini adalah metode yang sering digunakan dalam proses pemotongan, pengelasan dan proses penyemprotan.

##### **2. Laminair mode**

Jenis aliran ini menghasilkan busur dengan kecepatan yang rendah. Nyala api yang dihasilkan pada penggunaan operasi *Laminair mode* ini mempunyai ukuran yang panjang. Untuk mendapatkan aliran yang laminair maka kecepatan gas yang melalui nosel diatur agar kecepatannya rendah. Metode ini sering digunakan untuk pengerjaan material dimana diinginkan terjadinya percikan dari lelehan logam yang menetes. Pada penggunaan dengan *Laminair*, nyala api mempunyai kecepatan sekitar 50 m/s dan panjang nyala api sekitar 900 mm.

### 2.6.2 Tipe Torch Pada Plasma Arc Machine

Ada dua macam tipe *torch* yang digunakan didalam mesin busur plasma (*Plasma Arc Machine*) yang terdiri dari :

#### 1. *Nontransferred arc torch*

##### a. *Turbulent mode flame torches*

Dengan menggunakan *torch* jenis ini akan mendapatkan nyala api yang pendek (sekitar 15 cm yang terjadi pada penggunaan arus listrik 400 A dengan gas nitrogen) dan memiliki pancaran nyala api yang berkecepatan tinggi. *Torch* seperti ini menggunakan elektroda batang dan nosel yang memiliki lubang pada bagian dalam sepanjang 25 mm serta diameter orifis yang dapat diubah-ubah disepanjang range yang luas. *Torch* jenis ini biasanya digunakan untuk pengerjaan semprot (*spraying*), pengerjaan insulator dan sintesis kimia.

##### b. *Laminar mode flame torches*

Nyala api yang dihasilkan *torch* jenis ini memiliki kecepatan yang rendah dan mempunyai panjang nyala api sekitar 1 m serta nyala api tersebut dipancarkan dengan suara yang relatif tenang. Metode 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 *spheroidizing* dan proses peleburan keramik.

##### c. *High power torches*

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

#### 2. *Transferred arc torch*

*Cutting torch* terdiri dari :

##### 1. *Single flow torch*

*Torch* jenis ini paling sering digunakan pada operasi-operasi pengerjaan logam. Mode ini mempunyai elektroda yang berbentuk piringan yang ditaper pada bagian sisi-sisinya. Panjang lubang didalam nosel dijaga seminimal mungkin (3 – 5 mm). Gas memiliki kecepatan tinggi dipertahankan untuk mendapatkan kecepatan gas yang tinggi. *Single flow torch* biasanya digunakan

untuk pengerjaan pemotongan baja dengan berbagai tipenya, aluminium dan beberapa jenis tembaga.

## 2. *Dual flow torch*

Pada *dual flow torch* ini terdapat adanya tambahan aliran gas yang mengitari busur utama untuk melindungi logam benda kerja. Pada pemotongan baja karbon aliran gas tambahannya (*dual gas flow*) adalah oksigen, begitu pula pada pemotongan plasma yang menggunakan pemotongan oksigen mempunyai kecepatan potong yang sangat tinggi. Penggunaan mode ini mempunyai keuntungan untuk menghindari terjadinya penggandaan busur (*double arcing*) yang merupakan kelanjutan dari pembentukan busur diluar nosel yang akan menimbulkan aliran tinggi di sekelilingnya.

## 3. *Multiport nozzle torch*

Prinsip kerja dari *torch* jenis ini seperti *dual flow torch* tetapi digunakan dalam bentuk yang berbeda, yaitu dengan menyediakan bagian dari plasma yang berfungsi sebagai pelindung yang mengalir melalui saluran kecil yang mengitari orifis utama dari nosel. Adanya aliran ini akan mendapatkan busur dan sekaligus juga akan melindungi logam benda kerja. Tetapi pada umumnya penggunaan gas oksigen tidak dapat digunakan karena sifatnya yang korosif terhadap besi.

## 4. *Oxygen plasma cutting torch*

Tipe *torch* ini menggunakan zirconium sebagai katoda atau elektroda. *Torches* dapat digunakan dengan plasma oksigen untuk umur elektroda yang pendek. Penggunaannya dapat menggunakan *single flow* atau *multiport nozzle torches*.

## 5. *Welding torches*

Pada tipe *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 umumnya lebih kecil daripada elektroda yang digunakan pada *plasma cutting*, juga nosel yang digunakan lebih besar daripada *plasma cutting*. Untuk hasil yang lebih baik digunakan rangkaian *transferred type torch* dengan aliran *torch* laminar.

## 6. *Micro torches* atau *needle torches*

*Torch* jenis ini hampir sama dengan nyala pengelasan (*welding torch*) kecuali pada penggunaan daya yang sangat kecil (sekitar 1 kw). Penggunaan tipe

ini pada pengelasan atau pemotongan logam yang tipis. *Torch* tipe ini dapat dioperasikan dengan rangkaian *transferred type torch* maupun *non transferred type torch*.

Untuk mengetahui berbagai macam dimensi dan kondisi operasi untuk masing-masing torch dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variasi Dimensi dan Kondisi Operasi untuk Macam-macam *Torches*.

Type of Torch	Cathode Diameter	Cathode tip	Nozzle Diameter	Nozzle Length	Electrode gap (mm)	Power Input	Gas flow Rate
Spray Torch	8 to 12 Rod type	Taper 30-60° with a tip 1 mm	4 to 10	10 to 25	1 to 5	5 to 40	1 to 30/min
Laminar Sprodising Torch	6 to 10 Rod type	Taper 30° with a tip 1 mm	6 to 10	25 to 100 Corner should be rounded	3 to 5	5 to 30	1 to 101/min
Cutting Torch	10 to 20 Disc type	Taper 75° With a tip 8 mm	3 to 5	3 to 5	1 to 4	100 to 200	20 to 601/min
Welding Torch	3 to 6 Rod or disc type	Taper 75° With a blunt tip	3 to 4	3 corner Should be rounded	1 to 3	5 to 50	5 to 201/min
Laminar Welding Torch	6 to 8 Rod type	Taper 30° With a tip 1mm	3 to 4	25 to 100 Corner should be rounded	1 to 3	5 to 50	2 to 101/min
Micro Torch	2 rod type	Taper 45° Sharp tip	0.5 to 2	2 to 5	1 to 3	Up to 2	5 to 21/min

Sumber : Pandey, 1980

## 2.7 Kelebihan Plasma Arc Cutting

Beberapa kelebihan dari proses pemotongan dengan busur plasma adalah sebagai berikut:

- Pengarahan busur ke titik sasaran lebih tepat karena busur plasma dibatasi oleh nosel dan gas pelindung.
- Variasi bentuk pemotongan lebih banyak.
- Busur plasma lebih panas sehingga kecepatan potongnya lebih tinggi dan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) lebih sempit.
- Kemungkinan terkontaminasi terhadap elektroda sangat kecil karena letaknya didalam nosel.
- Penetrasi terhadap logam dapat dikontrol.
- Dapat dipakai dalam posisi flat overhead juga pemotongan dibawah air.
- Kondisi kerja lebih bersih.



- Dapat digunakan memotong baja karbon, aluminium, magnesium, tembaga, baja tahan karat.

## 2.8 Gas Potong

Gas potong yang digunakan dalam proses pengerjaan harus disesuaikan dengan kebutuhan pengerjaan yang kita lakukan. Pengaturan laju aliran, jenis aliran, tipe dari gas potong yang akan digunakan harus sesuai. Pada dasarnya apabila kita menginginkan busur plasma dengan suhu yang tinggi, maka kita harus memperbesar laju aliran dari gas potong (*Cutting Gas*). Pemilihan jenis gas juga harus disesuaikan dengan kebutuhan dan nilai ekonomis dalam proses pengerjaan. Seperti pada penggunaan *Water-injection Plasma Cutting*, keunggulan dari pemotongan dengan sistem ini hanya menggunakan satu jenis gas yaitu nitrogen ( $N_2$ ) untuk berbagai bentuk kondisi pemotongan yang dilakukan. Hal ini merupakan salah satu nilai ekonomis yang didapat.

Baja karbon, aluminium dan magnesium dapat dipotong dengan menggunakan gas nitrogen dan campuran nitrogen-hidrogen atau campuran argon-hidrogen. Campuran nitrogen-hidrogen digunakan untuk memotong baja tahan karat (*Stainless Steel*) yang mempunyai ketebalan sampai 50 mm. Untuk pengerjaan yang lebih berat digunakan campuran 65% argon dan 35% hidrogen.

Gas yang banyak digunakan pada *Plasma Arc Cutting* adalah nitrogen sebagai gas potong. Pada perkembangannya penggunaan gas potong ini kemudian ditambahkan gas kedua atau gas penambah pada busur plasmanya. Gas penambah ini bisa bervariasi tergantung jenis logam yang akan diberi pengerjaan. Sebagai contoh macam gas penambahan antara lain : untuk stainless steel menggunakan  $CO_2$  untuk aluminium menggunakan Argon dicampur Hidrogen. Teknik pemotongan menggunakan gas penambah ini disebut *Dual Flow Plasma Cutting*.

Tabel 2.2 Gas potong

Gas pemotong	Oksigen	Nitrogen
Tingkat kemurnian	99.95 %	99.8%
Keuntungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kecepatan pemotongan tinggi</li> <li>• Bidang kerjanya biasa mencapai 12 mm saat penggunaan daya 1500 W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bebas oksida ditepi pemotongan, jadi tidak ada proses penyelesaian ulang</li> </ul>
Kerugian	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muncul lapisan oksida</li> <li>• Lebih kasar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kecepatan pemotongan rendah</li> <li>• Konsumsi gas lebih banyak</li> </ul>

## 2.9 Kecepatan Pemotongan

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses pemotongan benda kerja. Harga kecepatan potong tersebut ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong.

Pada proses pemotongan logam dengan *plasma arc cutting*, kecepatan pemotongan yang semakin tinggi secara umum akan mengakibatkan terjadinya pelelehan logam yang semakin kecil. Karena dengan semakin cepatnya pemotongan yang dilakukan maka waktu pemotongan semakin singkat berarti masukan panas yang diterima logam atau material di sekitarnya semakin kecil.

## 2.10 Besar Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik atau Ampere.

Untuk arus yang konstan, besar arus  $I$  dalam Ampere dapat diperoleh dari persamaan :

$$Q = \eta \cdot I^2 \cdot R \cdot T$$

keterangan :

$\eta$  = Efisiensi mesin *plasma arc cutting*

$I$  = Arus listrik (ampere)

$R$  = Tahanan listrik (ohm).

$T$  = Waktu pemotongan (*second*)

Jadi berdasarkan rumus diatas semakin besar arus listrik yang digunakan maka panas yang dihasilkan semakin besar. Dengan semakin besar panas yang dihasilkan dari proses pemotongan tersebut mengakibatkan terjadinya pelelehan logam yang semakin besar.

### **2.11 Mekanisme Pelepasan Logam**

Mekanisme pelepasan logam pada pemotongan dengan mesin busur plasma (*plasma arc cutting*) pada dasarnya dihasilkan karena adanya temperatur yang sangat tinggi. Pemanasan yang terjadi pada benda kerja yang merupakan pemanasan anoda, disebabkan oleh adanya tumpukan elektron secara langsung ditambah adanya pemanasan konveksi dari busur plasma temperatur tinggi. Panas yang dihasilkan oleh proses tersebut cukup untuk menaikkan temperatur benda kerja sampai diatas titik lelehnya. Kemudian dengan adanya laju aliran gas yang berkecepatan tinggi secara efektif akan mendorong logamn cair sehingga terlepas dari logam induk. Perlu diketahui bahwa kondisi optimal kurang lebih 45% dari daya listrik yang diberikan pada *torch* digunakan untuk proses pelepasan dari logam induk.

Pemotongan busur plasma digunakan terutama untuk memotong logam yang mempunyai bentuk oksida tahan api dipermukaannya. Panas yang dihasilkan busur terpusat pada suatu daerah kerja akan menaikkan temperatur hingga diatas titik lebur. Kualitas hasil pemotongan sangat dipengaruhi oleh distribusi aliran panas. keseragaman dari panas yang tersimpan disepanjang ketebalan logam benda kerja akan menghasilkan hasil pemotongan yang baik. Sedangkan kecepatan pemotongan optimum (untuk jenis *torch* tertentu) tergantung pada keseragaman distribusi aliran panas dari busur plasma sampai kepermukaan benda kerja.

### **2.12 Kualitas Pemotongan**

Kualitas pemotongan pada plasma arc cutting ditentukan oleh beberapa faktor antara lain : tebal terak, lebar *kerf*, kehalusan permukaan potong, ketegaklurusan pemotongan, kebulatan pemotongan dan ketelitian hasil pemotongan. Kehalusan permukaan potong meliputi kondisi permukaan hasil pemotongan apakah bergelombang, kasar atau halus, ketegaklurusan sisi potong meliputi kondisi hasil pemotongan pada sisi atas dan bawah dimana hasil pemotongan dikatakan baik bila sisi atas benda kerja yang terpotong membentuk

sudut  $90^\circ$  dengan sisi bawah benda kerja yang terpotong. Untuk mendapatkan kualitas pengerjaan yang optimal, maka diperlukan pengaturan dari variabel-variabel pemotongan.

### 2.12.1 Ketelitian Hasil Pemotongan

Ketelitian hasil pemotongan disini adalah ketelitian ukuran dari benda kerja hasil dari pemotongan *plasma arc cutting* terhadap diameter benda kerja yang direncanakan. Untuk mendapatkan ketelitian yang baik perlu dilakukan pengaturan yang tepat pada variabel-variabel pemotongan. Ketelitian hasil pemotongan ini dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu lebar alur pemotongan (*kerf*) dan ketebalan terak (*dross*). Jika alur pemotongan (*kerf*) semakin lebar akan menyebabkan ketelitiannya semakin menurun, begitu juga dengan ketebalan terak (*dross*). Jika ketebalan terak (*dross*) semakin banyak menyebabkan alur pemotongan (*kerf*) semakin lebar sehingga menyebabkan ketelitiannya semakin menurun.

Karena disini membandingkan hasil pemotogan dengan diameter yang direncanakan maka saya menggunakan nilai simpangan untuk menentukan ketelitiannya.

Tabel 2.3 Perhitungan nilai simpangan.

Ulangan (n)	Hasil pengukuran ( $X_i$ )	Simpangan ( $(X_i - \bar{X})$ )
1	$X_1$	$ X_1 - \bar{X} $
2	$X_2$	
⋮	⋮	
⋮	⋮	$ X_2 - \bar{X} $
n	$X_n$	
		⋮
		⋮
		$ X_n - \bar{X} $

### 2.12.2 Terak (*Dross*)

*Dross* merupakan lelehan logam yang masih menempel pada logam induk, biasanya terdapat pada sisi hasil potong, baik berada diatas maupun berada dibawah. Pada saat proses pemotongan, busur plasma menumbuk logam dengan suhu yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan logam pada titik tersebut meleleh. Setelah

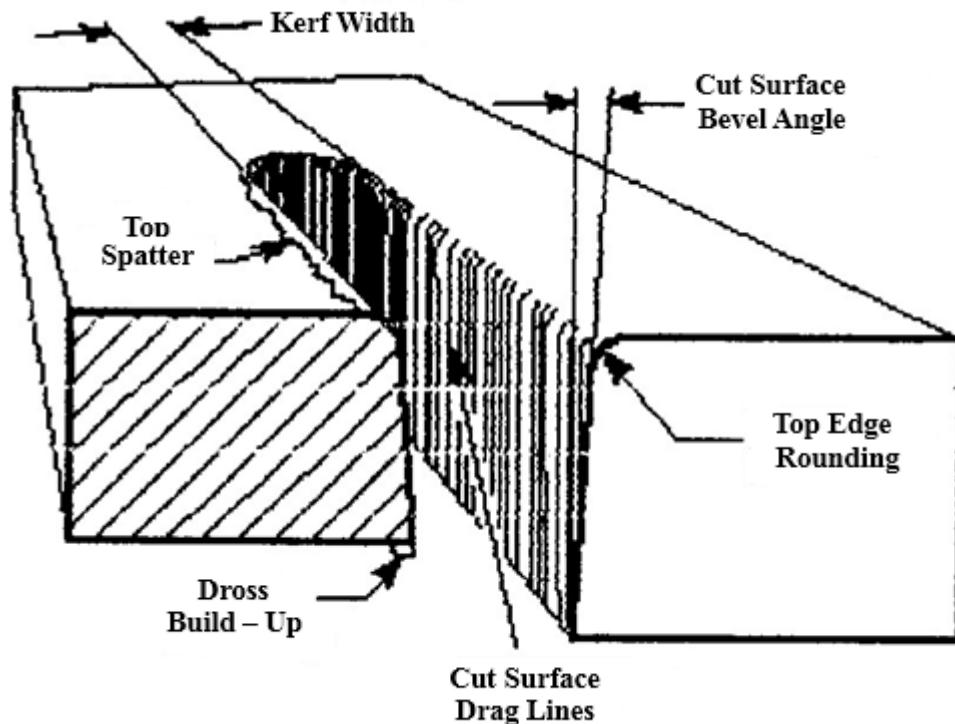
logam meleleh seluruhnya pada titik tersebut, maka gas potong akan mendorong lelehan logam tersebut terlepas dari logam induk. Lelehan logam yang tidak ikut terlepas dan masih menempel dinamakan *dross*.

Kecepatan pemotongan dan besar arus listrik berpengaruh pada *dross* yang terbentuk. Semakin meningkat kecepatan pemotongan maka ketebalan *dross* semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan potong maka panas yang diterima logam semakin menurun, sehingga lelehan logam semakin banyak yang menempel pada logam induk. Dan juga semakin meningkat arus listrik maka ketebalan *dross* akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin tinggi arus listrik maka panas yang dihasilkan oleh busur semakin meningkat dan lelehan logam juga semakin meningkat.

### 2.12.3 Alur Pemotongan (*Kerf*)

Alur pemotongan atau sering disebut *kerf* adalah bagian dari benda kerja yang mencair karena terpotong secara memanjang mengikuti arah potongan. Alur pemotongan dengan busur plasma mempunyai tebal sampai dengan 1,5-2 kali alur pemotongan yang dilakukan dengan *oxyfuel gas cutting*. Alur pemotongan biasanya akan naik sebanding dengan tebal plat yang dipotong. *Jet plasma* cenderung mengurangi bagian logam yang lebih banyak pada sisi bagian atas kerf daripada bagian bawah. *Jet plasma* yang diberikan pada bagian atas sisi potong sampai bagian bawah sisi potong ditentukan dan diatur oleh penggunaan kecepatan pemotongan.

Bila kecepatan pemotongan yang digunakan terlalu tinggi, maka akan menyebabkan sisi potong bagian atas menerima panas terlalu banyak. *Kerf* yang terjadi akan sangat lebar pada bagian sisi atas sisi potong dan semakin menyempit pada bagian bawah sisi potong. Hal ini menghasilkan pemotongan menyudut. Tetapi penggunaan kecepatan pemotongan yang rendah juga akan menghasilkan *kerf* yang lebar pada sisi potong bagian atas. Kecepatan pemotongan optimum dapat dicapai dengan menggerakkan maju *torch* pada suatu harga dimana distribusi aliran panas dari plasma ke benda kerja hampir seragam / merata disepanjang ketebalan dari benda kerja. Pada kondisi tersebut akan dihasilkan permukaan yang tegak lurus karena lebar *kerf* relatif sama besar dari sisi potong bagian atas sampai sisi potong bagian bawah.



Gambar 2.7 Permukaan Hasil Pemoangan  
 Sumber : Anonim, [www.thermaldynamics.com](http://www.thermaldynamics.com)  
 Manual book no.2714.3.2002

### 2.13 Spesimen Benda Kerja

*Austenitic Stainless Steel* (ASS) SUS304 merupakan logam tahan karat dengan fase tunggal, ASS memiliki struktur *Face Centered Cubic* (FCC) yang tahan terhadap temperatur tinggi. ASS memiliki sifat tahan terhadap korosi, memiliki ketangguhan dan sifat mampu potong yang baik. Paduan utama yang terkandung pada ASS adalah Cr atau Cr dengan Ni dengan sedikit tambahan unsure lain seperti Mo, Cu, dan Mn (Wirjosumarto,111).

Sifat-sifat baja tahan karat austenitic antara lain:

- Strukturnya austenite.
- Tidak bersifat magnet dan tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas.
- Total kandungan Cr dan Ni kurang lebih 23%.
- Dapat dilakukan pengerjaan panas dan pengerjaan dingin.

Karena baja tahan karat SUS304 adalah baja paduan tinggi, jika baja tersebut dilas maka kualitas sambungan lasnya sangat dipengaruhi dan menjadi

getas oleh panas pengelasan. Sifat mampu las dari baja tahan karat tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

- a. Pada baja tahan karat martensit selama mengalami siklus pemanasan dan pendinginan pada proses pengelasan akan membentuk martensit yang keras dan getas sehingga sifat mampu lasnya kurang baik.
- b. Baja tahan karat ferit sukar mengeras, tetapi butirannya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menurun. Jika dilakukan pengelasan maka baja ini harus dilakukan pemanasan mula-mula antara 70-100°C untuk mencegah retak dingin.
- c. Baja tahan karat austenit mempunyai sifat mampu las yang lebih baik dibandingkan keduanya diatas, tetapi sifat tahan karat dan mekaniknya akan menurun apabila terbentuk endapan karbida krom selama proses pendinginan lambat dari 680°C-480°C.

#### 2.14 Hipotesis

Semakin meningkat kecepatan pemotongan dan besar arus listrik maka panas pemotongan yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan lebar alur pemotongan dan ketebalan terak semakin besar sehingga ketelitian hasil pemotongan semakin menurun.