

**Pengaruh Penggunaan Magnet Eksternal dan variasi arus Pada
Pengelasan TIG Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan
Tarik Baja Karbon Rendah**

*The Effect of Using External Magnets and Current Variations in TIG
Welding on the Microstructure, Hardness and Tensile Strength of Low
Carbon Steel*

**Fajar Paundra¹, Faturrizky Rakha Yudanta¹, Abdul Muhyi¹, Eko Pujiyulianto¹, Febri
Budi Darsono²**

¹Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia.

²Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia.

e-mail: fajar.paundra1@ms.itera.ac.id, faturrizky.1181700611@student.itera.ac.id,
abdul.muhyi1@ms.itera.ac.id, eko.pujiyulianto1@ms.itera.ac.id,
Febribudi2@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Medan magnet eksternal dapat meningkatkan kualitas dari hasil pengelasan TIG. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan magnet eksternal dalam proses pengelasan TIG. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja SS400. Proses pengelasan menggunakan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan variasi arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A serta menggunakan tambahan 2 magnet eksternal jenis Neodymium. Pengujian hasil pengelasan berupa struktur makro, mikro, uji kekerasan vickers dan uji tarik. Hasil pengujian struktur makro menunjukkan beberapa cacat hasil pengelasan seperti Porositas, *Incomplete Penetration*, *Underfill*, dan Distorsi. Sedangkan hasil pengujian struktur mikro menunjukkan pada *base metal* terdapat struktur jenis *Ferrite* dan *Pearlite*. Bagian HAZ terdapat struktur jenis *Ferrite*, *Pearlite*, dan *Martensite*. Hasil pengujian tarik paling tinggi terdapat pada sambungan pengelasan TIG tanpa menggunakan magnet dengan arus 100 A yaitu sebesar 368,234 MPa. Hasil pengujian kekerasan paling tinggi terdapat pada sambungan pengelasan TIG menggunakan magnet dengan arus 100 A yaitu sebesar 176,712 HVN. Penggunaan magnet eksternal dapat menghasilkan penetrasi besar saat proses pengelasan dan menghasilkan sambungan las yang baik. Sebaliknya, hal tersebut dapat berakibat buruk terhadap hasil pengelasan jika jarak busur listrik dengan material tidak tepat, dan *torch* tidak bergerak sesuai pada jalur pengelasan.

Kata kunci: Magnet; Mikrostruktur; Tarik; TIG.

Abstract

External magnetic fields can improve the quality of TIG welding results. This research aims to determine the effect of external magnetic fields in the TIG welding process. The material used in this research is SS400 steel. The welding process uses TIG (Tungsten Inert Gas) with varying currents of 70 A, 80 A, 90 A and 100 A and uses additional 2 Neodymium external magnets. Testing of welding results in the

form of macro, micro structure, Vickers hardness test and tensile test. The macro structure test results show several welding defects such as porosity, incomplete penetration, underfill and distortion. Meanwhile, the results of microstructure testing show that the base metal contains ferrite and pearlite structures. The HAZ section contains ferrite, pearlite and martensite types of structures. The highest tensile test results were found in TIG welding connections without using a magnet with a current of 100 A, namely 368.234 MPa. The highest hardness test results were found in TIG welding joints using a magnet with a current of 100 A, namely 176,712 HVN. The use of external magnets can produce large penetration during the welding process and produce good welded joints. On the other hand, this can have a negative impact on the welding results if the distance between the electric arc and the material is not correct, and the torch does not move according to the welding path.

Keywords : Magnet; Microstructure; Tensile; TIG.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di dunia dan di Indonesia yang cukup pesat, mendorong agar kita dapat mengembangkan teknologi manufaktur. Salah satu teknologi manufaktur yang sering digunakan ialah teknologi pengelasan (*welding*) (Paundra *et al.*, 2021) (Anindito *et al.*, 2020). Pengelasan merupakan sebuah teknologi yang digunakan sebagai alat bantu untuk menyambungkan dua atau lebih spesimen berbahan dasar logam. Teknologi pengelasan dapat dibedakan menjadi tiga jenis jika menurut cara kerjanya yaitu pengelasan cair, pengelasan pematiran, dan juga pengelasan tekan (Hikmatullah *et al.*, 2021). Pengelasan yang sering digunakan dan dijumpai yaitu pengelasan cair. Pengelasan cair merupakan salah satu metode pengelasan yang di mana benda yang akan melalui proses penyambungan dipanaskan sampai mencair (Afan *et al.*, 2020). Sumber energi panas yang digunakan untuk mencairkan benda yang akan dilas yaitu berasal dari listrik ataupun yang lainnya seperti karbit dan gas. Pengelasan cair sendiri memiliki beberapa jenis seperti *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), dan *Tungsten Inert Gas* (TIG) (Wang *et al.*, 2018).

Pengelasan TIG merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik yang umum digunakan dalam dunia industri terutama industri manufaktur. Pengelasan TIG mampu menyambungkan berbagai jenis material berbahan dasar logam, baik yang jenisnya sama maupun yang jenisnya berbeda (*similar or dissimilar metal joint*). Proses peleburan pada logam las dipengaruhi oleh panas dari busur listrik yang timbul di antara elektroda tungsten (*non-consumable*) dengan benda kerja. Pengelasan TIG dilakukan tanpa tekanan dan menggunakan gas pelindung. Prinsip pengoperasiannya adalah panas dari busur yang letaknya di antara elektroda tungsten dan logam induk melakukan proses pelelehan logam pengisi induk dan busur las, yang di mana busur las tersebut dilindungi oleh gas argon atau helium. Hasil pengelasan yang baik dapat dicapai ketika logam pengisi bercampur dengan baik dengan logam induk (Hikmatullah *et al.*, 2021).

Salah satu cara meningkatkan kualitas pengelasan TIG adalah dengan menambahkan magnet eksternal di sekitar *torch*. Penggunaan magnet eksternal dapat memberikan dampak positif di antaranya adalah meningkatkan kedalaman penetrasi pengelasan, membuat lebar manik-manik las lebih sempit, meningkatkan kepadatan fluks magnetik di area pengelasan, dan juga mengurangi dampak cacat (Haikal, Moch. Chamim, *et al.*, 2021) (Haikal, Chamim, *et al.*, 2021). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ario (2018) (Baskoro *et al.*, 2018) jarak antar magnet pun berpengaruh pada proses dan hasil pengelasannya, yaitu berpengaruh pada

konsumsi daya dari mesin las dan dapat menimbulkan defleksi garis las jika tidak menggunakan jarak antar magnet yang optimal.

Penggunaan energi panas untuk melelehkan material yang akan disambung dihasilkan dari energi listrik pada mesin las TIG. Kita ketahui besarnya energi listrik yang dikeluarkan oleh mesin las ditentukan oleh arus yang diatur pada mesin las tersebut. Nilai dari sebuah arus pada proses pengelasan dapat berdampak pada hasil las yang kita dapatkan, jika arus yang digunakan terlalu rendah busur listrik belum mampu untuk melelehkan spesimen, sehingga akan menimbulkan bentuk rigi-rigi las yang ukurannya kecil. Rigi-rigi tersebut dapat menimbulkan kesan yang tidak rata serta penetrasi yang dihasilkan juga kurang dalam (Perkapalan *et al.*, 2015). Arus yang terlalu besar juga tidak bagus dikarenakan akan menghasilkan butiran kecil, manik (endapan) yang melebar, dan penetrasi terlalu dalam (Baskoro *et al.*, 2018). Besarnya arus yang diperlukan pada proses pengelasan ditentukan oleh diameter elektroda, tebal spesimen, jenis elektroda, geometri sambungan las, dan posisi saat pengelasan. Arus las merupakan parameter las yang dapat langsung mempengaruhi penembusan serta kecepatan *melting* dari logam induk yaitu semakin tinggi arus las semakin besar penembusan dan kecepatan *melting*nya (Surojo *et al.*, 2020).

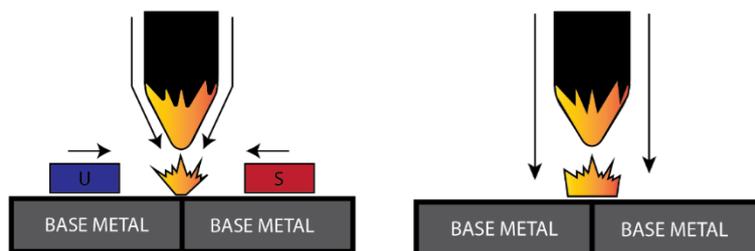
Penelitian yang dilakukan oleh Haikal, Moch. Chamim, *et al.*, 2021, Prayitno *et al.*, 2018, dan Baskoro *et al.*, 2018 merupakan sumber untuk dasar penelitian yang peneliti lakukan ini. Penelitian tersebut menjelaskan pengaruh variasi arus dan penggunaan medan magnet eksternal terhadap hasil pengelasan. Hal ini juga yang mendorong peneliti untuk mengembangkan kembali penelitian tersebut, untuk menganalisa pengaruh arus dan variasi kutub 2 medan magnet di benda kerja serta variasi arus pengelasan TIG semi otomatis terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro sambungan baja karbon rendah.

2. METODE

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah. Hasil uji komposisi baja karbon rendah dapat dilihat pada table 1. Proses pengelasan menggunakan metode TIG welding dengan penambahan 2 magnet neodinium yang berjarak 20 mm dari pusat tungsten. Kecepatan pengelasan yang digunakan adalah 4 mm/s dan kecepatan aliran gas argon adalah 3 liter/menit. sedangkan variasi arus yang digunakan adalah 70 A, 80 A, 90 A dan 100 A. Gambar 1 menunjukkan skema dari proses pengelasan.

Tabel 1. Hasil uji komposisi

Kadar	C	Fe	Mn	Ni	Cr	Si	S
%	0,2	98,98	0,53	0,03	0,09	0,04	0,04



a. Menggunakan magnet b. Tanpa magnet

Gambar 1. Skema proses pengelasan

Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur makro, mikro dan uji tarik. Pengujian struktur makro dan mikro dilakukan pada daerah *Base metal*, dan HAZ. Tujuan dari pengujian struktur makro adalah agar dapat mengetahui secara visual dari hasil pengelasan menggunakan mikroskop struktur digital dengan perbesaran yang diberikan sebesar 100x.

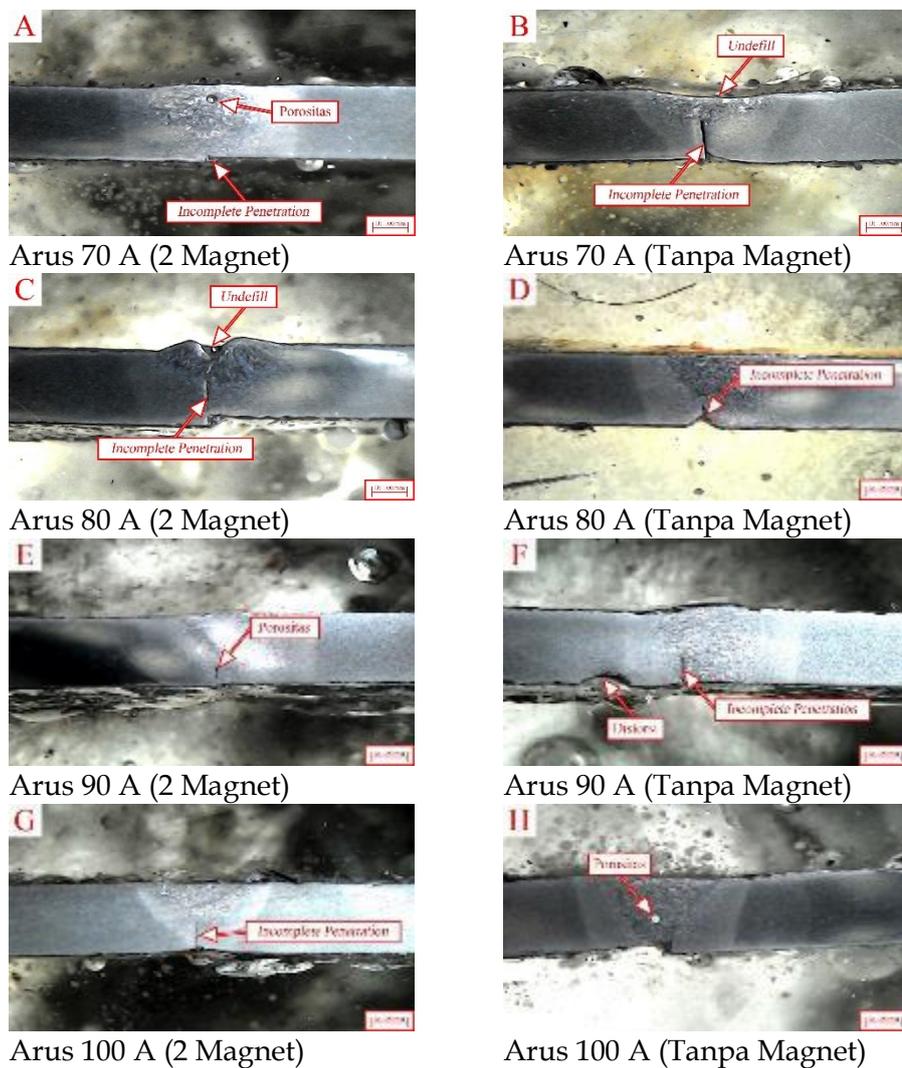
Proses pengamatan dilakukan terhadap sampel hasil pengelasan yang sudah dipotong dan sudah melalui tahap persiapan material terlebih dahulu.

Pengujian tarik pada hasil pengelasan TIG baja SS-400 dilakukan menggunakan mesin Universal Testing Machine Zwickroell Hardness Test All Round Z250SR dengan standar pengujian JIS Z2201. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali disetiap variasi arus pengelasan, lalu akan dihitung nilai rata-rata uji tarik dari setiap arus pengelasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Makro

Hasil pengujian struktur makro terhadap sambungan pengelasan dapat dilihat pada beberapa gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil pengujian struktur makro

Gambar 2 menunjukkan hasil uji struktur makro. dari gambar tersebut ditemukan beberapa jenis cacat, diantaranya adalah Porositas, *Incomplete Penetration*, *Underfill*, dan Distorsi. Porositas merupakan salah satu jenis cacat pengelasan berupa rongga yang terdapat pada logam hasil pengelasan karena kontaminasi logam cair oleh gelembung udara, dan kotoran saat proses pengelasan sehingga gelembung udara tersebut terjebak pada sambungan las dan membentuk pori-pori. Getaran juga dapat mengakibatkan bertambahnya panjang porositas sampai menjadi sebuah retakan pada konstruksi las tersebut (Anggono *et al.*, 1999).

Porositas ditemukan pada gambar 2 (A) dan 2 (H). Porositas dapat dihindari dengan pemilihan fluks yang dapat mengikat oksigen atau deoxidizer, serta memastikan area pengelasan dan material bersih dari zat pengotor (Fronczek *et al.*, 2018). Cacat las yang selanjutnya adalah *Incomplete Penetration*, yang di mana itu adalah jenis cacat las berupa tidak tembusnya penetrasi ke material secara sempurna dan berpengaruh ke sifat mekanik material tersebut, yang umumnya disebabkan oleh kecepatan pengelasan yang tidak tepat, arus pengelasan yang terlalu rendah, sudut kawat las salah, bahkan jarak torch dengan material yang terlalu tinggi juga dapat menjadi pemicu terjadi *Incomplete Penetration*. *Incomplete Penetration* terdapat pada hasil pengujian gambar 2 (A), 2 (B), 2 (C), 2 (D), 2 (E), 2 (F), dan 2 (G). *Incomplete Penetration* dapat dihindari dengan penggunaan arus dan kecepatan pengelasan yang optimal, serta jarak torch ke material yang tepat (Abdurahman *et al.*, 2021).

Cacat pengelasan selanjutnya yang ditemukan pada pengujian struktur makro adalah *Underfill*. *Underfill* adalah jenis cacat berupa cekungan kedalam pada permukaan spesimen. *Underfill* terjadi dikarenakan jarak antara busur las dengan spesimen itu terlalu tinggi, material kotor, elektroda lembab, dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi (Rohimudin *et al.*, 2016). *Underfill* ditemukan pada gambar 2 (B) dan 2 (C). *Underfill* bisa dihindari dengan lebih memperhatikan jarak (ketinggian) busur dengan spesimen, memastikan material yang akan dilas tidak rusak dan korosi, serta tepat dalam penggunaan kecepatan pengelasan. Jenis cacat las yang terakhir pada pengujian struktur makro dipenelitian ini adalah Distorsi. Distorsi merupakan penyusutan dan perubahan bentuk atau kontur spesimen akibat adanya arus yang tinggi saat penggunaan mesin las. Distorsi ditemukan pada gambar 2 (F). Distorsi dapat diminimalisir dengan penentuan urutan pengelasan yang tepat, desain proses, penggunaan jenis/desain sambungan las yang tepat, penggunaan arus pengelasan yang tepat, serta metode dan waktu pendinginan yang optimal (Wartono & Aprianto, 2021).

Pengujian Struktur Mikro

Proses pengujian struktur mikro dilakukan guna mendapatkan hasil visual mikro dari hasil sambungan las TIG baja SS400 (ketebalan baja 3mm) tanpa magnet serta menggunakan magnet dengan variasi arus pengelasan 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A. Data pengujian ini digunakan sebagai data pendukung dari hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Hasil visual dari pengujian struktur mikro sambungan pengelasan TIG baja SS400 dapat dilihat pada gambar 3 dan 4 di bawah ini.

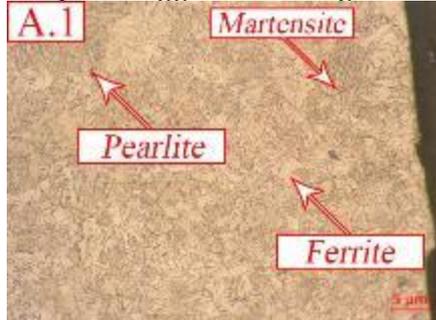


Gambar 3. Base Metal

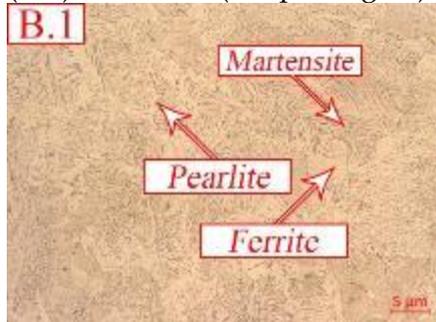
Gambar 3 menampilkan hasil pengujian struktur mikro pada plat baja SS400, yang di mana baja ini termasuk baja karbon rendah. Plat material ini memiliki struktur dasar yang tersusun oleh Ferrite dan Pearlite. Ferrite (α) adalah jenis larutan padat yang berasal dari karbon paduan besi dengan komposisi sebanyak 0,02% saat suhu sebesar 727°C. Ferrite (α) memiliki sifat yang lunak dan magnetis (Rabiatul Adawiyah, Murdjani, 2014) (Rabiatul Adawiyah, Murdjani, 2014). Pearlite adalah struktur yang terbentuk dari pencampuran

struktur ferrite dan cementite. Terdapat 2 jenis pearlite, pearlite kasar dan pearlite halus. Pearlite kasar terbentuk karena adanya proses pendinginan yang lambat. Pearlite halus terbentuk karena adanya proses pendinginan yang cepat. Base metal memiliki kandungan pearlite halus dan HAZ memiliki kandungan pearlite kasar. Semakin tinggi perlakuan panas yang diberikan kepada material terutama baja SS400, maka kandungan ferrite pada baja tersebut akan semakin rendah. Hal tersebut membuktikan dari hasil pengujian struktur mikro pada *base metal* (Gambar 3) memiliki kandungan ferrite yang tinggi dibandingkan pada bagian area HAZ. Gambar 4 menunjukkan hasil struktur mikro pada daerah HAZ tanpa menggunakan magnet dan menggunakan magnet.

Tanpa Menggunakan Magnet



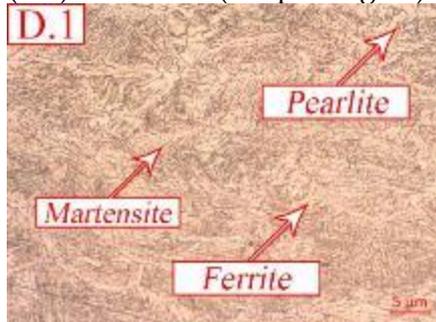
(A.1) Arus 70 A (Tanpa Magnet)



(B.1) Arus 80 A (Tanpa Magnet)

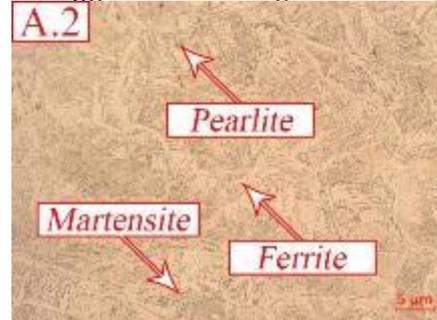


(C.1) Arus 90 A (Tanpa Magnet)

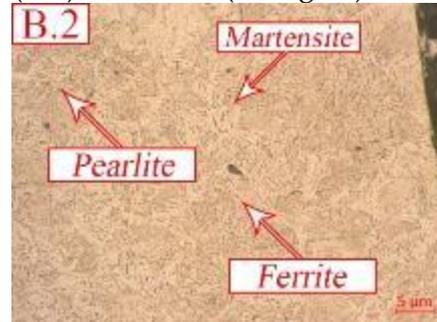


(D.1) Arus 100 A (Tanpa Magnet)

Menggunakan 2 Magnet



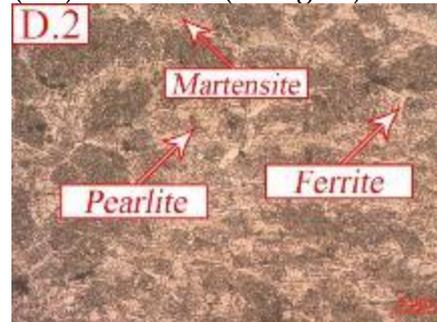
(A.2) Arus 70 A (2 Magnet)



(B.2) Arus 80 A (2 Magnet)



(C.2) Arus 90 A (2 Magnet)



(D.2) Arus 100 A (2 Magnet)

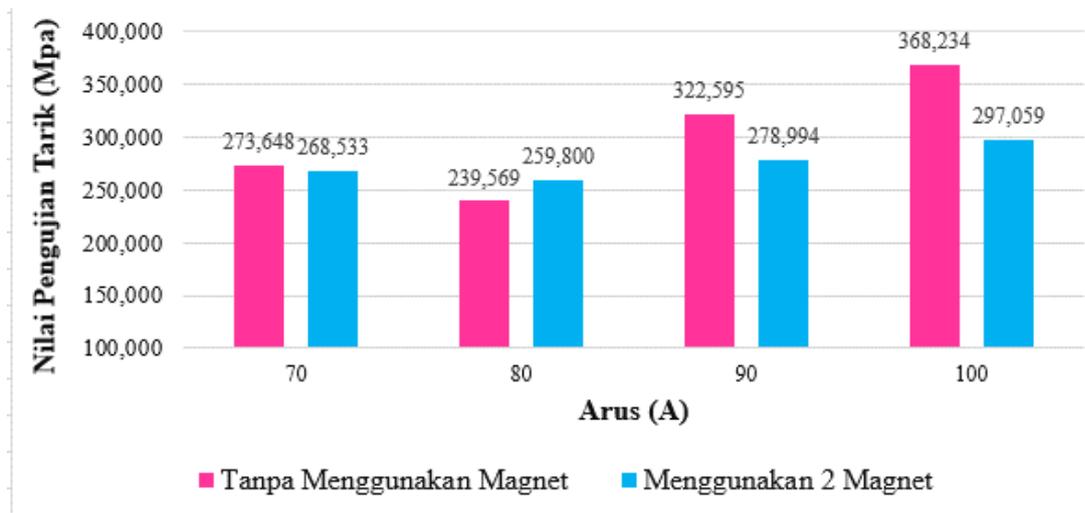
Gambar 4. Struktur mikro HAZ tanpa magnet dan menggunakan 2 magnet

Pengujian struktur mikro yang selanjutnya pada bagian HAZ sudah mulai memiliki perubahan dan penambahan struktur lain yaitu martensite. Martensite adalah jenis larutan padat karbon yang berasal dari pembentukan besi dengan tahap pendinginan yang cepat. Martensite memiliki sifat keras dan rapuh yang ditentukan oleh komposisi karbon pada besinya (Paundra *et al.*, 2020). Struktur pengelasan tanpa magnet dan menggunakan 2 magnet dengan arus 70 A dan 80 A sama-sama sudah memiliki kandungan struktur martensite. Struktur martensite pada kedua arus tersebut sudah mulai tersebar dan bercampur dengan struktur lainnya seperti ferrite dan pearlite di beberapa titik, walaupun lebih dominan struktur martensite dan belum terlalu rapat.

Struktur pengelasan tanpa magnet dan menggunakan 2 magnet dengan arus 90 A dan 100 A memiliki 3 struktur yang sama dengan arus 70 A dan 80 A yaitu ferrite, pearlite, dan martensite. Namun pada arus 90 A dan 100 A struktur martensite yang dimiliki jauh lebih rapat dan cenderung berwarna gelap dibandingkan dengan arus 70 A dan 80 A, hal tersebut karena pengaruh arus pengelasan yang tinggi dan faktor penggunaan magnet eksternal. Pengujian struktur mikro yang telah dilakukan membuktikan bahwa penggunaan arus yang tinggi dan magnet eksternal dapat berpengaruh terhadap kandungan struktur mikro dari baja yang digunakan. Semakin tinggi arus yang digunakan ditambah dengan penggunaan 2 magnet eksternal menjadikan hasil pengelasan baja SS400 memiliki sedikit kandungan ferrite dan memiliki banyak kandungan martensite, serta memiliki sifat yang lebih keras dari sifat asli material tersebut.

Pengujian Tarik

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan Tarik maksimal dari sambungan pengelasan specimen. Hasil uji Tarik dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 7. Hasil uji tarik

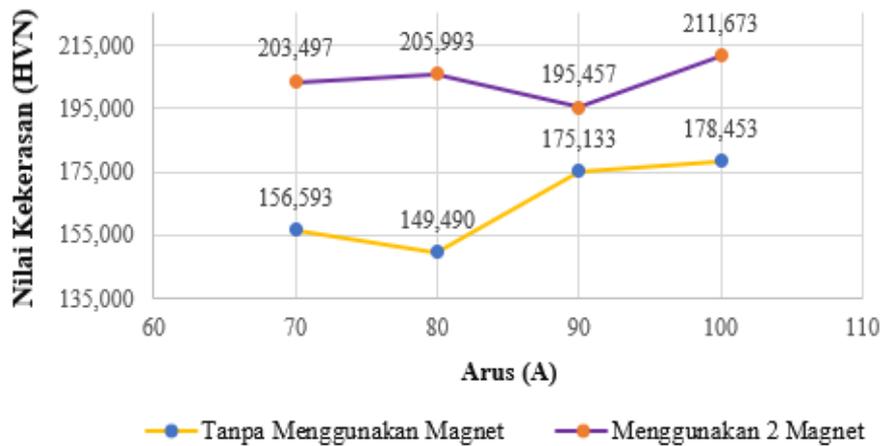
Setelah didapatkan data hasil pengujian tarik, dapat kita lakukan analisis terkait data tersebut. Dapat dilihat dari data yang didapatkan nilai pengujian tarik dari tiap sampel berbeda-beda. Nilai pengujian tarik dari pengelasan TIG tanpa magnet dengan arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 yaitu 273,648 MPa, 239,559 MPa, 322,569 MPa, dan 368,234 MPa. Nilai pengujian tarik dari pengelasan TIG menggunakan 2 magnet dengan arus 70 A, 80 A, 90 A,

dan 100 yaitu 268,533 MPa, 259,800 MPa, 278,994 MPa, dan 297,059 MPa. Data yang didapatkan menunjukkan kalau nilai dari setiap pengujian cenderung meningkat, namun ada penurunan nilai kekuatan tarik pada pengelasan dengan arus 80 A baik tidak menggunakan magnet ataupun menggunakan 2 magnet. Penurunan nilai kekuatan tarik ini bisa disebabkan oleh salah satu faktor yaitu tidak sempurnanya sambungan las yang dihasilkan. Sambungan las yang tidak sempurna bisa disebabkan oleh penetrasi yang tidak maksimal (Incomplete Penetration), sehingga penembusan panas dari busur listrik tidak sampai keseleruhan tebal plat. Incomplete penetration bisa disebabkan oleh berbagai hal seperti tidak stabil nya panas yang diberikan oleh busur listrik, jarak antara busur las dengan plat yang terlalu jauh, tidak ratanya bagian plat yang akan disambung, dan busur las tidak bergerak secara tepat pada jalur pengelasan sehingga pada saat pengujian tarik spesimen tersebut mendapatkan nilai kekuatan tarik yang rendah. Penurunan nilai kekuatan tarik pada pengelasan TIG dengan arus 80 A tanpa menggunakan magnet ataupun menggunakan 2 magnet tidak merubah kecenderungan nilai yang didapatkan, yaitu nilai yang didapatkan tetap cenderung meningkat.

Terkait pengujian tarik sambungan pengelasan TIG tanpa menggunakan magnet dan menggunakan 2 magnet, penulis menjabarkan perbandingan kedua hasil yang didapatkan. Hasil perbandingan menunjukkan kalau pengelasan tanpa menggunakan magnet eksternal dengan tebal plat 3 mm dan kecepatan pengelasan 4 mm/s menghasilkan nilai pengujian tarik yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan menggunakan 2 magnet. Terutama pada arus 100 A tanpa menggunakan magnet. Pengelasan TIG dengan arus 100 A tanpa menggunakan magnet eksternal menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi yaitu 368,234 Mpa, sedangkan nilai pengujian tarik sambungan pengelasan TIG dengan arus 100 A menggunakan 2 magnet hanya mencapai 297,059 MPa. Hasil perbandingan ini membuktikan kalau semakin tinggi penggunaan arus pengelasan akan menghasilkan penetrasi yang maksimal sehingga menghasilkan sambungan las yang sempurna. Penggunaan magnet eksternal dengan arus pengelasan yang sama yaitu 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A tidak selalu menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi dibandingkan tanpa menggunakan magnet. Penggunaan magnet eksternal menyebabkan penetrasi yang lebih besar, namun penetrasi yang besar bisa menghasilkan dampak yang buruk terhadap plat yang digunakan. Plat akan mengalami underfill atau cekungan pada sambungan pengelasannya, dan itu akan mengurangi kekuatan tarik dari sambungan las tersebut.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap beban tekan dan fasa yang berpengaruh. Gambar 8 menunjukkan hasil dari uji kekerasan.



Gambar 8. Hasil uji kekerasan

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada hasil pengelasan TIG tanpa menggunakan magnet dengan arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A. Nilai yang didapatkan sebesar 156,693 HVN, 149,490 HVN, 175,133 HVN, dan 178,453 HVN. Nilai pengujian kekerasan menggunakan 2 magnet pada arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A adalah 203,497 HVN, 205,993 HVN, 195,457 HVN, dan 211,673 HVN. Meningkatnya nilai pengujian kekerasan yang didapatkan menunjukkan bahwa perubahan arus yang digunakan pada mesin las TIG dapat berpengaruh terhadap hasil kekerasan sambungan las. Semakin besar arus yang digunakan maka semakin besar penetrasi yang dihasilkan dan akan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi, namun ada penurunan nilai kekerasan sambungan las pada arus 80 A tanpa menggunakan magnet dan arus 90 A menggunakan 2 magnet. Pengelasan dengan arus 70 A, 90 A, dan 100 A tanpa magnet serta pengelasan dengan arus 70 A, 80 A, dan 100 A menggunakan 2 magnet sama - sama dilakukan penitikan pada daerah struktur martensite yang di mana sifat dari struktur martensite adalah getas, sedangkan pada pengelasan dengan arus 80 A tanpa magnet dan arus 90 A menggunakan 2 magnet dilakukan penitikan pada daerah struktur ferrite dan pearlite yang dimana kedua struktur tersebut memiliki sifat ulet. Penyebab Hal tersebut menyebabkan penurunan nilai kekerasan yang. Penurunan nilai kekerasan ini tidak merubah kecenderungan peningkatan nilai kekerasan yang didapatkan, walau sempat mengalami penurunan namun pada pengelasan dengan arus 100 A tanpa magnet dan pengelasan dengan arus 100 A menggunakan 2 magnet tetap memiliki nilai kekerasan sambungan las paling tinggi di antara arus 70 A, 80 A, dan 90 A.

Terkait pengujian dan analisis kekerasan terhadap sambungan las TIG tanpa menggunakan magnet dan menggunakan 2 magnet yang sudah dilakukan, penulis melakukan perbandingan terkait 2 hasil yang didapatkan. Nilai yang didapatkan dari kedua pengujian tersebut sama-sama mengalami kenaikan dan penurunan baik dari nilai ataupun grafik, amun ada perbedaan dari jumlah nilai yang didapatkan. Pengelasan TIG menggunakan 2 magnet memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelasan TIG tanpa menggunakan magnet. Terutama pada arus 100 A menggunakan 2 magnet memiliki nilai kekerasan sambungan las sebesar 211,673 HVN, sedangkan nilai kekerasan sambungan las TIG dengan arus 100 A tanpa menggunakan magnet hanya sebesar 178,453 HVN. Hasil dan analisis tersebut membuktikan kalau penggunaan magnet eksternal dapat memberikan penetrasi yang lebih besar terhadap material, sehingga meningkatkan nilai kekerasan sambungan pengelasannya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

- a. Penggunaan 2 magnet eksternal dan arus yang tinggi berpengaruh terhadap keadaan struktur makro dan mikro sambungan pengelasan TIG. Hasil visual pengujian struktur makro terhadap pengelasan TIG menggunakan 2 magnet eksternal berpengaruh terhadap cacat hasil pengelasan dan lebar HAZ yang dihasilkan. Penggunaan 2 magnet eksternal dan arus yang tinggi menghasilkan HAZ yang lebih lebar dibandingkan dengan pengelasan TIG tanpa menggunakan magnet. Penggunaan 2 magnet eksternal dan arus yang tinggi jika jarak antara busur listrik dengan spesimen terlalu dekat maka akan menghasilkan cacat pengelasan jenis underfill. Pengaruh penggunaan 2 magnet eksternal dan arus yang tinggi terhadap struktur mikro sambungan las TIG terdapat pada pembentukan martensite. Semakin tinggi arus yang digunakan ditambah dengan penggunaan 2 magnet eksternal menghasilkan struktur ferrite yang semakin berkurang dan martensite yang semakin menyebar serta semakin rapat, terutama pada arus 100 A.
- b. Pengujian tarik terhadap sambungan las TIG tanpa menggunakan magnet menunjukkan, semakin tinggi arus yang digunakan dengan penggunaan jarak busur listrik yang tepat dan bergerak sesuai jalur pengelasan tetap menghasilkan penetrasi yang lebih dalam terhadap material. Menciptakan sambungan pengelasan yang lebih maksimal, dan kekuatan tarik yang tinggi dari sambungan las tersebut. Terutama pada penggunaan arus 100 A memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 368,234 MPa. Nilai tersebut merupakan nilai terbesar dibandingkan dengan arus penggunaan 70 A, 80 A, dan 90 A. Sebaliknya jika semakin tinggi arus yang digunakan ditambah penggunaan 2 magnet eksternal, namun penggunaan jarak busur listrik yang tidak tepat dan tidak bergerak sesuai jalur pengelasan maka akan menghasilkan penetrasi yang tidak maksimal terhadap material tersebut. Menciptakan sambungan pengelasan yang tidak sempurna, dan memiliki kekuatan tarik yang rendah.
- c. Pengujian kekerasan terhadap sambungan las TIG menggunakan magnet menunjukkan, bahwa semakin tinggi arus yang digunakan ditambah dengan penggunaan 2 magnet eksternal menghasilkan perlakuan panas yang besar terhadap material tersebut terutama logam. Sehingga meningkat nilai kekerasan material dari sebelum diberikan perlakuan panas. Hal tersebut berhubungan dengan pengujian struktur mikro, semakin tinggi arus yang digunakan maka semakin banyak struktur martensite yang terbentuk. Semakin banyak struktur martensite yang terbentuk, maka semakin keras material tersebut. Karena martensite memiliki sifat yang keras. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada penggunaan arus 100 A menggunakan magnet serta pemilihan lokasi penitikan tepat dan konsisten yaitu sebesar 176,712 HVN. Nilai tersebut paling besar dibandingkan dengan penggunaan arus 70 A, 80 A, dan 90 A.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdurahman, Sukarman, Shieddieque Apang Djafar, Safril, Setiawan, D., & Rahdiana, N. (2021). Evaluasi Kekuatan Uji Tarik Pada Proses Pengelasan Busur Listrik Beda Material Sphc Dan S30-C. *Jurnal Mechanical*, 1(2), 29–37.
- Afan, M. Bin, Purwantono, P., Mulianti, M., & Rahim, B. (2020). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las Smaw Dengan Elektroda E7016. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 20.
- Anggono, J., Teknik, D. F., Teknik, J., Universitas, M., Petra, K., Teknik, M. F., Teknik, J., Universitas, M., & Petra, K. (1999). Studi Pengaruh Magnetic Arc Blow Pada Hasil Las TIG Baja AISI 1021. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 63-73-73. <https://doi.org/10.9744/jtm.1.1.pp.63-73>
- Anindito, J., Paundra, F., & Muhayat, N. (2020). Pengaruh aliran dan kedalaman air terhadap hasil pengelasan dan kekerasan sambungan las bawah air baja SS400. 15(2), 1-13.

- Baskoro, A. S., Fauzian, A., Basalamah, H., Kiswanto, G., & Winarto, W. (2018). Improving weld penetration by employing of magnetic poles' configurations to an autogenous tungsten inert gas (TIG) welding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99(5-8), 1603-1613. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2552-2>
- Fronczek, D. M., Saksl, K., Chulist, R., Michalik, S., Wojewoda-Budka, J., Sniezek, L., Wachowski, M., Torzewski, J., Sulikova, M., Sulova, K., Lachova, A., Fejercak, M., Daisenberger, D., Szulc, Z., & Kania, Z. (2018). Residual stresses distribution, correlated with bending tests, within explosively welded Ti gr. 2/A1050 bimetals. *Materials Characterization*, 144(August), 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.08.004>
- Haikal, H., Chamim, M., Andriyansyah, D., Wiyono, A., Baskoro, A. S., & Isnarno, I. (2021). Peningkatan Kedalaman Penetrasi Las Stainless Steel 304 dengan Medan Magnet Eksternal pada Pengelasan Autogenous Tungsten Inert Gas Welding. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), 87. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.01.10>
- Haikal, Moch. Chamim, Ario Sunar Baskoro, Isnarno, & Apri Wiyono. (2021). Pengaruh Busur Las Terinduksi Medan Magnet Eksternal Terhadap Sambungan Tumpul Baja Tahan Karat 304 Pengelasan Autogenous Tungsten Inert Gas Welding. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, 13(1), 89-100.
- Hikmatullah, M. R., Yunesti, P., Pujiyulianto, E., Nurdin, A., & Paundra, F. (2021). Rancang Bangun Mesin Las Tig Semi Otomatis Berbasis Arduino Uno. *Journal of Mechanical Engineering*, 5(1), 35-40. <https://doi.org/10.31002/jom.v5i1.3945>
- Paundra, F., Anindito, J., Muhayat, N., Saputro, Y. C. N., & Triyono. (2020). Effect of Water Depth and Flow Velocity on Microstructure, Tensile Strength and Hardness in Underwater Wet Welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 833(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/833/1/012084>
- Paundra, F., Juan, A., Elmiawan, P., & Yunesti, P. (2021). *The Penetration Depth of Weld Metal in Underwater Welding with Variations in Water Depth and Water Flow Velocity*. 12.
- Perkapalan, J. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2015). Pengaruh Besar Arus Listrik Dan Kecepatan Las Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4), 336-345.
- Prayitno, D., Hutagalung, H. D., & Aji, D. P. B. (2018). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekerasan Lapisan Lasan pada Baja ASTM A316. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v3i1.19109>
- Rabiatul Adawiyah, Murdjani, A. H. (2014). PENGARUH PERBEDAAN MEDIA PENDINGIN TERHADAP STRUKTURMIKRO DAN KEKERASAN PEGAS DAUN DALAM PROSES HARDENING. *Jurnal Poros Teknik*, 6, 88-95.
- Rohimudin, R., Dwiputra, G. A., & Supriyadi, S. (2016). Analisis Defect pada Hasil Pengelasan Plate Konstruksi Baja dengan Metode Six Sigma. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 2(1), 1-10.
- Surojo, E., Dwi, E., Syah, W., & Budiana, E. P. (2020). ScienceDirect ScienceDirect Recent Developments on Underwater Welding of Metallic Material. *Procedia Structural Integrity*, 27(2019), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.003>
- Wang, J., Sun, Q., Pan, Z., Yang, J., & Feng, J. (2018). Effects of Welding Speed on Bubble Dynamics and Process Stability in Mechanical Constraint-Assisted Underwater Wet Welding of Steel Sheets. *Journal of Materials Processing Tech.* <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.09.022>
- Wartono, W., & Aprianto, A. (2021). Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Butt-Joint Las TIG Aluminium. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(1), 24. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v5i1.848>