

Analisa Pengaruh Kuat Arus Dan Media Pendingin Air, Oli, Udara Terhadap Hasil Uji Partikel Magnetik Dan Uji Makro Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Pada Plat Baja ASTM A36

Nika Ade Anggi Pratama

191020200009

Dr. Mulyadi, S.T., M.T.

**TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO
2025**



PENDAHULUAN

Latar Belakang

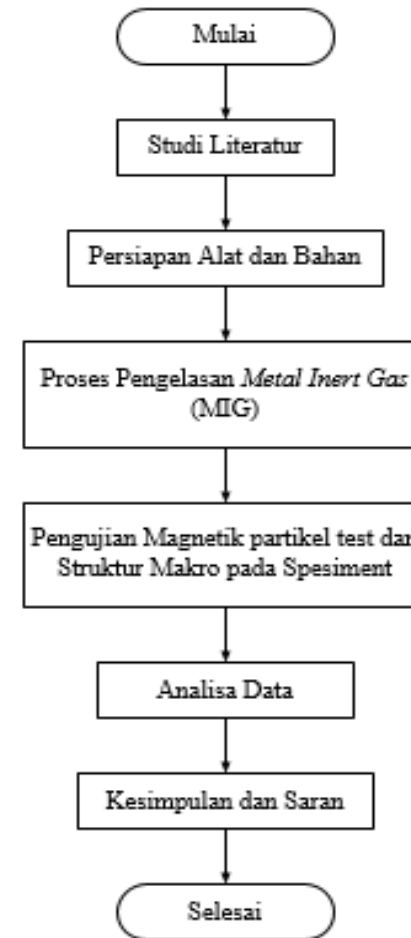
1. Dalam perkembangan teknologi dan industri, baja merupakan salah satu material penting, dibuktikan dengan pemakaiannya yang sudah umum dalam dunia manufaktur, maritim, bahan bangunan, perpipaan, oil and gas, maupun penggunaan substansial yang lain. Hal ini dikarenakan baja memiliki kelebihan pada kekuatan, ketersediaan bahan, versatility, sifat mekanis, dan tingkat ekonomis yang rendah dari pada material yang lain.
2. Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) tidak selalu mudah dilakukan karena sifatnya yang reaktif terhadap oksigen, yang dapat menyebabkan terbentuknya oksida yang mengganggu kualitas pengelasan. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengoptimalkan parameter proses pengelasan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan meminimalkan cacat. Pada pengelasan MIG (Metal Inert Gas) terdapat berbagai macam cacat pengelasan, antara lain undercutting, porositas, slag inclusion, crack/ retak dan kurang penetrasi atau penembusan yang kurang sempurna.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berbagai kombinasi parameter proses MIG (Metal Inert Gas) untuk pengelasan baja, dengan fokus khusus pada pengaruhnya terhadap hasil pengujian partikel magnetik dan makrostruktur.

METODE

Diagram Alur Penelitian

Diagram alir ini dibuat supaya penelitian ini dapat terlaksana sesuai dengantahapan dan menghindari kekeliruan pada saat melakukan penelitian. Oleh karena itu dibuat sebuah diagram alur pada penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

STUDI LITERATUR

Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa referensi dari jurnal, artikel, buku, tugas akhir yang berkaitan, pengamatan secara langsung di lapangan, juga dari media internet, dan diskusi dengan dosen pembimbing yang ada kaitannya dengan besar perencanaan tinjauan parameter pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Terhadap hasil pengujian magnetic partikel dan makrostruktur.



PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

1. Mesin Las MIG Merk LAKONI TIPE MIG 160i

Mesin las MIG merk LAKONI TIPE MIG 160i pada penelitian ini digunakan untuk proses pengelasan dengan menyambungkan antar plat baja ASTM A36 dengan menggunakan elektroda fluxcore diameter 1 mm sehingga membentuk spesimen dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan. Parameter yang dirubah dari mesin las yaitu kuat arusnya yaitu 80 A,100 A,120 A. Untuk tekanan Gas Argon konstan dimasing-masing spesimenya yaitu 0.15 Mpa dengan flow rate 10-15 L/menit.



Gambar 2. Mesin Las MIG merk LAKONI TIPE MIG 160i

PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

2. Mesin CNC Milling

Mesin CNC milling yang dipakai penelitian disini yaitu merk weidamc vmc-640 memiliki 3 axis yang berfungsi untuk melakukan pemotongan spesimen penggunaan mesin cnc milling harus memiliki program yang telah dibuat sebelumnya di aplikasi Solidwork.



Gambar 3. Mesin CNC Milling

PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

3. Alat Uji Magnetik Partikel Test

Pengujian partikel magnetik adalah metode pengujian non-destruktif, yang dapat digunakan untuk memeriksa berbagai komponen dan produk feromagnetik. Ini termasuk pengecoran, penempaan, dan pengelasan. Metode ini digunakan di berbagai sektor industri, terutama saat menentukan apakah sesuatu komponen layak untuk digunakan. Kebocoran medan magnet ini mengindikasikan adanya cacat pada material. Cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran medan magnet adalah dengan menaburkan partikel magnetik dipermukaan. Partikel-partikel tersebut akan berkumpul pada daerah kebocoran medan magnet.



Gambar 4. Alat Uji Magnetik Partikel Test

PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

4. Alat Uji Metalografi

Pengujian metalografi harus membutuhkan alat khusus untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada makrostruktur yaitu menggunakan mikroskop yang mampu melakukan pembesaran hingga 50x . Alat dibawah ini bermerk OLYMPUS BX53M yang digunakan untuk melihat stuktur makro pada plat baja ASTM A36.



Gambar 4. Mikroskop Uji Metalografi OLYMPUS BX53M

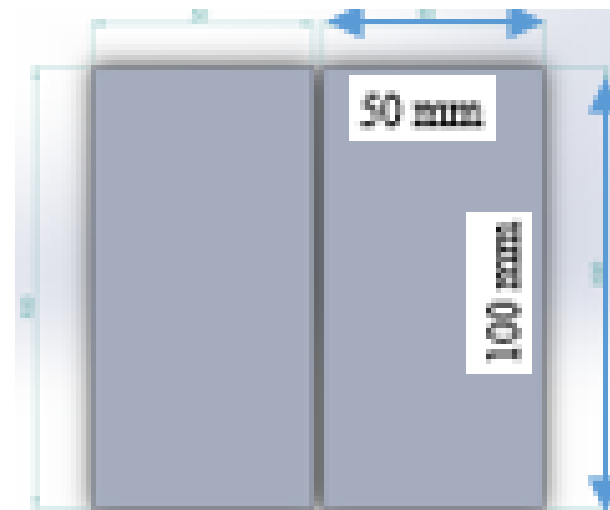
PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

5. Plat Baja ASTM A36

Plat baja ASTM A36 adalah bahan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan kampuh V. Sesuai dengan banyaknya parameter proses pengelasan yaitu 9 spesimen dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 5 mm.



a). potongan plat baja ASTM A36



b). bentuk join pengelasan kampuh V

PROSES PENGELASAN MIG PADA PLAT BAJA ASTM A36

Spesimen plat baja ASTM A36 akan dilas dengan posisi 1G dengan beberapa parameter yang akan menjadi acuan variasi yaitu variasi kuat arus pengelasan dan variasi pendinginan setelah pengelasan.

Tabel 1. Variasi Parameter Proses Pengelasan

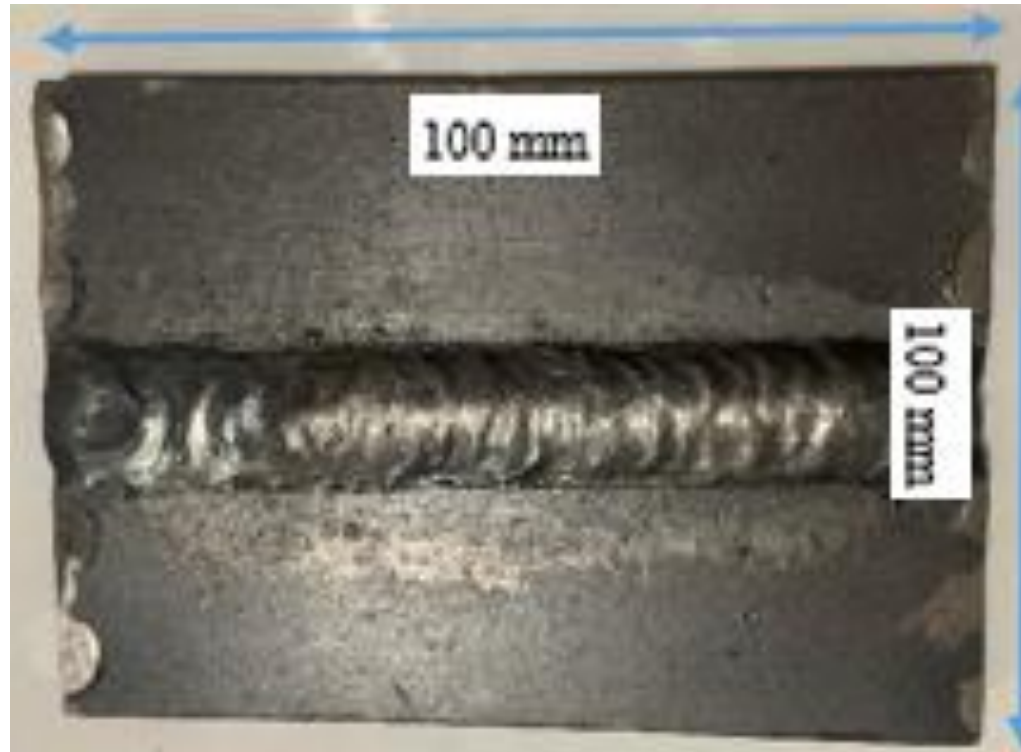
No. Spc	Kuat Arus (A)	Pendingin	Magnetik Partikel Test	Struktur Makro
1	80	Air	X1	Y1
2	80	Udara	X2	Y2
3	80	Olie	X3	Y3
4	100	Air	X4	Y4
5	100	Udara	X5	Y5
6	100	Olie	X6	Y6
7	120	Air	X7	Y7
8	120	Udara	X8	Y8
9	120	Olie	X9	Y9

PROSES PENGELASAN MIG PADA PLAT BAJA ASTM A36

Pada penelitian ini proses Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dilakukan sebanyak 9 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah –langkah proses Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) :

- 1.Siapkan mesin las, elektroda, meja untuk pengelasan dan plat baja ASTM A36 yang akan digunakan.
- 2.Jig atau klem plat aluminium yang telah disiapkan untuk mencegah terjadinya proses pemuaian pada plat.
- 3.Atur Parameter mesin las MIG sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
- 4.Lakukan proses pengelasan pada plat aluminium sebanyak 9 kali.
- 5.Pada setiap hasil pengelasan lakukan pendinginan pada hasil pengelasan sesuai dengan parameter pendingin yang ditentukan.
- 6.Kemudian lakukan pembersihan pada hasil pengelasan di area pengelasan dan memberikan nomer specimen sesuai dengan nomer parameter.
- 7.Apabila semua proses pengelasan sudah selesai lakukan pembersihan lingkungan sekitar pengelasan dan pembersihan pada alat dan bahan pengelasan.

PROSES PENGELASAN MIG PADA PLAT BAJA ASTM A36



Gambar 6. Hasil Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)

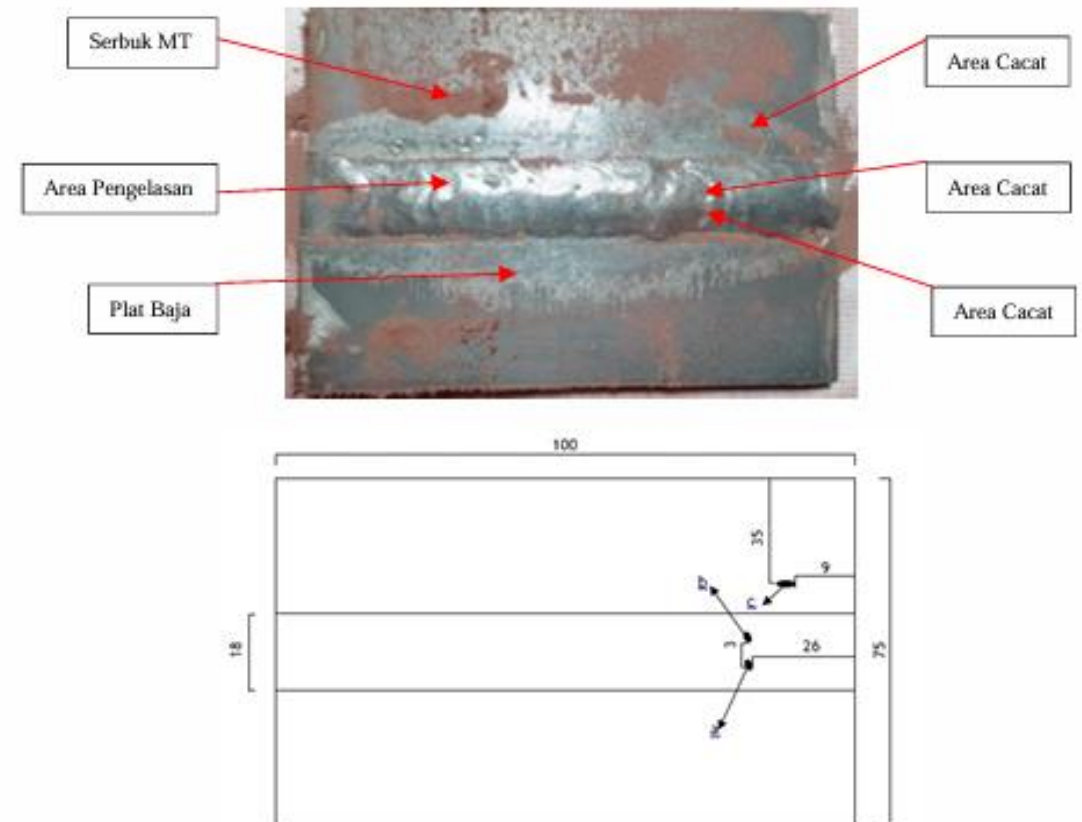
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Mikrostruktur

Pengujian Magnetik Partikel dilakukan dengan pengujian kering yaitu teknik pengujian non-destruktif yang digunakan untuk mendeteksi cacat pada permukaan dan di bawah permukaan material. Teknik ini dilakukan dengan cara menaburkan bubuk magnetik pada permukaan objek yang telah dimagnetisasi.

1. Spesimen 1 atau X1 (80 Ampere Pendingin Air)

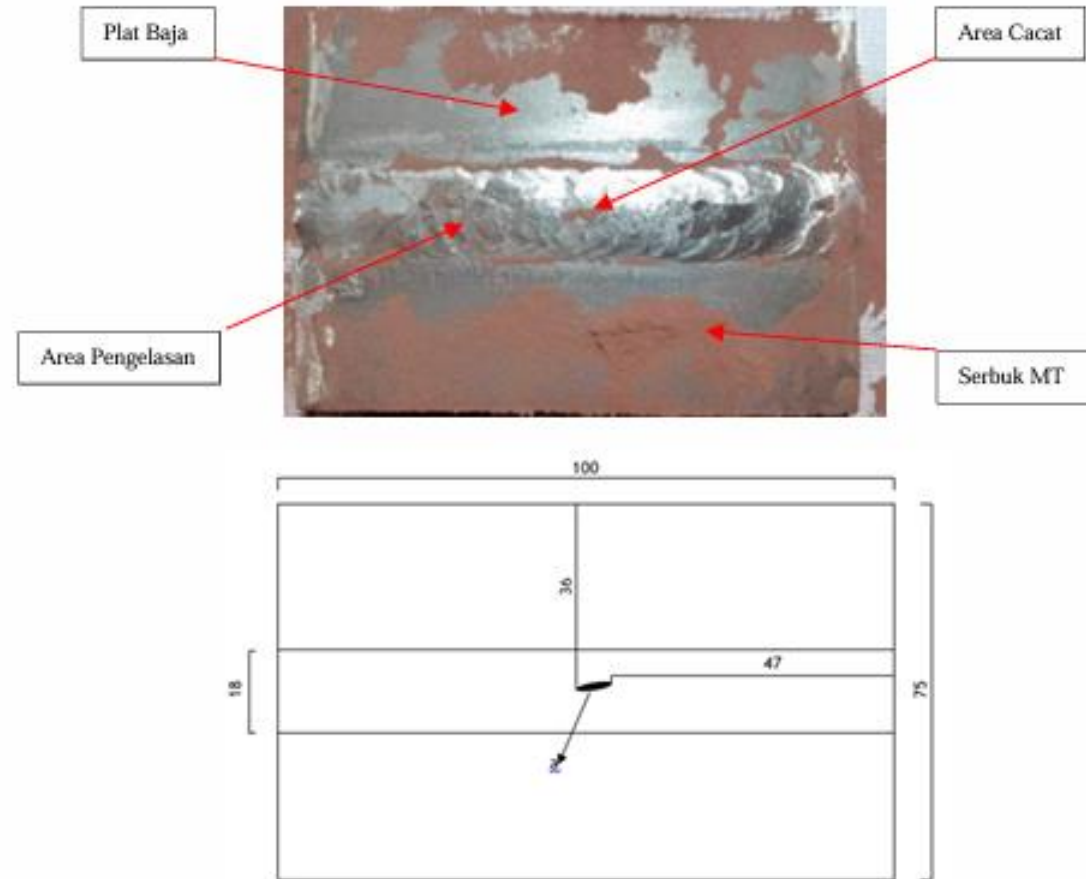
Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 1 dengan parameter 80 ampere pendingin air terdapat cacat pengelasan rounded yaitu a. cacat rounded dengan diameter 3mm dan b. cacat rounded dengan diameter 3 mm juga c. cacat rounded dengan diameter 4 mm.



HASIL DAN PEMBAHASAN

2. Spesimen 2 atau X2 (80 Ampere Pendingin Udara)

Pada **Gambar 8**. Hasil pengujian magnetik partikel pada spesimen 2 dengan parameter 80 ampere pendingin udara terdapat cacat pengelasan linear dengan length 7 mm dan width 3 mm.

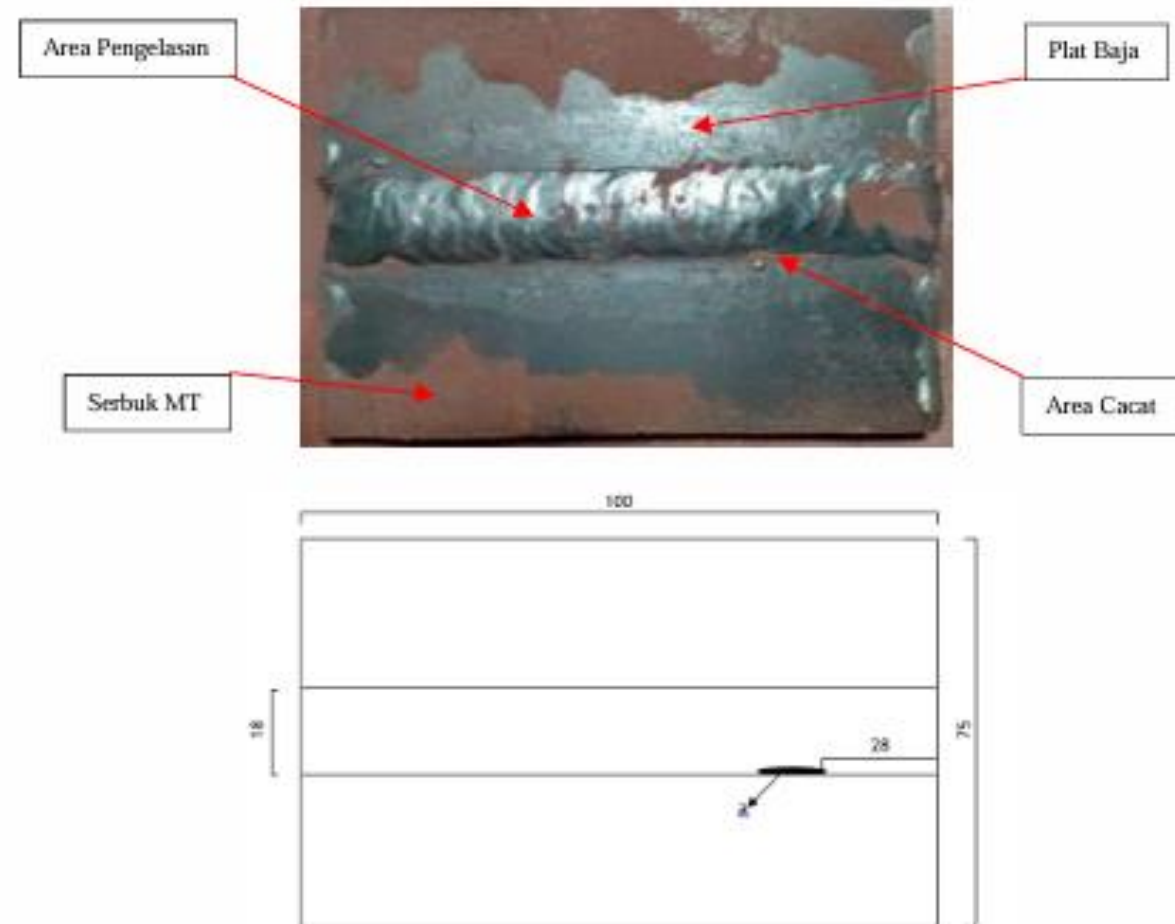


Gambar 8. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 2

HASIL DAN PEMBAHASAN

3. Spesimen 3 atau X3 (80 Ampere Pendingin Oli)

Pada **Gambar 9**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 3 dengan parameter 80 ampere pendingin oli terdapat cacat pengelasan linear dengan length 8 mm dan width 2 mm.

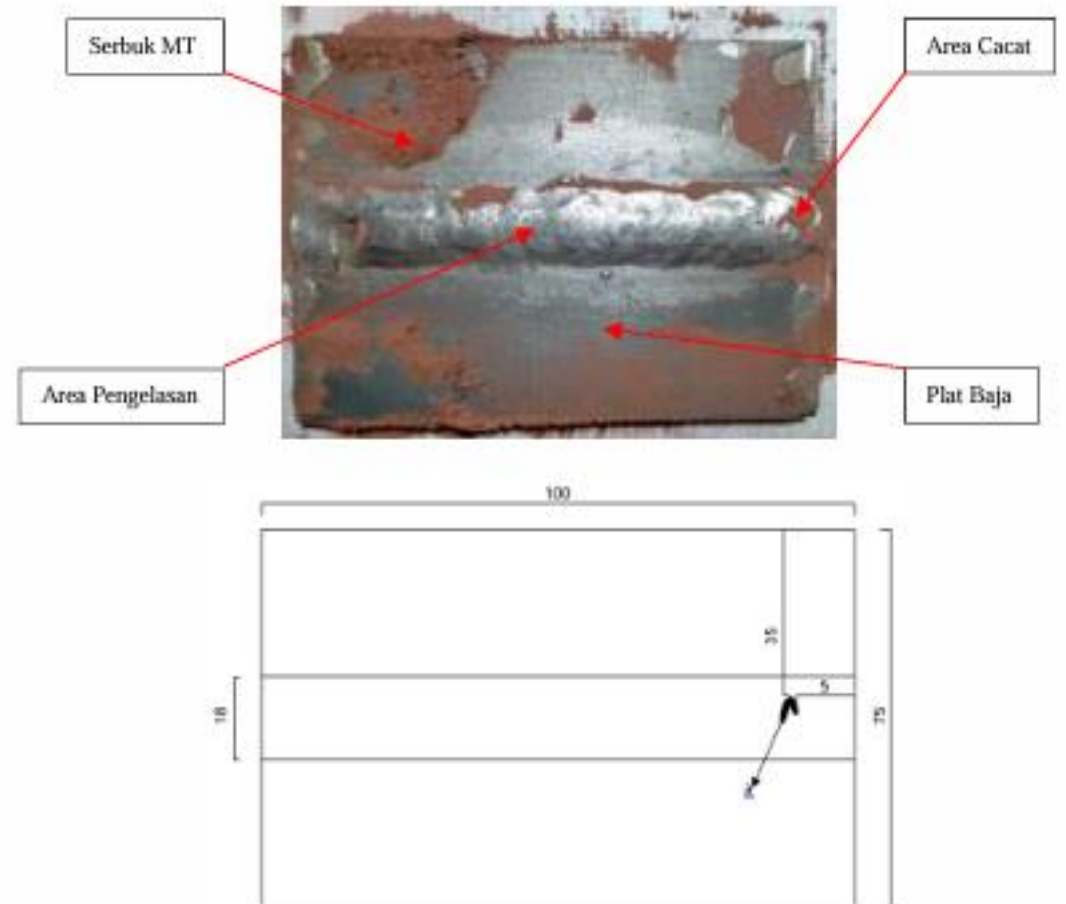


Gambar 9. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. Spesimen 4 atau X 4 (100 Ampere Pendingin Air)

Pada **Gambar 10**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 4 dengan parameter 100 ampere pendingin air terdapat cacat pengelasan rounded dengan diameter 9 mm.

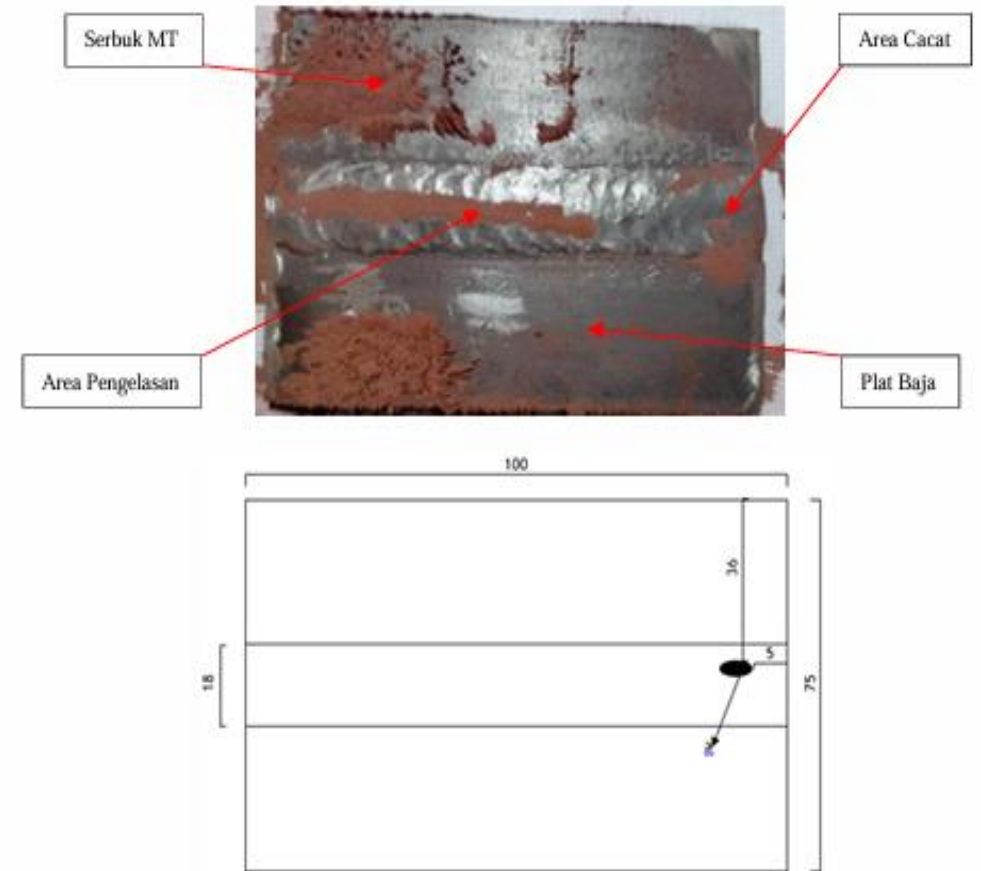


Gambar 10. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

5. Spesimen 5 atau X5 (100 Ampere Pendingin Udara)

Pada **Gambar 11**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 5 dengan parameter 100 ampere pendingin udara terdapat cacat pengelasan rounded dengan diameter 8 mm.

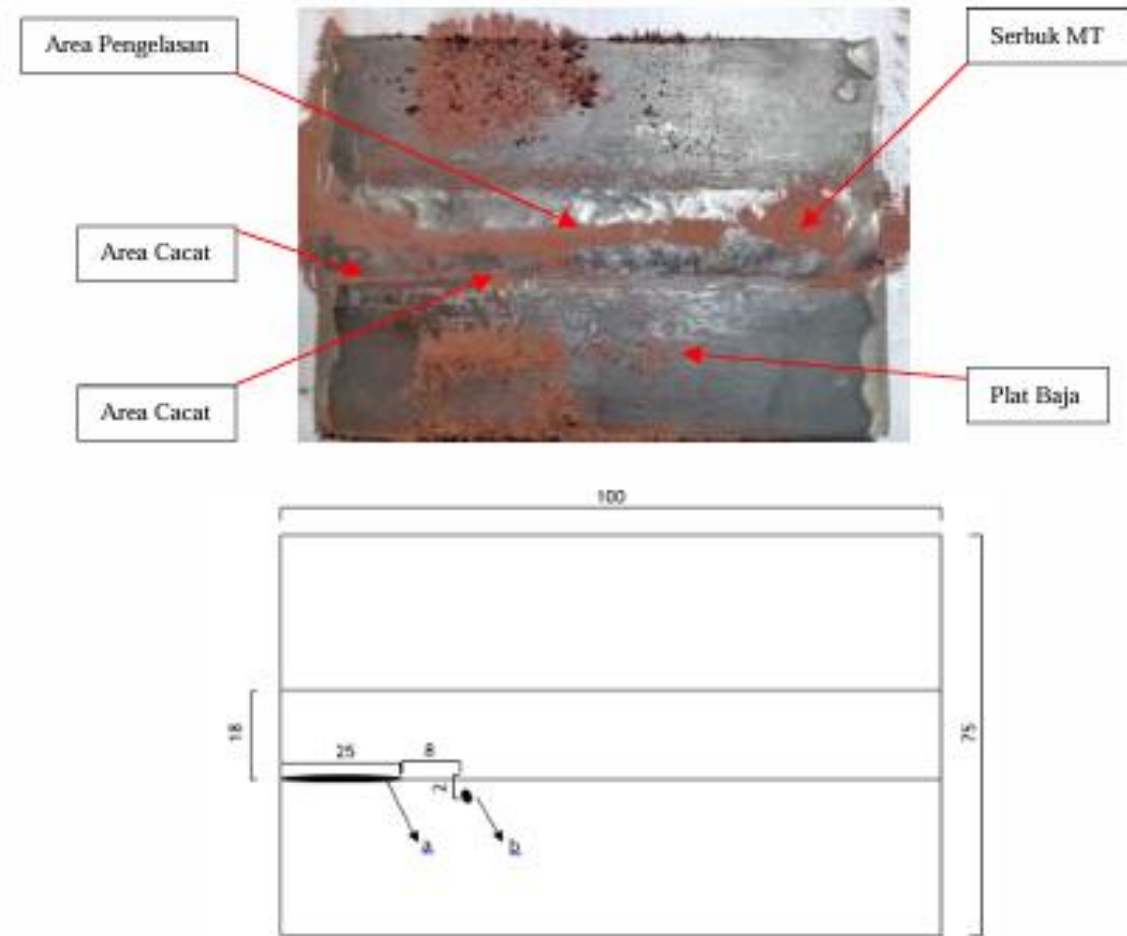


Gambar 11. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

6. Spesimen 6 atau X6 (100 Ampere Pendingin Oli)

Pada **Gambar 12**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 6 dengan parameter 100 ampere pendingin oli terdapat cacat pengelasan linear dan rounded. yaitu pada cacat linear dengan length 12 mm dan width 3 mm dan pada cacat rounded berdiameter 6 mm.

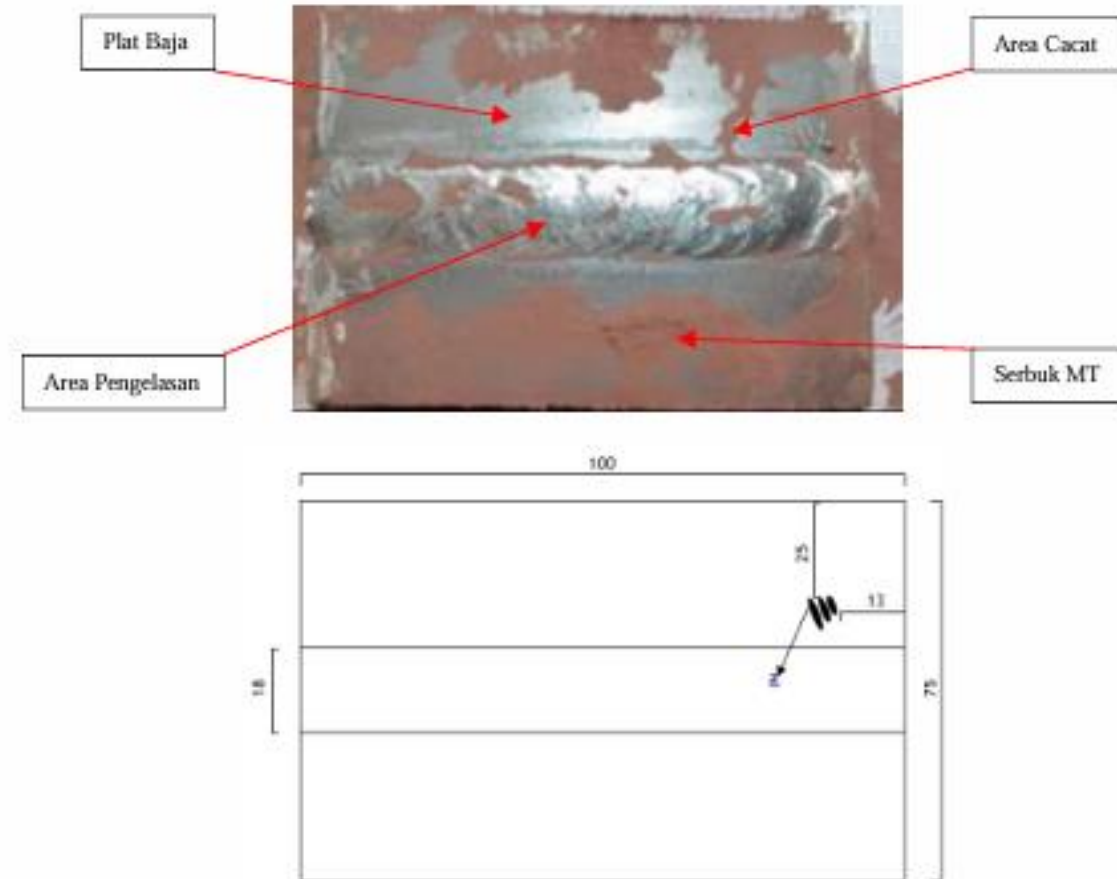


Gambar 12. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 6

HASIL DAN PEMBAHASAN

7. Spesimen 7 atau X7 (120 Ampere Pendingin Air)

Pada **Gambar 13**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 7 dengan parameter 120 ampere pendingin air terdapat 3 cacat pengelasan rounded dengan diameter 8 mm, 6 mm dan 4 mm.

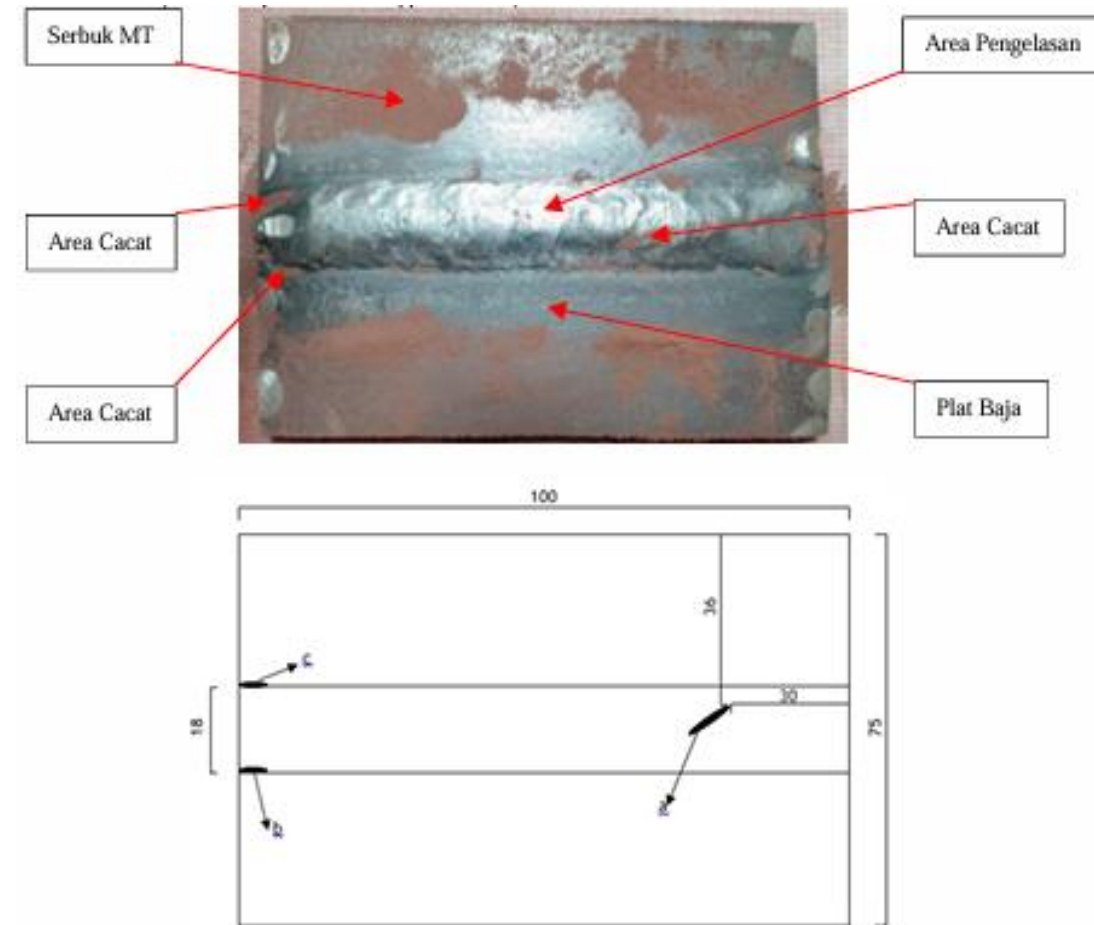


Gambar 13. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 7

HASIL DAN PEMBAHASAN

8. Spesimen 8 atau X8 (120 Ampere Pendingin Udara)

Pada **Gambar 14**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 8 dengan parameter 120 ampere pendingin udara terdapat cacat pengelasan linear dan rounded. yaitu a. cacat linear dengan length 6 mm dan width 3 mm dan b. cacat rounded berdiameter 4 mm juga c. cacat rounded berdiameter 3 mm.

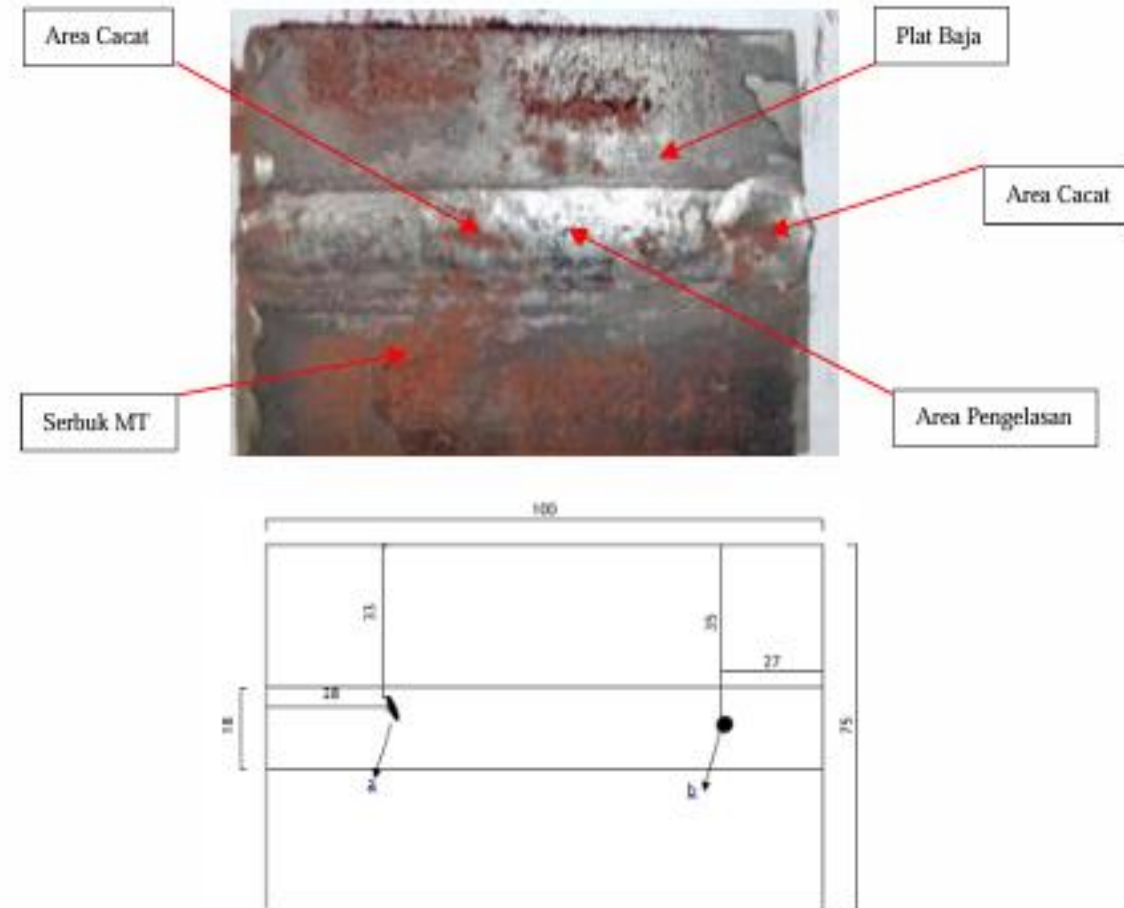


Gambar 14. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 8

HASIL DAN PEMBAHASAN

9. Spesimen 9 atau X9 (120 Ampere Pendingin Oli)

Pada **Gambar 15**. Hasil pengujian magnetic partikel pada spesimen 9 dengan parameter 120 ampere pendingin oli terdapat cacat pengelasan linear dan rounded. yaitu a. cacat linear dengan length 4 mm dan width 2 mm dan b. cacat rounded berdiameter 5 mm.



Gambar 15. Hasil Uji Magnetik Partikel Spesimen 9

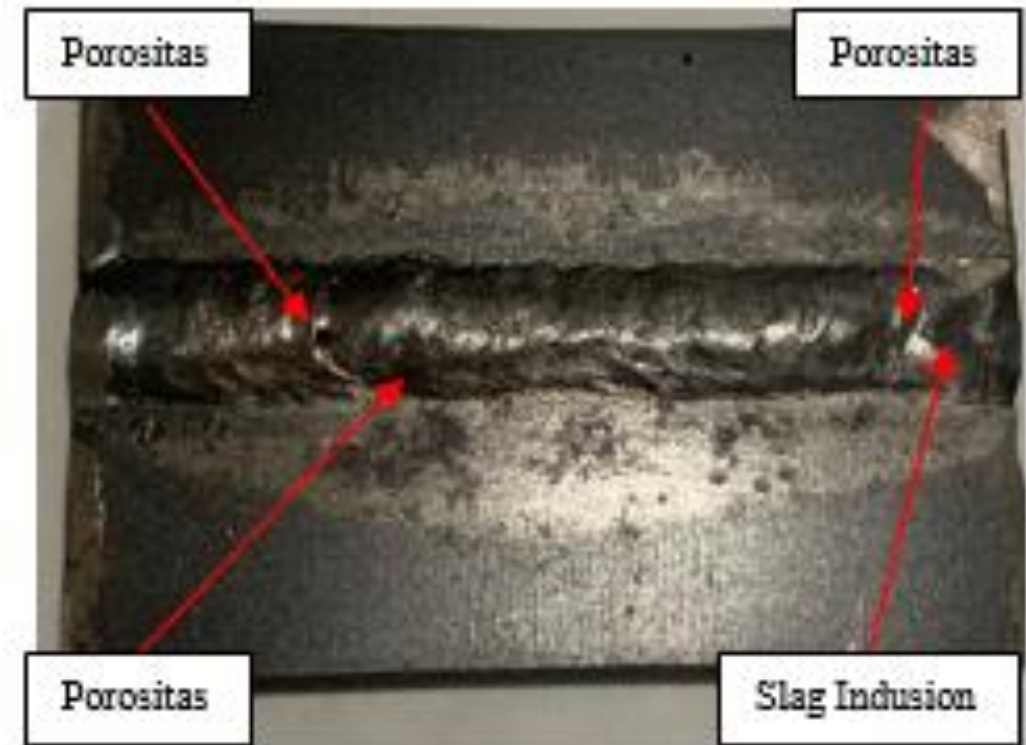
HASIL DAN PEMBAHASAN

B. Uji Makrostruktur

Pengujian Mikrostruktur dilakukan dengan alat Mikroskop Optik menggunakan mikroskop 50 x. Berikut hasil dari pengambilan makrostruktur pengelasan Metal Inert Gas (MIG) plat baja ASTM A36 dengan uji makrostruktur.

1. Spesimen 1 atau Y1 (80 Ampere Pendingin Air)

Sesuai dengan **Gambar 16**. Berdasarkan parameter 80 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat 3 cacat las porositas yaitu lubang kecil pada weld metal dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang terlalu rendah.

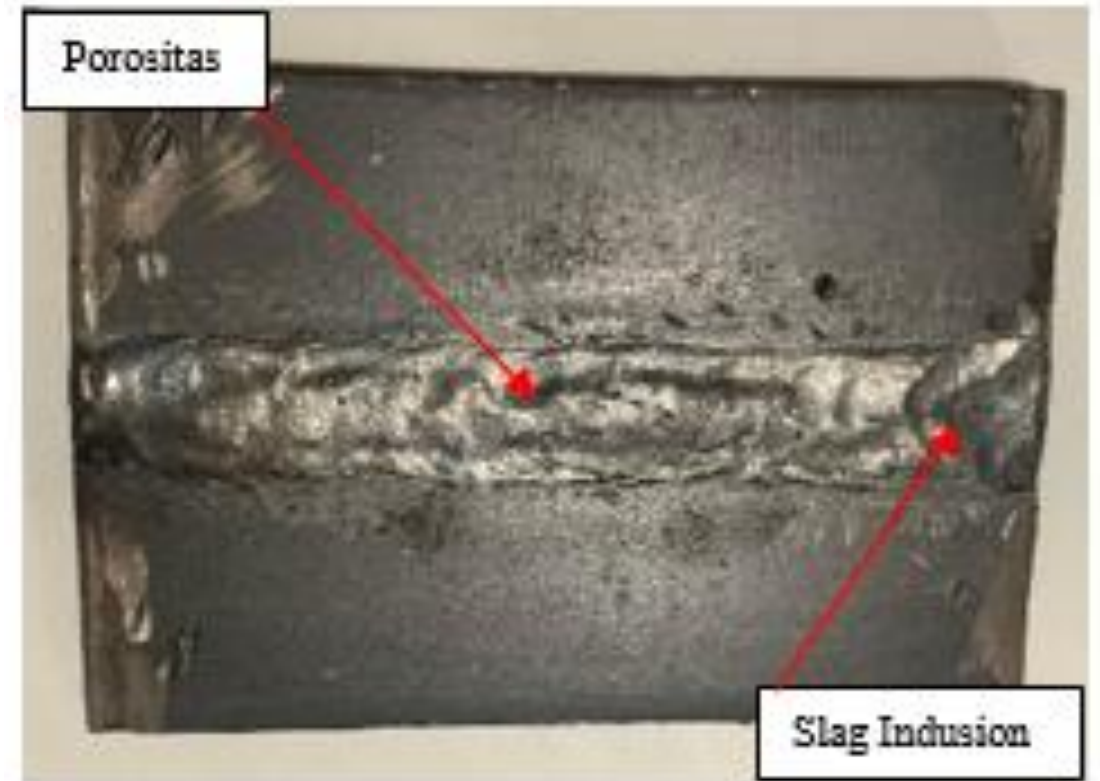


Gambar 16. Makrostruktur Spesimen 1

HASIL DAN PEMBAHASAN

2. Spesimen 2 atau Y2 (80 Ampere Pendingin Udara)

Sesuai dengan **Gambar 17**. Berdasarkan parameter 80 Ampere dan pendingin udara, dimana terdapat 1 cacat las porositas yaitu lubang kecil pada weld metal dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang terlalu rendah.

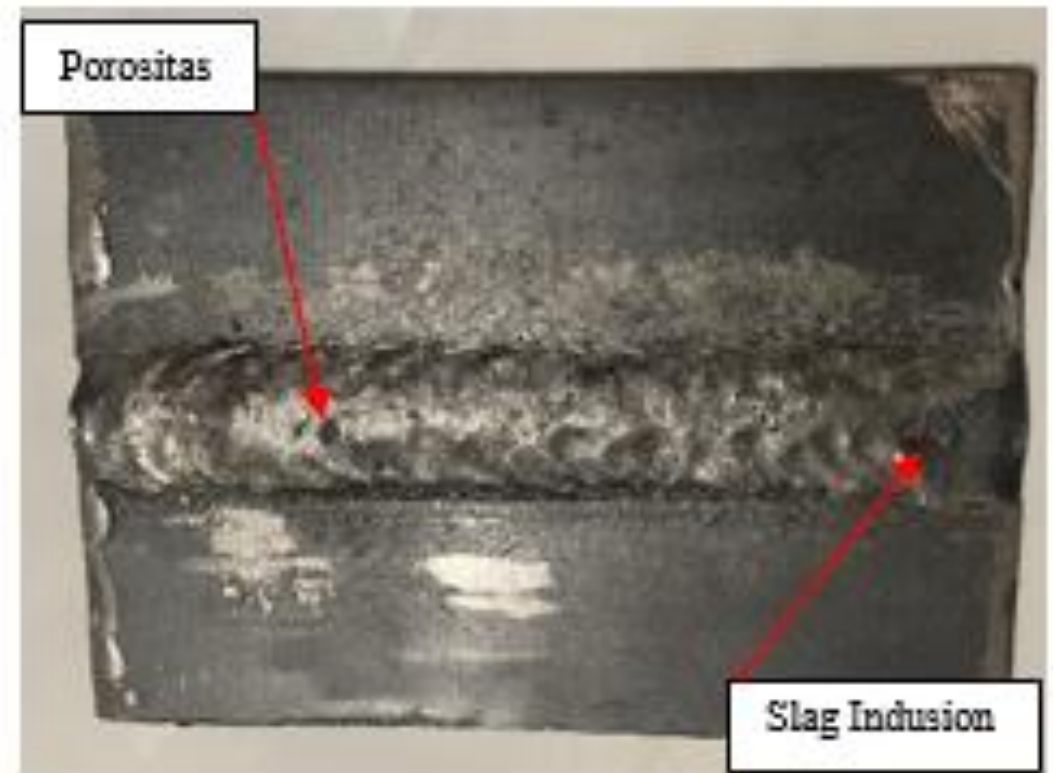


Gambar 17. Makrostruktur Spesimen 2

HASIL DAN PEMBAHASAN

3. Spesimen 3 atau Y3 (80 Ampere Pendingin Oli)

Sesuai dengan **Gambar 18**. Berdasarkan parameter 80 Ampere dan pendingin oli, dimana terdapat 1 cacat las porositas yaitu lubang kecil pada weld metal dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang terlalu rendah.

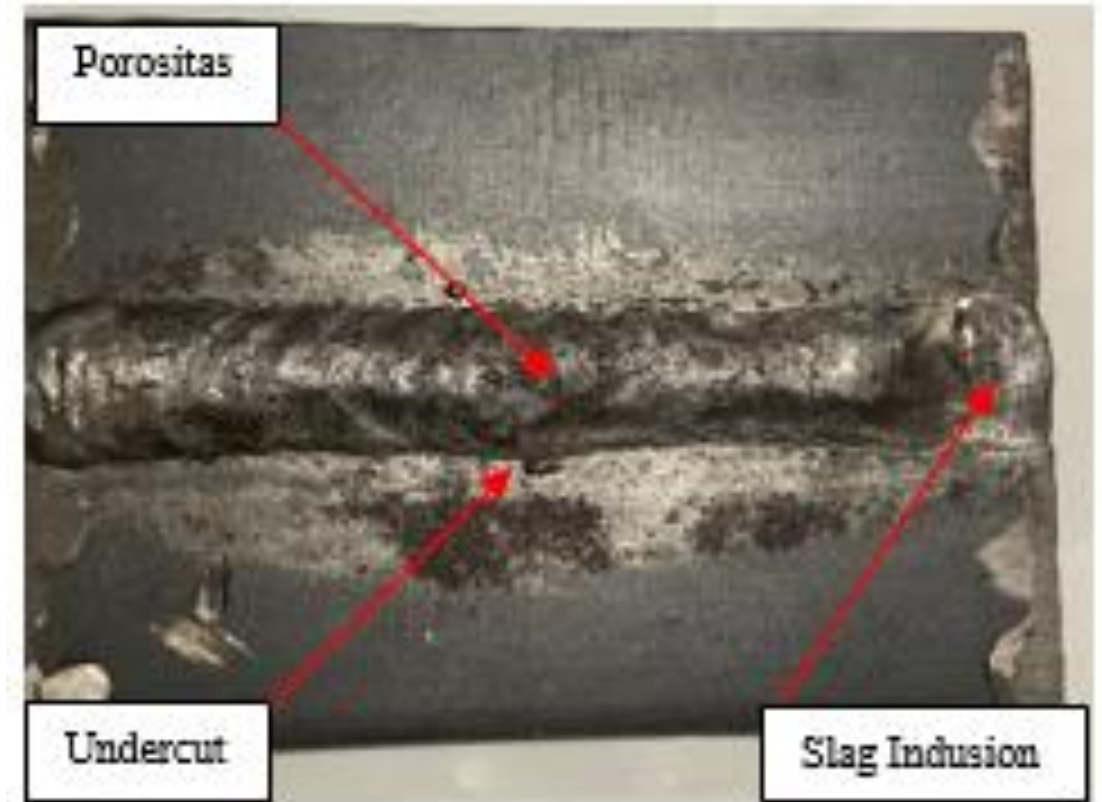


Gambar 18. Makrostruktur Spesimen 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. Spesimen 4 atau Y4 (100 Ampere Pendingin Air)

Sesuai dengan **Gambar 19**. Berdasarkan parameter 100 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat 1 cacat las porositas yaitu lubang kecil pada weld metal, 1 cacat undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal atau logam induk dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang rendah.



Gambar 19. Makrostruktur Spesimen 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

5. Spesimen 5 atau Y5 (100 Ampere Pendingin Udara)

Sesuai dengan **Gambar 20**. Berdasarkan parameter 100 Ampere dan pendingin udara, dimana terdapat 1 cacat undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal atau logam induk dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang rendah.

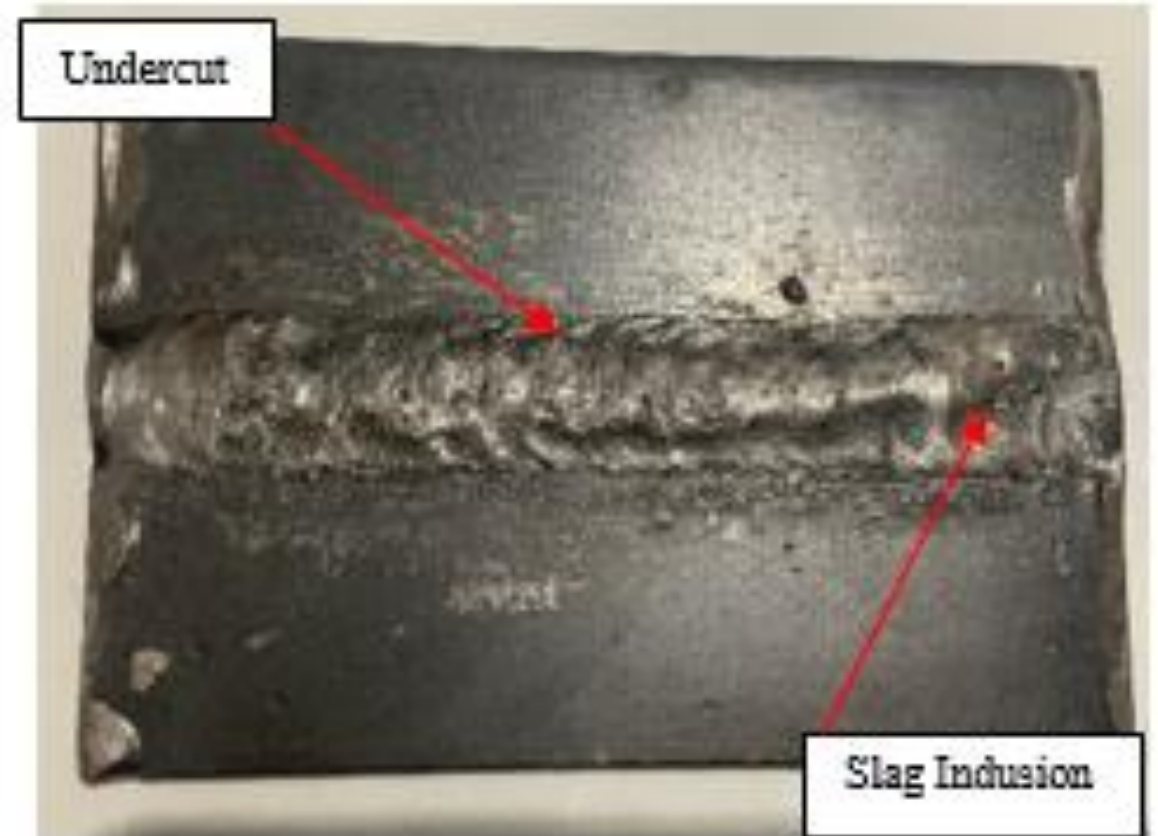


Gambar 20. Makrostruktur Spesimen 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

6. Spesimen 6 atau Y6 (100 Ampere Pendingin Oli)

Sesuai dengan **Gambar 21**. Berdasarkan parameter 100 Ampere dan pendingin oli, dimana terdapat 1 cacat undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal atau logam induk dan 1 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang rendah.

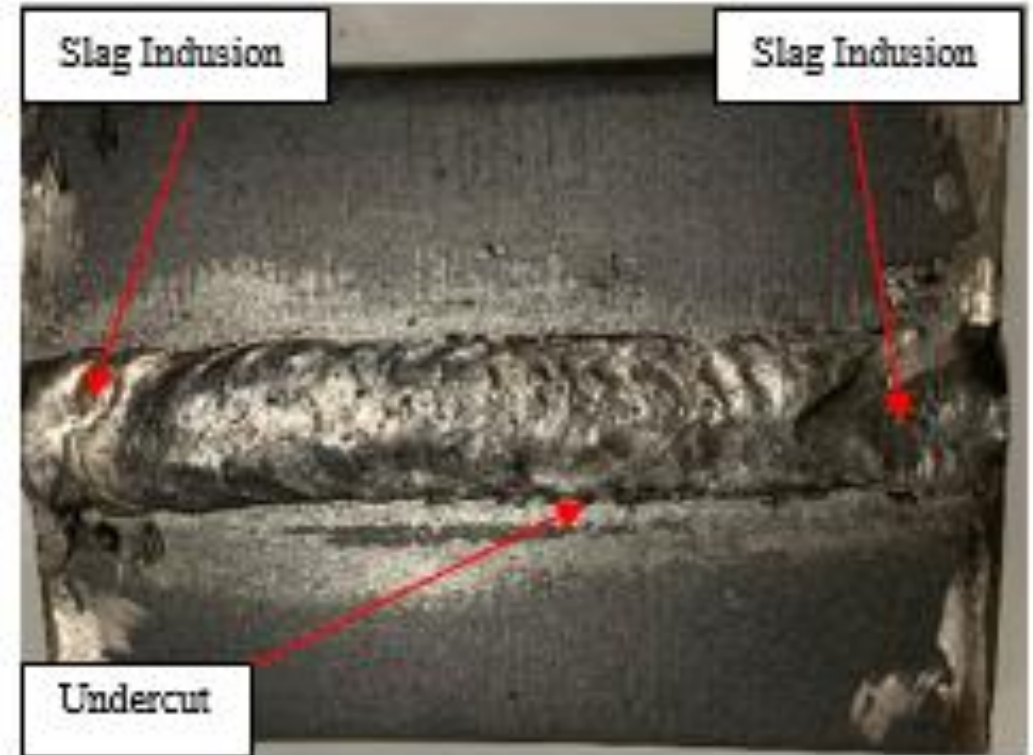


Gambar 21. Makrostruktur Spesimen 6

HASIL DAN PEMBAHASAN

7. Spesimen 7 atau Y7 (120 Ampere Pendingin Air)

Sesuai dengan **Gambar 22**. Berdasarkan parameter 120 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat 1 cacat undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal atau logam induk dan 2 cacat las slag inclusion cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang rendah.



Gambar 22. Makrostruktur Spesimen 7

HASIL DAN PEMBAHASAN

8. Spesimen 8 atau Y8 (120 Ampere Pendingin Udara)

Sesuai dengan **Gambar 23**. Berdasarkan parameter 120 Ampere dan pendingin udara, dimana tidak terdapat cacat pada spesimen pengelasan.

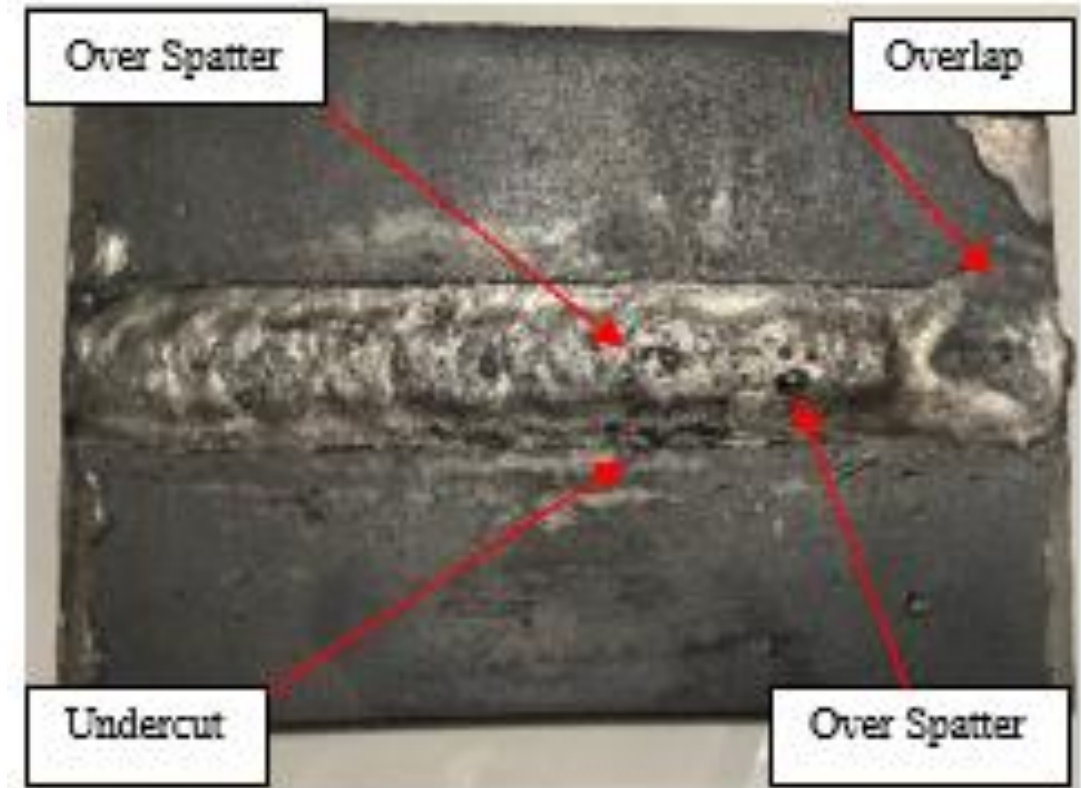


Gambar 23. Makrostruktur Spesimen 8

HASIL DAN PEMBAHASAN

9. Spesimen 9 atau Y9 (120 Ampere Pendingin Oli)

Sesuai dengan Gambar 24. Berdasarkan parameter 120 Ampere dan pendingin oli, dimana terdapat 1 cacat pengelasan undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal, 1 cacat overlap yaitu pengelasan melebihi kampuh las dan 2 cacat over spatter pada spesimen pengelasan, karena ampere pengelasan yang tinggi.



Gambar 24. Makrostruktur Spesimen 9

HASIL DAN PEMBAHASAN

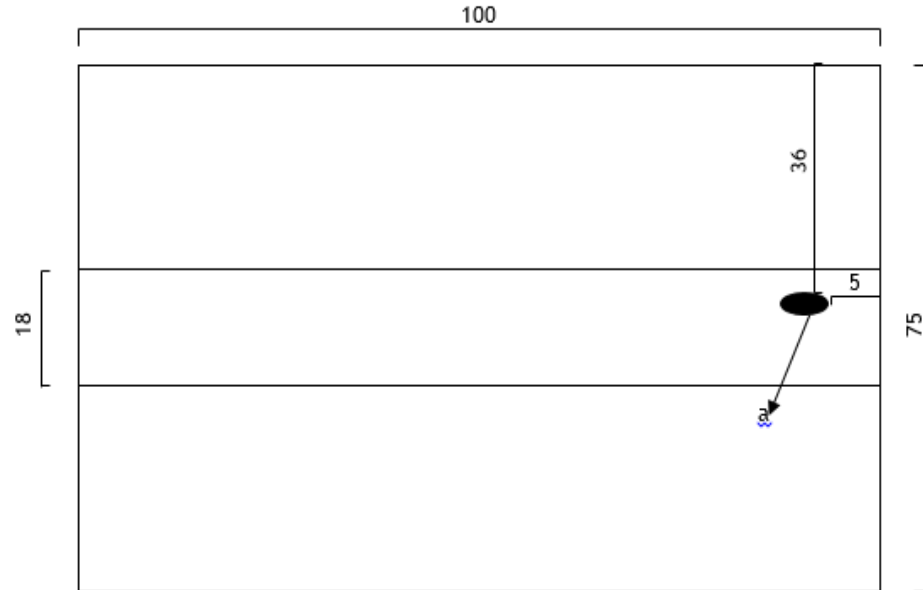
C. Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Partikel Magnetik dan Uji Makrostruktur

Untuk memudahkan pemahaman pada data dari hasil uji magnetik partikel dan uji makrostruktur dilakukan proses analisa pada hasil pengelasan Metal Inert Gas (MIG). Tujuan analisa ini guna visualisasi yang lebih baik dan lebih mudah dimengerti.

Berdasarkan pada uji magnetik partikel dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 5 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin udara karena pada spesimen 5 dengan parameter 100 ampere pendingin udara terdapat cacat pengelasan rounded dengan diameter 8 mm, kemudian hasil terburuk adalah spesimen 6 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin oli karena terdapat cacat pengelasan linear dan rounded. yaitu pada cacat linear dengan length 12 mm dan width 3 mm dan pada cacat rounded berdiameter 6 mm.

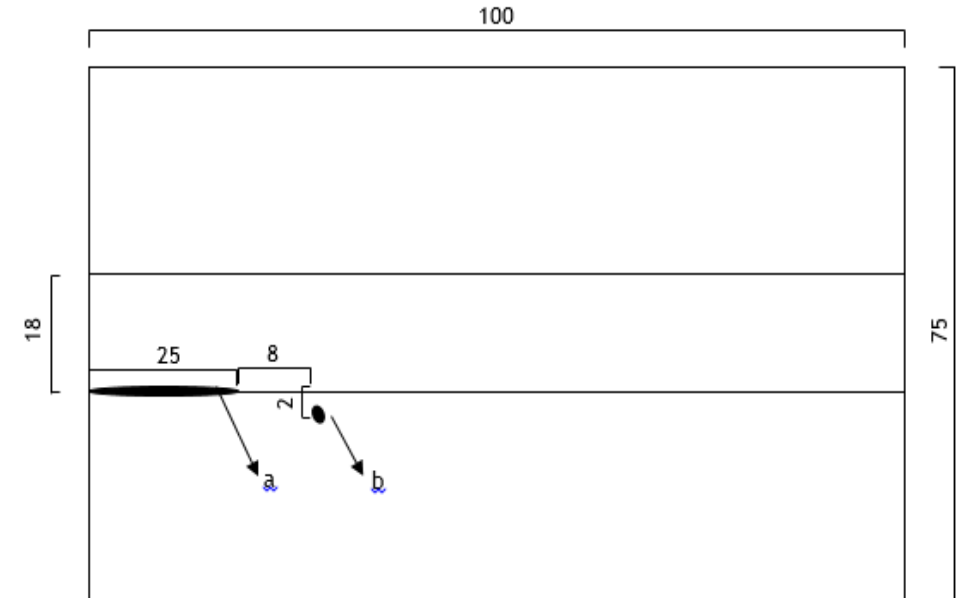
HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesimen 5 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin udara



Gambar 25. Hasil Pengujian Magnetik Partikel Terbaik

Spesimen 6 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin oli



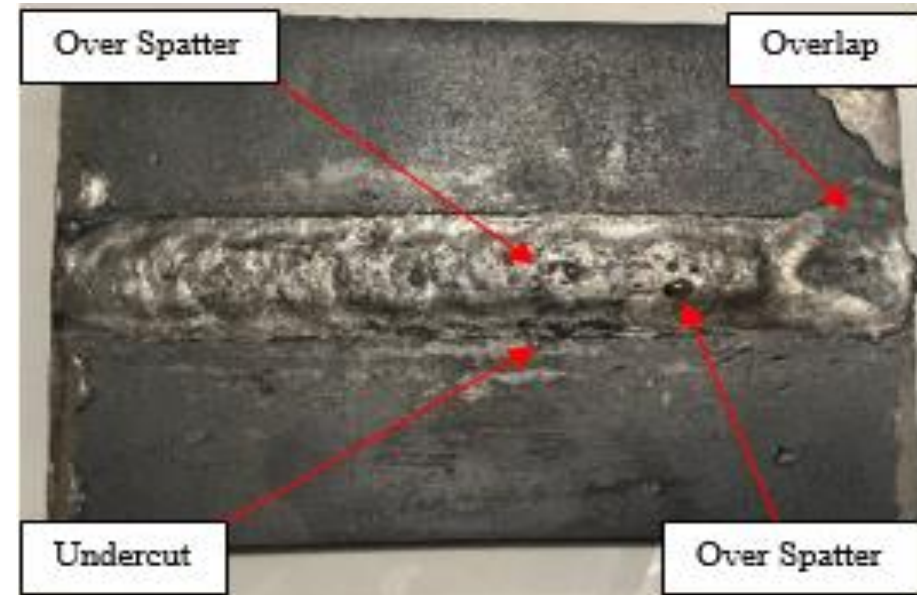
Gambar 26. Hasil Pengujian Magnetik Partikel Terburuk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pada uji makrostruktur partikel dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 8 dengan parameter 120 Ampere dan pendingin udara karena dimana tidak terdapat cacat pada spesimen pengelasan, kemudian hasil terburuk adalah spesimen 9 dengan parameter 120 Ampere dan pendingin oli karena dimana terdapat 1 cacat pengelasan *undercut* yaitu cerukan yang terjadi pada *base metal*, 1 cacat overlap yaitu pengelasan melebihi kampuh las dan 2 cacat *over spatter* pada spesimen pengelasan, karena ampere pengelasan yang tinggi.



Gambar 27. Hasil Pengujian Makrostruktur Terbaik



Gambar 28. Hasil Pengujian Makrostruktur Terburuk

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Analisa Pengaruh Variabel Kuat Arus Dan Pendingin Air, Oli, Udara Terhadap Hasil Uji Partikel Magnetik Dan Uji Makro Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Pada Plat Baja ASTM A36” dapat disimpulkan :

1. Pengujian magnetik partikel dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 5 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin udara karena pada spesimen 5 dengan parameter 100 ampere pendingin udara terdapat cacat pengelasan rounded dengan diameter 8 mm, kemudian hasil terburuk adalah spesimen 6 dengan parameter 100 Ampere dan pendingin oli karena terdapat cacat pengelasan linear dan rounded. yaitu pada cacat linear dengan length 12 mm dan width 3 mm dan pada cacat rounded berdiameter 6 mm.
2. Pengujian makrostruktur partikel dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 8 dengan parameter 120 Ampere dan pendingin udara karena dimana tidak terdapat cacat pada spesimen pengelasan, kemudian hasil terburuk adalah spesimen 9 dengan parameter 120 Ampere dan pendingin oli karena dimana terdapat 1 cacat pengelasan undercut yaitu cerukan yang terjadi pada base metal, 1 cacat overlap yaitu pengelasan melebihi kampuh las dan 2 cacat over spatter pada spesimen pengelasan, karena ampere pengelasan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Marthiana et al., "Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Pengelasan MIG Pada Material ST 37," *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 140-144, 2020.
- [2] I. N. Sihombing, S. Jokosiworo, and B. A. Adietya, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [3] R. Wurdhani, U. Budiarto, and W. Amiruddin, "Pengaruh Perlakuan Panas (Heat Treatment) Normalizing Terhadap Kekuatan Impak Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 70-78, 2020.
- [4] A. Sebayang, E. Tarigan, and L. Tarigan, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan 120 A, 130 A, 140 A, dan 150 A terhadap Kekuatan Tarik pada Material ST 37 dengan Metode Pengelasan Metal Inert Gas (MIG)," *Jurnal Pustaka Cendekia Hukum dan Ilmu Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 118-124, 2024.
- [5] Y. R. Fauzi and M. Arsyad, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment Proses Pengelasan MIG Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045," *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology*, vol. 3, no. 02, pp. 9-14, 2024.
- [7] A. F. Al Faridzi, "Ketahanan Baja Astm A36 Terhadap Pengujian Tarik Dan Bending Dengan Proses Pengelasan Smaw Dan Metalografi," *Rekayasa Sistem Energi dan Manufaktur (ReSEM)*, vol. 2, no. 2, pp. 109-118, 2024.
- [8] W. Fsw, T. Sifat, M. Dan, M. Pada, dan A. Paduan, "Pengaruh Kecepatan Feedrate Friction Stir," no. November 2021. 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [9] R. H. Aruan, H. Pratikno, and Y. S. Hadiwidodo, "Analisis Pengaruh Suhu Material Pada Pengaplikasian Coating Epoxy Terhadap Kekuatan Adhesi Baja A36," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 1, pp. F34-F40, 2023.
- [10] Setiawan, A. (2016). Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Untuk Variasi Arus 50 A, 100 A dan 160 A Dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji Kekerasan Dan Uji Impact (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [11] Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M. (2021). Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 14, 10-21070.
- [12] Wardana, A. I., & Mulyadi, M. Analysis of Underwater Friction Stir Welding (UFSW) Process Joint on AA6005-T6 Series Alumunium Alloy on Tensile Strength and Macro Structure: Analisa Sambungan Proses Underwater Friction Stir Welding (UFSW) pada Paduan Aluminium Seri AA6005-T6 terhadap Kuat Tarik dan Struktur Makro.
- [13] Subkhan, M. F., & Mulyadi, M. Confirmation Experiment of Friction Stir Welding Process on Aluminum Alloy Aa-6061-T6561 on Tensile Strength and Weld Penetration: Eksperimen Konfirmasi Proses Friction Stir Welding pada Material Alumunium Alloy Aa-6061-T6561 Terhadap Kekuatan Tarik dan Penetrasi Las.
- [14] M. A. I. Muslim and Iswanto, "Pengaruh Parameter Pengelasan Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Polimer Jenis Polyethylene," *Progr. Stud. Tek. Mesin, Univ. Muhammadiyah Sidoarjo*, pp. 1–9, 2023.
- [15] Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, "Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy: Defect Analysis and Process Improvement," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665.

