

Studi Pengaruh Magnetic Arc Blow Pada Hasil Las TIG Baja AISI 1021

Juliana Anggono

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Lucia Hariani Kusuma

Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Cacat dan bentuk deposit hasil las busur listrik dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satunya yang sering tidak diketahui adalah adanya pengaruh magnetic arc blow. Magnetic arc blow dengan variasi penempatan ground dan besar arus las dipelajari dalam penelitian ini dengan mengamati pengaruhnya terhadap cacat dan mengukur penampang deposit las yang dihasilkan. Proses las yang diamati adalah las TIG pada baja AISI 1021 dengan gas pelindung argon dengan polaritas lurus (DCSP).

Hasil foto makro dan pengukuran menunjukkan magnetic arc blow berpengaruh kuat pada ukuran dan bentuk deposit las pada potongan pertama menggunakan arus 200 A serta penempatan ground pada awal proses pengelasan. Cacat las undercut dan incomplete penetration adalah cacat yang umum dijumpai pada semua potongan. Sedangkan dominasi cacat porositas pada potongan pertama lasan dengan arus 200 A diduga karena kurangnya ruang perlindungan gas dalam daerah las.

Inklusi tungsten banyak terjadi pada arus 200 A karena melelehnya ujung elektroda tungsten akibat input panas tinggi. Pada akhir pengelasan selalu dijumpai crater dan percikan. Kedua jenis cacat ini juga diyakini disebabkan oleh backward arc blow yang cukup besar terjadi pada akhir proses lasan.

Kata kunci : magnetic arc blow, undercut, incomplete penetration, porositas, crater

Abstract

Discontinuities and size of the weld deposit are affected by many factors. Magnetic arc blow is one of the factors that one may not be aware of. Magnetic arc blow was studied in this research with the ground position and welding current were varied. The discontinuities and size of the weld deposit were observed and measured by taking specimens of the carbon steel of AISI 1021 welded by TIG welding process using argon as protective gas.

Macro photographs and data of the size of the weld deposit show magnetic arc blow has strong influence on the size of the weld on the first cut section. This specimen was welded by using 200 Ampere with the ground placed in the starting point of the welding process. Undercut and incomplete penetration are commonly found as discontinuities in all cut sections of the specimens. While porosities occur mainly in the first section with high current. It 's believed that these discontinuities occur due to the lack of shielding by the protective gas caused by very strong arc blow around the melt. Tungsten inclusions are also the common discontinuities to take place, they are found more when welding using high current (200 A). Their occurrence is because of the melting of the tip of the tungsten electrode caused by the high heat input.

At the end of the weld, crater and spatter are always found. Backward arc blow are very strong at the end of the process that arises these defects.

Keywords : magnetic arc blow, undercut, incomplete penetration, porosity, crater

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan sehingga cacat dapat timbul pada hasil

las. Salah satunya yang sering tidak diketahui adalah adanya pengaruh *magnetic arc blow*.

Magnetic arc blow ini disebabkan karena kondisi medan magnet yang tidak seimbang di sekeliling busur listrik. Kondisi medan magnet yang tak seimbang ini disebabkan karena arus mengalir melalui beberapa medium yang berbeda, yaitu elektroda, udara, dan benda kerja serta oleh penempatan posisi ground pada benda kerja.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Agustus 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 1 Nomor 2 Oktober 1999.

Mengingat efek *magnetic arc blow* terhadap kualitas hasil las cukup penting, mendorong dilakukannya penelitian ini dengan variasi penempatan ground pada benda kerja terhadap titik awal, pertengahan, serta akhir pengelasan dengan variasi arus 150 A dan 200 A.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan berikut:

1. Mempelajari pengaruh *magnetic arc blow* (*forward* dan *backward arc blow*) terhadap hasil las (lebar dan kedalaman bead, serta lebar HAZ) serta cacat las.
2. Mempelajari pengaruh penempatan ground serta variasi arus terhadap dua hal di atas.

1.3. Batasan Masalah

1. Pengelasan dilakukan dengan kecepatan 150 mm/min dengan las TIG secara manual.
2. Arus yang digunakan 150 A dan 200 A
3. Tegangan listrik pada mesin las TIG 17,9 volt
4. Jarak elektroda tungsten ke benda kerja 3 mm
5. Sudut kemiringan torch 70° dan sudut kemiringan filler 15° terhadap horizontal.
6. Aliran gas pelindung (argon) 10 l/min
7. Ketirusan sudut elektroda tungsten $\alpha = 90^\circ$
8. Pengelasan menggunakan arus DC (Direct Current) dengan polaritas lurus (DCSP).
9. Pengelasan dilakukan satu lapis.

1.4. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Sampel uji adalah mild steel (AISI 1021), dengan ukuran 50 x 100 x 5 mm, dengan komposisi kimia tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimia Material Sampel (% berat)

C	Mn	Si
0,2	0,68	0,07

2. Persiapan Sampel
 Persiapan sampel di sini meliputi pemotongan sampel uji, pembuatan alur las, pembersihan, serta penamaan sampel uji. Pembuatan alur las atau disain sambungan las sesuai dengan standar JIS-1977.⁽¹⁰⁾
3. Proses Las
 Jenis pengelasan yang digunakan adalah TIG (Tungsten Inert Gas) dan dilakukan secara manual. Elektroda yang digunakan

adalah tungsten tipe thoriated (2% thoria) sesuai dengan standar AWS A5. 12 - 69 (EW Th - 2) dengan diameter 2,4 mm dan ketirusan elektroda ($\alpha = 90^\circ$). Filler metal (logam pengisi) yang digunakan adalah logam pengisi las TIG dengan merek ESAB sesuai standar AWS A5. 18; ER 70 S-6, dengan diameter 2,4 mm.

4. Pengujian

- Pengujian di sini meliputi pengamatan langsung hasil lasan serta pengamatan metalografi (etsa makro) sesuai ASTM 304 A - 94 "Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys".
- Pengukuran lebar Lebar HAZ diukur dari garis fusi dengan jangka sorong berketelitian 0,01 mm.

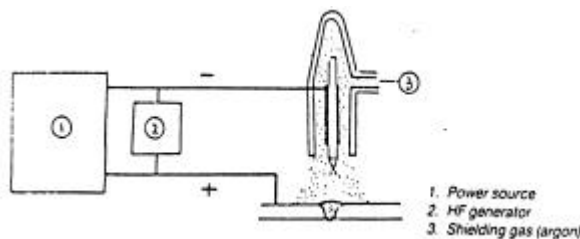
2. Landasan Teori

2.1. Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas)

TIG welding adalah metode pengelasan dimana busur listrik terjadi di antara elektroda yang tidak meleleh dengan benda kerja. Sekeliling elektrodanya disalurkan gas inert yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kontaminasi udara dimana gas tersebut tidak bereaksi dengan zat apapun, sehingga tiap pencemaran terhadap pengelasan dapat dihindarkan. Sebagai gas pelindung biasanya dipakai Helium (He), Argon (Ar), atau campuran keduanya.

Keuntungan Proses

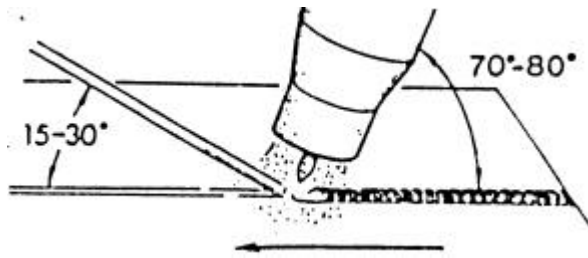
- Hasil lasan yang lebih baik.
- Pengelasan bisa dilakukan dengan lebih mudah.
- Tidak terjadi pembentukan slag.
- Tak terjadi percikan.



Gambar 1 Prinsip Las TIG (Tungsten Inert Gas)⁽⁴⁾

2.1.1. Elektroda

Yang dimaksud dengan elektroda tidak terumpan adalah elektroda tidak sebagai logam pengisi. Sebagai elektroda biasa digunakan tungsten atau *tungsten alloyed*.



Gambar 2 Elektroda Tidak Sebagai Logam Pengisi⁽⁴⁾

Pada prinsipnya ada 3 macam elektroda yang digunakan untuk las TIG, yaitu:

1. *Pure Tungsten*
Titik leleh 3400°C, digunakan untuk las paduan aluminium.
2. *Thoriated Tungsten*
Titik leleh 4000°C, umumnya dipasang pada kutub DC negatif, untuk pengelasan baja tahan karat, baja karbon, tembaga, titanium, dan sebagainya.
3. *Zirconiated Tungsten*
Titik leleh 3800°C, jenis elektroda ini biasa dipasang pada kutub AC, tapi juga bisa digunakan pada DC.

Pemilihan ukuran diameter elektroda tungsten terhadap arus yang digunakan, ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Pemilihan Ukuran Diameter Elektroda⁽⁴⁾

Elektroda mm	Tungsten Amp AC	Zr-alloyed Amp. AC	Th-alloyed Amp. DC
0,5	5 - 15	5 - 20	5 - 20
1,0	10 - 60	15 - 80	20 - 80
1,6	50 - 100	70 - 150	80 - 150
2,4	100 - 160	110 - 180	120 - 220
3,2	130 - 180	150 - 200	200 - 300
4,0	180 - 230	180 - 250	250 - 400

2.1.2. Polaritas

Dalam pemakaiannya proses las busur listrik dapat menggunakan tiga macam aliran arus, yaitu Direct Current Straight Polarity (DCSP), Direct Current Reverse Polarity (DCRP), dan Alternating Current (AC). Perbedaan polaritas akan memberikan perbedaan pada distribusi panas yang terjadi dan kedalaman penetrasi hasil las, seperti ditunjukkan pada gambar 3.

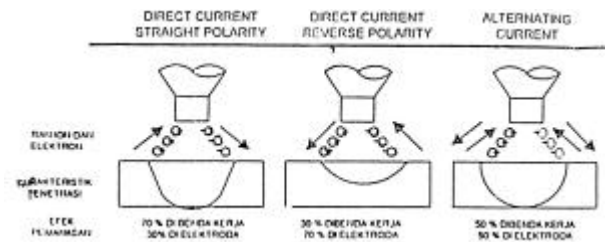
2.2. ARC BLOW

Arc blow adalah suatu peristiwa yang biasa dijumpai dalam pengelasan busur listrik dengan menggunakan arus DC, dimana

arc yang biasanya cenderung untuk mengikuti jalur terpendek antara elektroda dan benda kerja menyimpang ke arah depan (*forward arc blow*) atau belakang (*backward arc blow*) dan sedikit ke arah sisi terhadap arah pengelasan. Jika tidak dikendalikan, *arc blow* dapat menyebabkan beberapa kerugian seperti adanya percikan diluar batas pengelasan, *incomplete fusion*, berkurangnya kecepatan las, porositas, dan rendahnya kualitas las.

Back blow dapat terjadi ketika mengelas ke arah hubungan *ground*, akhir dari pengelasan lurus. *Forward blow* biasa dijumpai pada saat awal pengelasan suatu sambungan atau pada waktu mengelas dimana *ground* berada pada benda kerja tempat pengelasan dimulai.

Ada dua tipe *arc blow* yang dijumpai dalam pengelasan busur listrik, yaitu *magnetic arc blow* dan *thermal arc blow*. Dari kedua tipe tersebut, *magnetic arc blow* adalah tipe yang menyebabkan lebih banyak masalah pada pengelasan busur listrik.



Gambar 3 Karakteristik Sumber Arus untuk Las Busur Listrik⁽¹⁰⁾

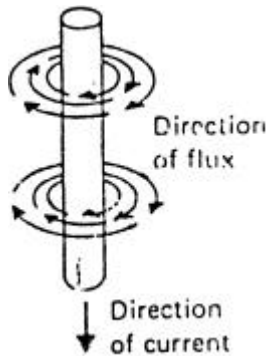
2.2.1. Magnetic Arc Blow

Magnetic arc blow disebabkan kondisi medan magnet yang tidak seimbang di sekeliling busur. Kondisi medan magnet yang tidak seimbang ini disebabkan oleh perbedaan jarak elektroda dari ujung satu dan jarak elektroda ke ujung yang lain atau bisa disebabkan oleh penempatan posisi *ground* pada benda kerja. Ketidakseimbangan ini juga disebabkan karena arus mengalir melalui beberapa medium yang berbeda, yaitu elektroda, udara, dan benda kerja.

Untuk dapat memahami fenomena *arc blow* ini dengan baik digambarkan medan magnet pada Gambar 4 di bawah ini yang memperlihatkan arus DC melalui konduktor yang dapat disamakan dengan elektroda pada proses pengelasan busur listrik.

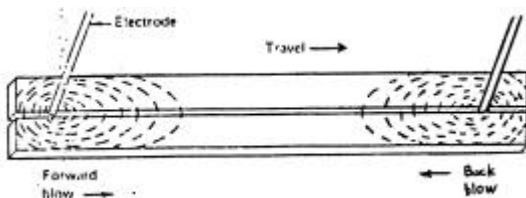
Di sekitar konduktor akan timbul medan magnet atau fluk magnet dengan garis gaya yang digambarkan sebagai lingkaran-lingkaran konsentris yang berpusat pada kon-

duktor. Garis lingkaran gaya akan berkurang intensitasnya makin jauh dari batang konduktor. Garis-garis gaya ini akan selalu merupakan lingkaran yang konsentris dan simetri apabila berada pada medium yang sama, misalnya udara saja atau logam saja.



Gambar 4 Arus yang Melalui Suatu Konduktor Menimbulkan Medan Magnet, Digambarkan sebagai Lingkaran Datar Konsentris disebut sebagai Garis Fluk⁽⁹⁾.

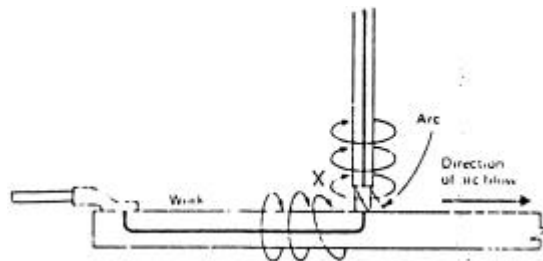
Tetapi jika medium yang akan ditempati tidak sama misalkan dari pelat baja ke udara, maka garis gaya melingkar akan terdistorsi, garis gaya tersebut cenderung terkonsentrasi pada medium baja, dimana garis gaya magnet akan mendapatkan hambatan yang lebih kecil dari pada dalam medium udara. Pada batas antara kedua sisi plat baja dan udara akan terjadi pemampatan garis gaya magnet dengan deformasi dalam arah melingkar datar. Pemampatan ini akan mengakibatkan konsentrasi fluk magnet yang tinggi di belakang atau di depan busur pengelasan. Busur kemudian cenderung untuk berdefleksi ke arah yang akan membebaskan pemampatan dan untuk mencapai keseimbangan fluk magnet. Busur akan berdefleksi ke arah magnet dengan konsentrasi lebih rendah, fenomena inilah yang disebut *arc blow*.



Gambar 5 Konsentrasi Fluk Magnet di Belakang Arc, Pada Awal Sambungan Las Men dorong Terjadinya Forward Arc dan Pada Akhir Sambungan Las Mendorong Terjadinya Backward Arc.⁽⁹⁾

Gambar 5 di atas menggambarkan pemampatan fluk magnetik pada awal dan akhir lasan. Pada saat mulai pengelasan garis fluk terkonsentrasi di belakang elektroda karena garis fluk yang seharusnya melalui udara memilih untuk melewati medium logam, *arc* mencoba untuk mengatasi ketidakseimbangan ini dengan berdefleksi ke depan. Hal ini disebut sebagai *forward arc blow*. Ketika elektroda mendekati akhir pengelasan, konsentrasi garis fluk berada di depan elektroda, *arc* mengimbangi dengan berdefleksi ke belakang dan disebut *backward arc blow*. Pada bagian tengah benda kerja, medan magnet akan simetri dan menyebabkan hilangnya *forward arc blow*. Tetapi jika penyambungan las dilakukan terhadap logam yang lebarnya tidak sama maka kemungkinan yang akan terjadi adalah *arc* akan terdefleksi ke arah logam yang lebih luas.

Gambar 6 melukiskan sebagian dari apa yang sebenarnya terjadi. Fenomena pemampatan fluk magnet yang lain juga mempunyai pengaruh terhadap *arc blow* yang terjadi.

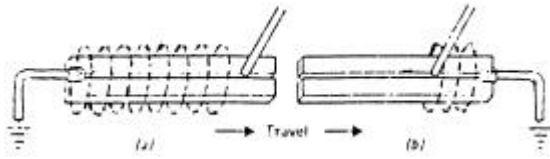


Gambar 6 Arc Blow yang Disebabkan Ground Effect.⁽⁹⁾

Pengaruh sekunder ini dihasilkan oleh arus ground benda kerja. Sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 6, garis fluk magnet juga dihasilkan oleh arus listrik yang berjalan melalui benda kerja menuju ground, garis tebal mewakili jalur arus pengelasan dan garis tipis mewakili garis gaya magnet yang ditimbulkan oleh arus pengelasan. Dengan adanya garis fluk arus ground, maka akan timbul konsentrasi garis fluk pada daerah X, yang menyebabkan *arc blow* ke arah depan. Pengaruh arus ground yang menyebabkan *arc blow* ini disebut sebagai *ground effect*.

Defleksi *arc* karena *ground effect* akan berpadu dengan hasil defleksi *arc* karena perubahan medium yang merupakan penyebab utama terjadinya *arc blow*. Dengan prinsip penjumlahan vektor, *ground effect* mungkin mengurangi atau menambah *arc blow* yang disebabkan oleh perubahan me-

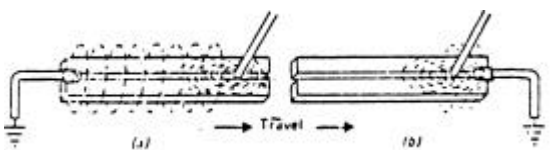
dium. Dalam praktek, mengatur *ground effect* adalah merupakan salah satu cara untuk mengendalikan *arc blow* dan hasil lasan.



Gambar 7 Fluk Dihasilkan Oleh Arus Ground di Belakang Arc (a) dan di Depan Arc(b).⁽⁹⁾

Dalam Gambar 7 di atas, ground dihubungkan pada benda kerja di ujung pengelasan, dan fluk arus ground dalam benda kerja berada di belakang elektroda. Defleksi *arc* hasil *ground effect* akan mengarah ke depan. Jadi pada awal pengelasan *ground effect* akan menambah defleksi *forward arc blow*. Sebaliknya pada akhir daerah lasan defleksi ke depan *arc* akibat *ground effect* akan mengurangi defleksi *backward arc blow*. Gambar 8 menggambarkan kejadian ini.

Dalam Gambar 7 (b), *ground* tersambung dengan benda kerja pada akhir lasan, *ground effect* mengakibatkan *arc* terdefleksi ke arah belakang. Di sini *ground effect* akan memperbesar *back blow* pada pengelasan. Kombinasi *ground effect* dan *back blow* digambarkan dalam Gambar 8 (b). Tetapi *ground effect* di sini akan bermanfaat bagi pengelasan untuk mengurangi *forward arc blow* pada awal pengelasan.



Gambar 8 *Ground Effect* Mengurangi Terjadinya *Back Blow* (a) *Ground effect* Memperbesar Terjadinya *Back Blow* (b).⁽⁹⁾

Karena *ground effect* hanya memberikan pengaruh yang relatif kecil jika dibandingkan dengan pengaruh perubahan medium, maka efektivitas *ground effect* dalam mengendalikan *arc blow* juga terbatas. Oleh karena itu tindakan lain juga harus dilakukan untuk mengurangi masalah yang disebabkan karena terjadinya *arc blow* pada pengelasan dengan busur listrik.

Arc blow yang timbul akan lebih kecil dengan menggunakan arus rendah daripada menggunakan arus lebih tinggi. Hal ini dika-

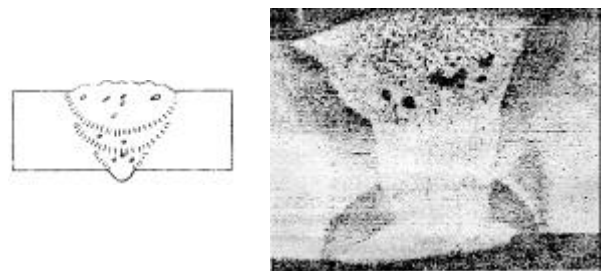
renakan garis-garis gaya magnet yang menyebabkan timbulnya *arc blow* berbanding lurus dengan besarnya arus. Sehingga semakin kecil arus, garis gaya magnet yang timbul juga semakin sedikit yang pada akhirnya *arc blow* yang terjadi juga makin sedikit. Biasanya masalah yang disebabkan oleh *arc blow* baru terjadi ketika arus yang digunakan dalam pengelasan melampaui 250 ampere, tetapi ini bukan merupakan parameter yang pasti, sebab kondisi lain seperti geometri sambungan juga berpengaruh sangat besar terhadap terjadinya *arc blow*.

3. Cacat Pada Las

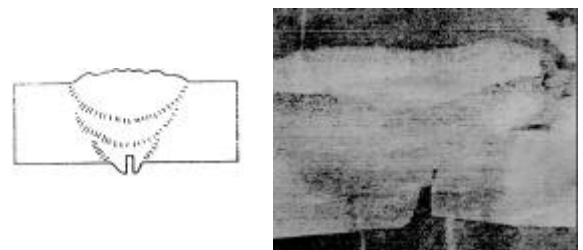
Salah satu cacat las yang hanya ditemui pada las TIG adalah inklusi tungsten yang disebabkan oleh :

1. Kontak antara ujung elektroda dengan daerah las yang cair.
2. Kontak antara logam pengisi dengan ujung elektroda yang panas.
3. Ujung elektroda yang terkontaminasi oleh percikan dari daerah las.
4. Pemakaian arus yang lebih besar dari yang seharusnya digunakan untuk ukuran dan tipe elektroda tertentu.
5. Elektroda yang digunakan cacat/retak.

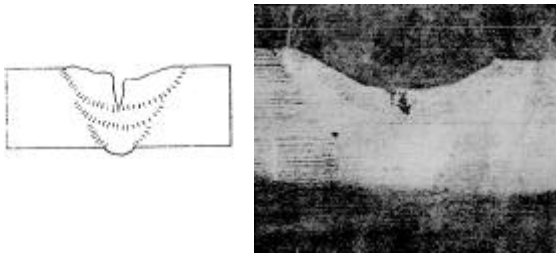
Sedangkan cacat yang dapat terjadi pada las busur listrik antara lain *incomplete penetration*, *incomplete fusion* serta *undercut*. Contoh cacat pada lasan seperti pada Gambar 9-12.



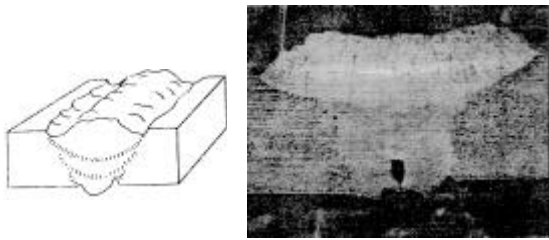
Gambar 9 Porosity⁽⁶⁾



Gambar 10 *Incomplete Penetration*⁽⁶⁾



Gambar 11 Crater⁽⁶⁾



Gambar 12 External dan Internal Undercut⁽⁶⁾

3. Data dan Pembahasan

3.1. Variasi Pengelasan dan Kodifikasi Sampel

Variasi pengelasan dan kodifikasi sampel di-tabelkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Kodifikasi Sampel dengan Variasi Kondisi Pengelasan

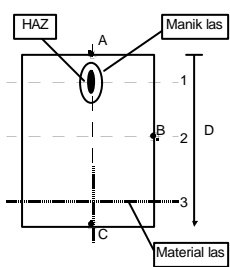
Nama Sampel	Posisi Ground	Arus	Polaritas
B1	A	150	DCSP
B2	A	200	DCSP
B3	B	150	DCSP
B4	B	200	DCSP
B5	C	150	DCSP
B6	C	200	DCSP

Keterangan :

B1_γ, γ menunjukkan potongan ke . . .

Contoh :

B1₃, posisi ground pada A, arus 150 A, DCSP, pada potongan ke-3.



Keterangan Gambar :

- A = Ground Connect
- B = Ground Connect
- C = Ground Connect
- D = Arah pengelasan
- 1 = Pemotongan pada jarak 1,5 cm dari awal panjang material las.
- 2 = Pemotongan pada jarak 5 cm dari awal panjang material las.
- 3 = Pemotongan pada jarak 8.5 cm dari awal panjang material las.

Gambar 13 Penempatan Posisi Ground serta Jarak Pemotongan yang Dilakukan Setelah Proses Pengelasan

3.2. Ukuran Deposit Las, HAZ, Dan Cacat Las

Tabel 4 mencatat ukuran lebar dan tinggi bead, lebar HAZ, serta cacat las yang terjadi.

Tabel 4 Lebar dan Tebal Bead, Lebar HAZ, serta Cacat Las

NO GB.	NAMA SAMPEL	LEBAR BEAD (mm)	TEBAL BEAD (mm)	LEBAR HAZ (mm)	CACAT LAS
1.	B1.1	8,56	3,46	13,06	Undercut, incomplete penetration
2.	B1.2	6,5	3,53	10,66	Undercut, incomplete penetration
3.	B1.3	6,83	3,73	12,53	Undercut, incomplete penetration, crater, percikan
4.	B2.1	8,9	3,13	13,76	Undercut, incomplete penetration, porositas
5.	B2.2	7,5	2,8	11,73	Undercut, incomplete penetration, porositas
6.	B2.3	7,56	3,3	12,1	Undercut, incomplete penetration, crater, percikan
7.	B3.1	7,16	4,33	11,63	Undercut, incomplete penetration
8.	B3.2	6,93	3,16	12,06	Undercut, incomplete penetration
9.	B3.3	6,7	3,8	12,03	Undercut, incomplete penetration, crater
10.	B4.1	8,13	4,3	12,16	Undercut, incomplete penetration, porositas
11.	B4.2	7,6	2,7	12,33	Undercut, incomplete penetration, porositas
12.	B4.3	7,23	4,9	12,06	Undercut, porositas, crater
13.	B5.1	7,23	4,26	12,3	Undercut, incomplete penetration, porositas
14.	B5.2	6,83	3,23	11,16	Undercut, incomplete penetration,

Dilanjutkan

Lanjutan

15.	B5 ₃	7,4	2,83	12,6	Undercut, incomplete penetration, crater, percikan
16.	B6 ₁	8,5	4,2	12,64	Undercut, porositas
17.	B6 ₂	6,93	2,93	12,26	Undercut, incomplete penetration
18.	B6 ₃	8,63	2,6	12,7	Undercut, incomplete penetration, crater, percikan

Inklusi tungsten juga dijumpai pada semua hasil pengelasan, hanya saja jumlahnya lebih banyak pada arus las 200 A dibandingkan dengan arus las 150 A.

3.3. Arus Sama, Penempatan Ground Berbeda

Pada potongan pertama, lebar bead B₁₁ (8,56 mm) > B₅₁ (7,23 mm) > B₃₁ (7,16 mm). Hal ini dikarenakan pada B₁₁ peletakan ground pada awal pengelasan sehingga ground menambah *forward arc blow*, pada B₅₁ pengaruh ground kurang dominan terhadap *forward arc blow*. Hal ini dikarenakan penempatan ground pada jarak 8,5 cm dari potongan pertama lasan sehingga ground mengurangi *forward arc blow*. Seperti dijelaskan pada bagian awal bahwa kerapatan fluk magnet karena efek ground akan diseimbangkan oleh arc dengan arah menjauhi ground.⁽⁹⁾ Jika dibandingkan dengan B₃₁ yang penempatan ground pada jarak 5 cm dari awal lasan maka lebar bead B₅₁ lebih besar karena dengan jarak ground yang lebih dekat pada potongan, pengaruh ground untuk mengurangi *forward arc blow* lebih besar.

Pada potongan kedua, untuk lebar bead B₃₂ (6,93 mm) lebih lebar dari B₁₂ (6,5 mm) dan B₅₂ (6,83 mm). Penyebabnya adalah peletakan ground di tengah pada potongan kedua ini menghasilkan blow paling besar dibanding dengan ground pada awal proses (B₁₂) atau pada akhir poses las (B₅₂) yang berakibat pada lebar bead yang terjadi paling lebar. Perlu dicatat juga bahwa ketika meninjau potongan kedua maka efek perubahan medium pada kerapatan fluk magnet jauh berkurang dibanding ketika meninjau potongan pertama. Dengan kata lain, pembahasan karena efek ground menjadi penting pada potongan kedua ini. Berkurangnya lebar bead pada spesimen B₁₂ dan B₅₂ diperkirakan pada kedua kondisi ini busur listrik yang terjadi relatif lebih stabil dibanding dengan spesimen B₃₂.

Pada potongan ketiga, untuk lebar bead B₅₃ (7,4 mm) > B₁₃ (6,83 mm) > B₃₃ (6,7 mm). Peletakan ground pada akhir pengelasan (B₅₃) mengakibatkan ground menambah *backward arc blow*. Pada B₁₃ pengaruh ground kurang dominan karena penempatan ground pada jarak 8,5 cm dari potongan ketiga lasan sehingga ground mengurangi *backward arc blow*. Sementara bila dibandingkan dengan B₃₃ yang penempatan ground pada jarak 5 cm dari akhir lasan maka lebar bead B₁₃ lebih besar karena dengan jarak ground yang lebih dekat pada potongan, pengaruh ground untuk mengurangi *backward arc blow* lebih besar.

Untuk ketiga potongan di atas, dari ukuran deposit las terlihat bahwa ukuran bead yang besar dijumpai pada potongan pertama dan potongan ketiga. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa penyebab terbesar adalah efek perubahan medium dibandingkan efek ground. Dengan semakin besarnya *magnetic arc blow*, dihasilkan bead dan HAZ yang semakin lebar karena panas yang semestinya terkonsentrasi pada daerah las menyebar karena busur las menjadi sulit diarahkan pada daerah yang akan di las.

3.4. Penempatan Ground Tetap, Arus Meningkatkan

Dengan meningkatnya arus (150 A menjadi 200 A), *blow* yang terjadi makin besar karena garis-garis gaya magnet yang menyebabkan timbulnya *arc blow* berbanding lurus dengan besarnya arus. Dengan demikian *arc blow* yang timbul akan lebih besar dengan menggunakan arus tinggi. Hal ini berakibat pada lebar HAZ, lebar bead makin besar disertai penetrasi yang dangkal. Dengan semakin besarnya *blow*, panas busur las yang semestinya terkonsentrasi pada daerah las tidak mengarah pada daerah yang akan di las atau tidak disadari adanya efek *arc blow* sehingga tak dapat memanaskan sampai ke dasar material. Hal ini berlaku untuk semua potongan. Penjelasan untuk ketiga potongan sama dengan pembahasan pada analisa pengaruh penempatan ground di atas. Dengan peletakan ground pada akhir pengelasan, *backward arc blow* yang terjadi paling hebat (lebar bead B₆₃ = 8,63 mm). Hasil pengamatan sewaktu mengelas terjadi suara gemuruh, diduga karena *backward arc blow* berlawanan arah dengan arah pengelasan.

3.5. Cacat Las

Pada semua potongan, terlihat jenis cacat yang tak bisa dihindari yaitu, *undercut* dan *incomplete penetration*. Dalam penelitian ini, *incomplete penetration* dan *undercut* merupakan

cacat las yang diyakini bahwa *magnetic arc blow* menjadi salah satu penyebab, di mana penyebab-penyebab lain didaftar juga pada bagian berikut. Dengan adanya *magnetic arc blow*, bead dan HAZ lebar, penetrasi dangkal, seperti dijelaskan di depan bahwa kehadirannya menyulitkan operator las dalam mengontrol busur listrik. Akibatnya panas yang semestinya terkonsentrasi pada daerah las tidak terfokus sehingga tak dapat memanaskan sampai ke dasar material. Selain karena *magnetic arc blow*, *undercut* juga dapat disebabkan oleh kecepatan las terlalu tinggi, jarak elektroda ke benda kerja terlalu panjang, kesalahan dalam teknik manipulasi elektroda, dan akibat kesalahan kemiringan sudut elektroda. Sedangkan *incomplete penetration* bisa juga disebabkan karena kecepatan las terlalu cepat, kesalahan pembuatan ukuran alur las.

Undercut dan *incomplete penetration* dominan terjadi pada potongan pertama dan ketiga lasan karena adanya pengaruh *forward* dan *backward arc blow*, terutama jika ditambah dengan peletakan ground pada potongan tersebut. Jika dibandingkan antara pengaruh *forward + ground* pada awal pengelasan dengan pengaruh *backward + ground* pada akhir pengelasan maka bead yang terjadi lebih lebar pada *forward + ground* pada awal pengelasan, [B_{11} (8,56 mm) > B_{53} (7,4 mm)] dan [B_{21} (8,9 mm) > B_{63} (8,63 mm)]. Hal inilah yang menyebabkan *undercut* dan *incomplete penetration* lebih dominan terjadi pada potongan pertama lasan dengan peletakan ground pada potongan tersebut.

Porositas paling sering terjadi pada potongan pertama lasan, terutama dengan arus tinggi. Penyebabnya adalah pada potongan pertama pengaruh *magnetic arc blow* paling besar jika dibandingkan dengan potongan kedua dan ketiga. Hal ini disebabkan karena kurangnya ruang perlindungan gas pelindung yang disebabkan oleh *arc blow* sehingga memungkinkan udara masuk ke dalam daerah las.

Cacat las *crater* diamati selalu terjadi pada akhir pengelasan karena pada akhir pengelasan terjadi proses penyusutan terakhir logam cair.⁽²⁾ Selain *crater*, percikan sering terjadi pada akhir lasan terutama jika peletakan ground pada akhir lasan karena pengaruh ground menambah *backward arc blow*, dengan demikian blow yang terjadi makin besar mendorong fasa cair logam mengisi untuk terpercik karena blow yang terjadi berlawanan arah dengan arah pengelasan.

Peningkatan arus las mengakibatkan inklusi tungsten yang terjadi semakin banyak, disebabkan antara karena lelehnya sebagian elektroda tungsten akibat input panas yang tinggi.⁽⁷⁾

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

1. *Magnetic arc blow* timbul karena perbedaan kerapatan fluk magnet akibat efek perubahan medium dan ground. *Magnetic arc blow* ikut berpengaruh pada ukuran, bentuk deposit las yang terjadi, serta lebar HAZ.
2. Perubahan medium adalah penyebab yang dominan terhadap *magnetic arc blow* dibandingkan dengan posisi ground. Hal ini terlihat dari besarnya ukuran bead pada potongan pertama (7,16-8,9 mm) dan ketiga (6,7-8,63 mm) dibandingkan potongan kedua (6,5-7,6 mm).
3. Pengaruh *forward arc blow + ground* pada awal pengelasan berpengaruh lebih besar jika dibandingkan dengan pengaruh *backward arc blow + ground* pada akhir pengelasan maupun ground pada bagian tengah logam las.
4. Hal pada nomor 2 di atas tampak pengaruhnya pada ukuran, bentuk deposit las, lebar HAZ, serta cacat yang menyertainya. *Undercut* dan *incomplete penetration* merupakan cacat yang senantiasa dijumpai pada semua kondisi dengan variasi arus dan lokasi ground. Porositas mendominasi pada potongan pertama karena kurangnya ruang perlindungan oleh gas di sekitar logam cair akibat *arc blow*. Sementara potongan ketiga didominasi oleh cacat *crater* dan percikan.
5. Dengan meningkatnya arus (200 A), pengaruh *magnetic arc blow* makin besar, mengakibatkan ukuran HAZ dan bentuk deposit las makin melebar, serta cacat las yang terjadi lebih banyak.

4.2. Saran

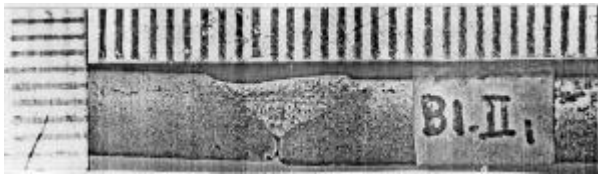
Perlu kelanjutan penelitian dengan menggunakan mesin las otomatis dalam rangka meminimalisasi campur tangan skill operator las. Variasi yang perlu dilakukan adalah memvariasi lebar material, memberikan tambahan logam pada awal dan akhir proses las, serta posisi ground bergerak mengikuti gerakan elektroda.

5. Daftar Pustaka

1. _____, ASTM304A -94, *Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys*.
2. Brumbaugh, James, E. *Welders Guide*. 3rd Edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1986.

3. Davies, S.A. *Theory and Practice of Gas Tungsten Arc Welding*, Harcourt Brace Javanovich Publisher, Sydney.
4. ESAB Welding Handbook. *Manual, Semi/Automatic Welding and Cutting*, 1987.
5. ESAB Welding Handbook. *Filler Materials for Manual and Automatic Welding*.
6. Hanson, Albert and Parr, J. Gordon. *The Engineer's Guide to Steel*, Addison Wesley Publishing Company, Inc, 1965.
7. Kearns, W.H. *Welding Process-Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing and Soldering* AWS. Welding Handbook Seventh Edition, Volume 2 Editor American Welding Society.
8. Smith, Dave. *Welding Skills and Technology*, McGraw-Hill International Editions, 1986.
9. The Lincoln Electric Company. *The Procedure Handbook of Arc Welding*, Twelfth Edition, Chelevand, Ohio, 1973.
10. Wiryosumarto H, Okumura T, *Teknologi Pengelasan Logam*, Edisi Pertama, PT. Pradya Paramita, Jakarta, 1991.

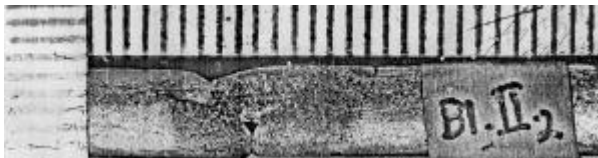
Lampiran Foto Makro



Gambar A Penampang potongan pertama spesimen B1₁



Gambar G Penampang potongan pertama spesimen B3₁



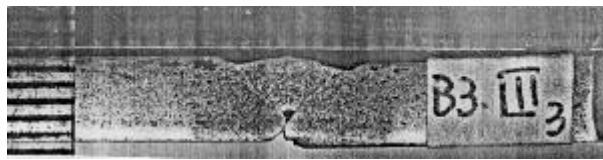
Gambar B Penampang potongan kedua spesimen B1₂



Gambar H Penampang potongan kedua spesimen B3₂



Gambar C Penampang potongan ketiga spesimen B1₃



Gambar I Penampang potongan ketiga spesimen B3₃



Gambar D Penampang potongan pertama spesimen B2₁



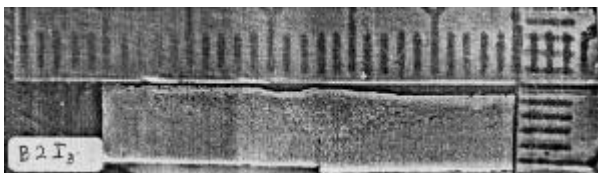
Gambar J Penampang potongan pertama spesimen B4₁



Gambar E Penampang potongan kedua spesimen B2₂



Gambar K Penampang potongan kedua spesimen B4₂



Gambar F Penampang potongan ketiga spesimen B2₃



Gambar L Penampang potongan ketiga spesimen B4₃



Gambar M Penampang potongan pertama spesimen B5₁



Gambar N Penampang potongan kedua spesimen B5₂



Gambar O Penampang potongan ketiga spesimen B5₃



Gambar P Penampang potongan pertama spesimen B6₁



Gambar Q Penampang potongan kedua spesimen B6₂



Gambar R Penampang potongan ketiga spesimen B6₃