



# PENGARUH PENGGUNAAN MAGNET EKSTERNAL DAN VARIASI ARUS PADA PENGELASAN TIG TERHADAP STRUKTUR MIKRO KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAJA KARBON RENDAH

Fajar Paundra<sup>a\*</sup>, Faturrizky Rakha Yudanta<sup>a</sup>, Abdul Muhyi<sup>a</sup>, Eko Pujiyulianto<sup>a</sup>, Farid Nanda Syanur<sup>a</sup>, Febri Budi Darsono<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan, Indonesia 35365

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang, Gd E5 Kampus UNNES, Semarang, Indonesia 50229

\*Corresponding authors at: [fajar.paundra@ms.itera.ac.id](mailto:fajar.paundra@ms.itera.ac.id) (FP) Tel.: +62856-4774-6155

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 21 Maret 2024

Direvisi pada 05 Juni 2024

Disetujui pada 09 Juli 2024

Tersedia daring pada 05 September 2024

### Kata kunci:

TIG, medan magnet, struktur mikro, tarik

### Keywords:

TIG, magnetic field, microstructure, tensile

## 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.

## ABSTRACT

TIG welding can be enhanced by external magnetic fields. The purpose of this study is to ascertain how external magnetic fields affect TIG welding. SS400 steel is the substance that was utilised in this study. Two more external *Neodymium* magnets are used in the welding process, along with *Tungsten Inert Gas* (TIG) at different currents of 70 A, 80 A, 90 A, and 100 A. Results of welding tests include tensile, microstructural, *Vickers* hardness, and macro tests. Multiple welding problems, including porosity, partial penetration, underfill, and distortion, are evident in the findings of the macro structure test. In the meantime, ferrite and pearlite structures are present in the base metal, according to the results of microstructure testing. There are martensite, pearlite, and ferrite types of structures in the HAZ sector. The maximum tensile test results, 368.234 MPa, were observed in TIG welding connections without the use of a magnet at a current of 100 A. The TIG welding joints with a magnet and a current of 100 A produced the highest hardness test results, 176,712 HVN. Good welded junctions can be produced with significant penetration during the welding process by using external magnets. However, if the torch does not follow the welding path and the distance between the electric arc and the material is incorrect, this could negatively affect the outcome of the welding process.

## 1. PENGANTAR

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 dkk., 2021), (Anindito dkk., 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 pematrian, dan juga pengelasan tekan (Hikmatullah dkk., 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 dkk., 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 dkk., 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 pengoperasinya 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 dkk., 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 dkk., 2021a), (Haikal dkk., 2021b). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Baskoro dkk., (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. Besarnya energi listrik yang dikeluarkan oleh mesin las ditentukan oleh arus yang diatur pada mesin las. 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 dkk., 2015). Arus yang terlalu besar juga tidak bagus dikarenakan akan menghasilkan butiran kecil, manik (endapan) yang melebar, dan penetrasi terlalu dalam (Baskoro dkk., 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 *meltingnya* (Eko dkk., 2020).

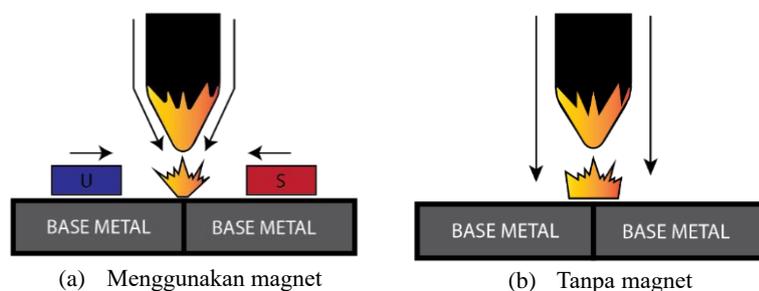
Penggunaan magnet eksternal dalam pengelasan TIG telah menarik perhatian karena potensinya untuk mempengaruhi pola aliran logam cair dan transfer panas selama proses pengelasan. Sementara itu, variasi arus pengelasan memiliki dampak langsung terhadap distribusi panas dan zona terpengaruh panas dalam hasil pengelasan. Oleh karena itu, dengan memperhatikan kedua faktor ini, penelitian ini bertujuan untuk menggali bagaimana perubahan pada proses pengelasan TIG dapat mempengaruhi sifat-sifat mikrostruktur dan mekanik dari hasil pengelasan baja karbon rendah.

## 2. METODE

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah. Hasil uji komposisi baja karbon rendah dapat dilihat pada tabel 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.

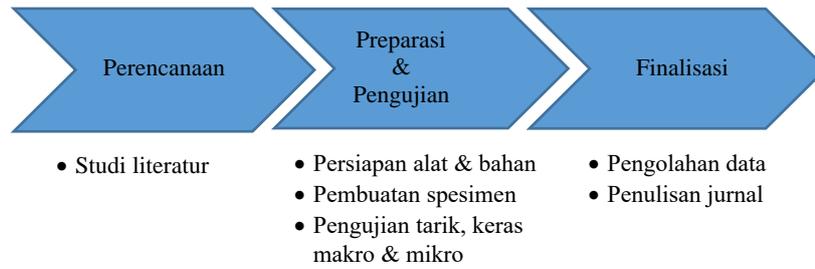
Tabel 1: Hasil Uji Komposisi

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



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. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



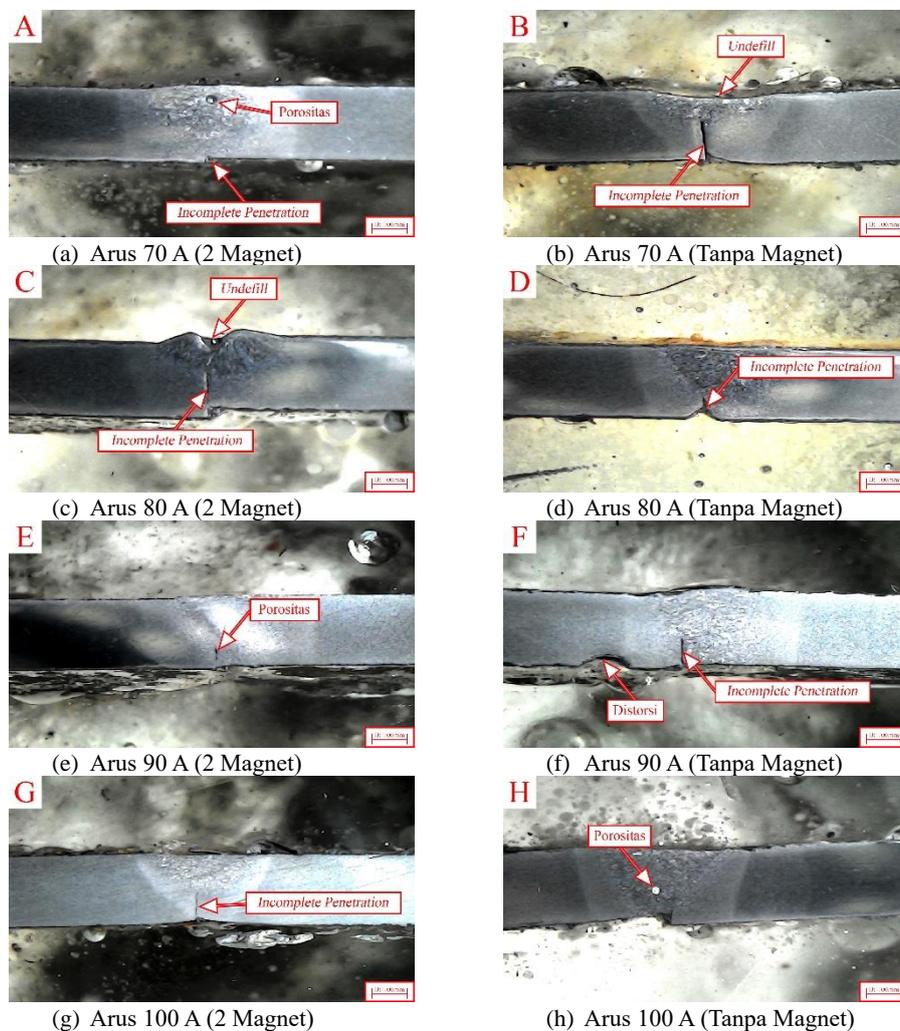
Gambar 2: Diagram alir

Pengujian tarik pada hasil pengelasan TIG baja SS-400 dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine Zwickroell Test All Round Z250SR* dengan standar pengujian JIS Z2201. Sedangkan uji kekererasan menggunakan mesin *Universal Hardness testes Zwickroell* dengan standar ASTM E384. Pengujian kekererasan dilakukan di daerah logam induk (*base metal*), dan HAZ (*Heat Effective Zone*) pada pengelasan tanpa menggunakan magnet dan tanpa menggunakan magnet.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Struktur Makro

Pengujian struktur makro bertujuan untuk melihat hasil pengelasan dan cacat dari hasil pengelasan. Hasil pengujian struktur makro dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Hasil pengujian struktur makro

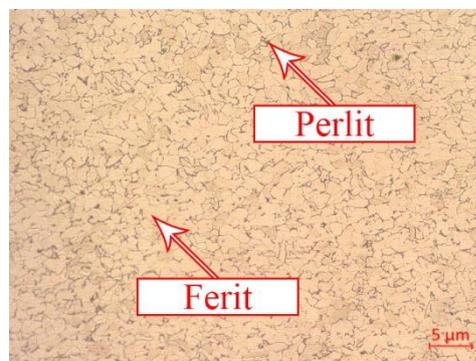
Gambar 3 menunjukkan hasil uji struktur makro. dari gambar tersebut ditemukan beberapa jenis cacat, diantaranya adalah Porositas, *Incomplete Penetration*, *Underfill*, dan Distorsi. Porositas merupakan salah satu jenis cacat pengelasan berupa rongga yang terdapat pada logam hasil pengelasan karena kontaminasi 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 dkk., 1999). Porositas ditemukan pada gambar 3 (A) dan 3 (H). Porositas dapat dihindari dengan pemilihan *fluks* yang dapat mengikat oksigen atau *deoxidizer*, serta memastikan area pengelasan dan material bersih dari zat pengotor (Fronczek dkk., 2018). Cacat las yang selanjutnya adalah *Incomplete Penetration*, yang di mana itu adalah

jenis cacat las berupa 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 3 (A), 3 (B), 3 (C), 3 (D), 3 (E), 3 (F), dan 3 (G). *Incomplete Penetration* dapat dihindari dengan penggunaan arus dan kecepatan pengelasan yang optimal, serta jarak *torch* ke material yang tepat (Abdurahman dkk., 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 dkk., 2016). *Underfill* ditemukan pada gambar 3 (B) dan 3 (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 3 (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 dkk., 2021).

### 3.2. Struktur Mikro

Proses pengujian struktur mikro dilakukan guna mendapatkan hasil visual mikro dari hasil sambungan las TIG baja SS400 (ketebalan baja 3 mm) 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 4 dan 5.

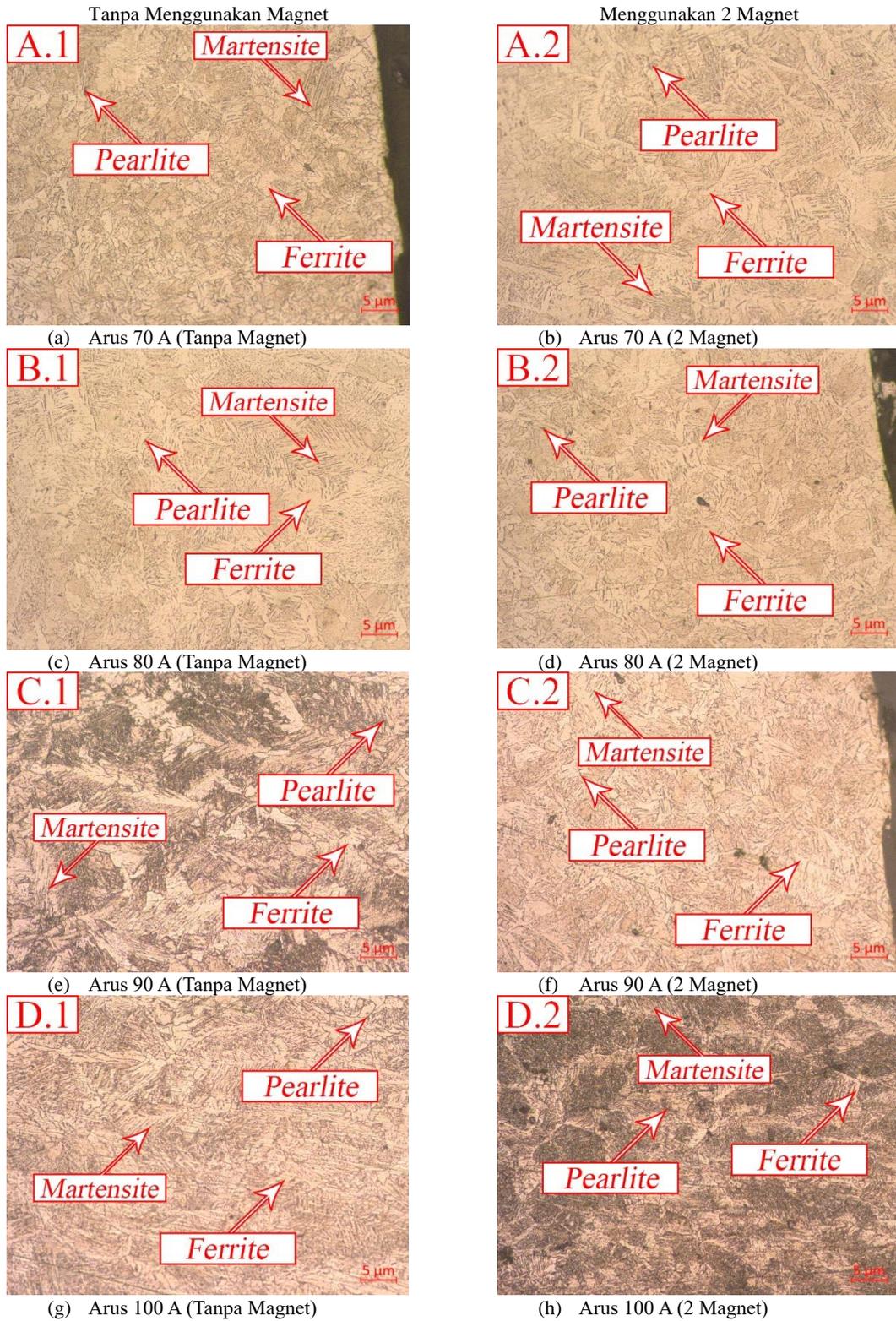


Gambar 4: Base metal

Gambar 4 menampilkan hasil pengujian struktur mikro pada plat baja SS400, yang di mana baja ini termasuk baja karbon rendah. Material baja karbon rendah memiliki struktur dasar yang tersusun oleh *Ferrite* dan *Pearlite*. *Ferrite* ( $\alpha$ ) adalah jenis larutan padat yang berasal dari karbon paduan besi dengan komposisi sebanyak 0,02% saat suhu sebesar 727°C. *Ferrite* ( $\alpha$ ) memiliki sifat yang lunak dan magnetis (Rabiatul dkk., 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. HAZ (*Heat Effective Zone*) merupakan daerah yang terpengaruh panas. 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 memiliki kandungan *ferrite* yang tinggi dibandingkan pada bagian area HAZ. Gambar 5 menunjukkan hasil struktur mikro pada daerah HAZ tanpa menggunakan magnet dan menggunakan 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 dkk., 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 (Surojo dkk., 2021).

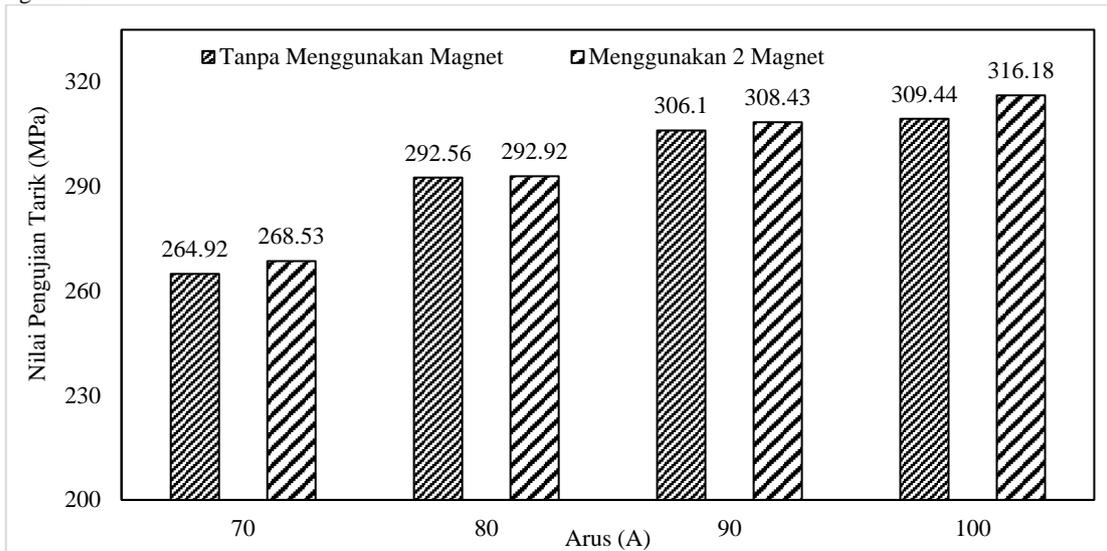
Struktur pengelasan tanpa magnet dan menggunakan 2 magnet dengan arus 90 A dan 100 A memiliki 3 struktur yang sama dengan arus 70 A dan 80 A yaitu *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite*. Namun pada arus 90 A dan 100 A struktur *martensite* yang dimiliki jauh lebih rapat dan cenderung berwarna gelap 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.



**Gambar 5:** Struktur mikro HAZ tanpa magnet dan menggunakan 2 magnet

### 3.3. Uji Tarik

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan Tarik maksimal dari sambungan pengelasan specimen. Hasil uji Tarik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6: Hasil uji tarik

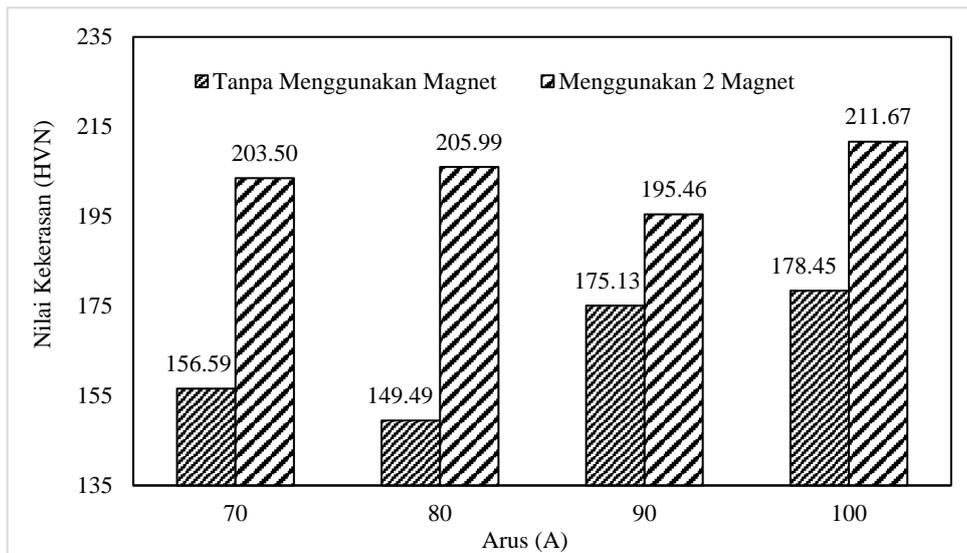
Setelah didapatkan data hasil pengujian tarik, dapat kita lakukan analisis terkait data tersebut. Dapat dilihat dari data yang didapatkan nilai pengujian tarik dari tiap sampel berbeda-beda. Nilai pengujian tarik dari pengelasan TIG tanpa magnet dengan arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A yaitu 273,64 MPa, 239,55 MPa, 322,56 MPa, dan 368,23 MPa. Nilai pengujian tarik dari pengelasan TIG menggunakan 2 magnet dengan arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A yaitu 268,53 MPa, 259,80 MPa, 278,99 MPa, dan 297,05 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 stabilnya panas yang diberikan oleh busur listrik, jarak antara busur las dengan plat yang terlalu jauh, tidak rata nya bagian plat yang akan disambung, dan busur las tidak bergerak secara tepat pada jalur pengelasan sehingga pada saat pengujian tarik specimen 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 368,23 MPa, sedangkan nilai pengujian tarik sambungan pengelasan TIG dengan arus 100 A menggunakan 2 magnet hanya mencapai 297,05 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.

### 3.4. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap beban tekan dan fasa yang berpengaruh. Gambar 7 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 156,69 HVN, 149,49 HVN, 175,13 HVN, dan 178,45 HVN. Nilai pengujian kekerasan menggunakan 2 magnet pada arus 70 A, 80 A, 90 A, dan 100 A adalah 203,49 HVN, 205,99 HVN, 195,45 HVN, dan 211,67 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.



Gambar 7: Grafik hasil uji kekerasan

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, namun 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 211,67 HVN, sedangkan nilai kekerasan sambungan las TIG dengan arus 100 A tanpa menggunakan magnet hanya sebesar 178,45 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

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa; (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 (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 368,23 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 176,71 HVN. Nilai tersebut paling besar dibandingkan dengan penggunaan arus 70 A, 80 A, dan 90 A.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurahman et al. 2021. "Evaluasi Kekuatan Uji Tarik Pada Proses Pengelasan Busur Listrik Beda Material Sphe Dan S30-C." *Jurnal Mechanical* 1(2): 29–37.
- Afan, Miftahrur Bin, Purwantono Purwantono, Mulianti Mulianti, and Bulkia Rahim. 2020. "Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Las Smaw Dengan Elektroda E7016." *Jurnal Rekayasa Mesin* 15(1): 20.

- Anggono, Juliana et al. 1999. "Studi Pengaruh Magnetic Arc Blow Pada Hasil Las TIG Baja AISI 1021." *Jurnal Teknik Mesin* 1(1): 63-73-73.
- Anindito, Juan, Fajar Paundra, and Nurul Muhayat. 2020. "Pengaruh Aliran Dan Kedalaman Air Terhadap Hasil Pengelasan Dan Kekerasan Sambungan Las Bawah Air Baja SS400." 15(2): 1-13.
- Baskoro, Ario Sunar et al. 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): 1603-13.
- Fronczek, D. M. et al. 2018. "Residual Stresses Distribution, Correlated with Bending Tests, within Explosively Welded Ti Gr. 2/A1050 Bimetals." *Materials Characterization* 144(August): 461-68.
- Haikal, Moch. Chamim, et al. 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.
- Haikal, Haikal, Moch. Chamim, et al. 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.
- Hikmatullah, Muhammad Rizky et al. 2021. "Rancang Bangun Mesin Las Tig Semi Otomatis Berbasis Arduino Uno." *Journal of Mechanical Engineering* 5(1): 35-40.
- Paundra, F. et al. 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).
- Paundra, F, A Juan, P Elmiawan, and P Yunesti. 2021. "The Penetration Depth of Weld Metal in Underwater Welding with Variations in Water Depth and Water Flow Velocity." 12.
- Perkapalan, Jurusan Teknik, Fakultas Teknik, and Universitas Diponegoro. 2015. "Pengaruh Besar Arus Listrik Dan Kecepatan Las Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas)." *Jurnal Teknik Perkapalan* 3(4): 336-45.
- Rabiatul Adawiyah, Murdjani, Ahmad Hendrawan. 2014. "Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Strukturmikro Dan Kekerasan Pegas Daun Dalam Proses Hardening." *Jurnal Poros Teknik* 6: 88-95.
- Rohimudin, Rohimudin, Gerry Anugrah Dwiputra, and Supriyadi Supriyadi. 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 et al. 2021. "Effect of Water Flow and Depth on Fatigue Crack Growth Rate of Underwater Wet Welded Low Carbon." : 329-38.
- Surojo, Eko, Ericha Dwi, Wahyu Syah, and Eko Prasetya Budiana. 2020. "ScienceDirect ScienceDirect Recent Developments on Underwater Welding of Metallic Material." *Procedia Structural Integrity* 27(2019): 14-21.
- Wang, Jianfeng et al. 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.*
- Wartono, Wartono, and Aprianto Aprianto. 2021. "Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Butt-Joint Las TIG Aluminium." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* 5(1): 24.