

**PENGARUH PROSES *HEAT TREATMENT* TERHADAP KEKUATAN
TARIK DAN KEKERASAN BAJA ASTM A36 DENGAN PENGELASAN
TUNGSTEN INERT GAS (TIG)**

Ilyas Nafiudin Khabib¹, Priyagung Hartono², Cepi Yazirin³

¹Universitas Islam Malang
email: 21801052060@unisma.ac.id

²Universitas Islam Malang
email: priyagung@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang
email: cepiyazirin10@unisma.ac.id

ABSTRACT

Welding plays an important role in the construction industry, as it used for joining and maintaining equipment made of steel. The welding process can affect the mechanical properties of steel, making heat treatment necessary to reduce residual stress in the steel after welding. The purpose of this study is to determine the effect of the heat treatment process on tensile strength and hardness by varying the temperature and cooling medium in TIG welding of ASTM A36 steel. The result indication that variation in the cooling medium significantly affect tensile strength and hardness. The highest tensile strength was found at a temperature of 800°C, with a value of 499,9 MPa. The highest hardness value at the weld metal test point was recorded at 700°C, with a value of 213,6 HVN. Meanwhile, the highest hardness at the HAZ test point was observed at 800°C, with a value of 191,7 HVN.

Keywords: *TIG welding, Heat treatment, Tensile strength, Hardness, ASTM A36 steel.*

ABSTRAK

Pengelasan berperan penting dalam dunia konstruksi, dikarenakan pengelasan dilakukan untuk penyambungan dan pemeliharaan pada alat-alat yang terbuat dari baja. Proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanik pada baja, sehingga perlu dilakukan proses *heat treatment* untuk mengurangi tegangan sisa pada baja setelah pengelasan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh proses *heat treatment* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan dengan memvariasikan temperatur dan media pendingin pada pengelasan TIG baja ASTM A36. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan. Kekuatan tarik tertinggi didapati pada temperatur 800°C dengan nilai sebesar 499,90 MPa. Nilai kekerasan titik uji *weld metal* tertinggi didapati pada temperatur 700°C dengan nilai sebesar 213,6 HVN. Pada kekerasan titik uji HAZ nilai tertinggi didapati pada temperatur 800°C dengan nilai sebesar 191,7 HVN.

Kata Kunci: Pengelasan TIG, Heat treatment, Kekuatan tarik, Kekerasan, Baja ASTM A36.

PENDAHULUAN

Dalam bidang industri, Pengelasan atau *welding* adalah pekerjaan yang sering digunakan dalam dunia industri maupun konstruksi baik itu konstruksi jembatan dan bangunan. Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Sultoni, et al, 2019)

Tungsten Inert Gas (TIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung dengan *tungsten* atau *wolfram* sebagai elektroda. Daerah pengelasan dilindungi oleh gas lindung (gas tidak aktif) agar tidak terkontaminasi dengan udara luar. Kawat las dapat ditambahkan atau tidak tergantung dari bentuk sambungan dan ketebalan benda kerja yang akan dilas. (Prasetyo & Suwito, 2014)

Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah proses perlakuan panas yang dilakukan setelah proses pengelasan. PWHT bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, keuletan, kelunakan, kekerasan, ketangguhan dan memperluas ukuran butir. Ada beberapa jenis PWHT diantaranya *hardening*, *tempering*, *carburizing*, *annealing*, dan *nitriding*. (Wibowo, 2013)

Pengujian Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pemberian beban pada kedua arah sambungannya diberi beban yang sama besarnya. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan

pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar baku pengujian. (Fakhri, 2017)

Proses pengujian yang mudah dan cepat dalam memperoleh angka kekerasan yaitu dengan metode penekanan. Dikenal ada tiga jenis metode penekanan, yaitu: *Rockwell*, *Brinell*, *Vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya. Metode *Brinell* dan *Vickers* menentukan angka kekerasannya dengan menitikberatkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap daya luas penampang yang menerima pembebanan, sedangkan pada metode *Rockwell* ditentukan dengan menitikberatkan pada kedalaman indentor pada benda uji (Wattimena & Louhenapessy, 2014).

ASTM (*American Standart for Testing and Material*), suatu Lembaga di Amerika Serikat yang menguji contoh bahan dan hasil secara luas diakui sebagai analisis yang baku. Baja ASTM A36 merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon ASTM A36 memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah jenis ini sangat reaktif dan mudah sekali untuk berubah kembali ke bentuk besi oksida (berkarat) jika terkontaminasi air, oksigen dan ion. Baja karbon ASTM A36 mempunyai sifat mampu las yang dipengaruhi oleh kekuatan tarik dan kepekaan terhadap retak las. (Arifin et al, 2017)

Proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik baja karbon, sehingga perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mengurangi tegangan sisa pada baja yang dilas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh post weld heat treatment terhadap kekuatan bending dan struktur mikro dengan memvariasikan media pendingin pada pengelasan SMAW pipa ASTM A 106 grade B. Hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan bending rata-rata tertinggi dengan media pendingin udara sebesar 1273,26 MPa dan kekuatan bending terendah dengan media pendingin air sebesar 1196,34 MPa. Hasil

pengujian struktur mikro di daerah weld metal menunjukkan adanya campuran batas butir ferrit, bainit dan martensit. (Pratama et al, 2022)

Maka dari itu penelitian ini berfokus pada kekuatan tarik dan kekerasan baja ASTM A36 setelah dilakukan proses *heat treatment* dengan memvariasikan temperatur dan media pendingin pada pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental bertujuan untuk mengetahui hasil dari sambungan pengelasan TIG pada material baja ASTM A36 setelah diperlakukan proses *Heat Treatment* pada suhu 600°C, 700°C dan 800°C dengan media pendingin udara dan air yang akan diuji dengan metode uji tarik dan kekerasan.

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah variasi temperatur *Heat Treatment* 600°C, 700°C, dan 800°C, media pendingin udara dan air.

2. Variabel Terikat

Variable terikat dalam penelitian ini adalah nilai uji tarik dan kekerasan hasil pengelasan TIG setelah di perlakukan proses *heat treatment* pada baja ASTM A36

3. Variabel terkontrol

Variable terkontrol yang ada di penelitian ini adalah posisi pengelasan 1G, menggunakan kampuh V dengan sudut 60°, bahan yang digunakan ASTM A36, arus pengelasan 120 ampere, jumlah spesimen yang diuji sebanyak 28.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Alat Penelitian

- Mesin las TIG
- Dapur listrik
- Alat uji tarik
- Alat uji kekerasan

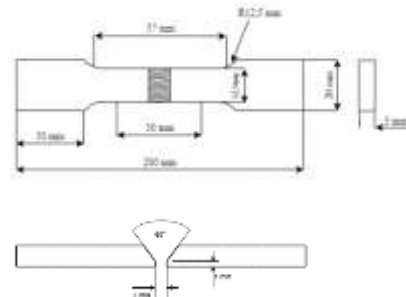
- Grenda tangan
- Palu terak
- penggaris
- Bususr drajat
- Sikat baja
- Topeng las
- Penggores

Bahan Penelitian

- Baja ASTM A36
- Elektroda WT-20
- Gas argon

Desain Penelitian

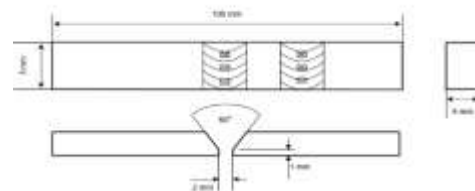
Dalam penelitian ini desain spesimennya menggunakan kampuh V pada pengelasan TIG, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Desain spesimen uji tarik
(Sumber: Desain pribadi, 2023)

Keterangan :

- Panjang spesimen (L): 200 mm
- Panjang pengukur (G) : 50 mm
- Lebar pengukur (W) : 12,5 mm
- Lebar bagian yang dikurangi (A): 57 mm
- Tebal spesimen (T): 5 mm
- Lebar bagian pegangan tarik (C): 20 mm
- Panjang bagian pegangan tarik (B): 50 mm
- Jari – jari lengkungan (R): 12,5 mm

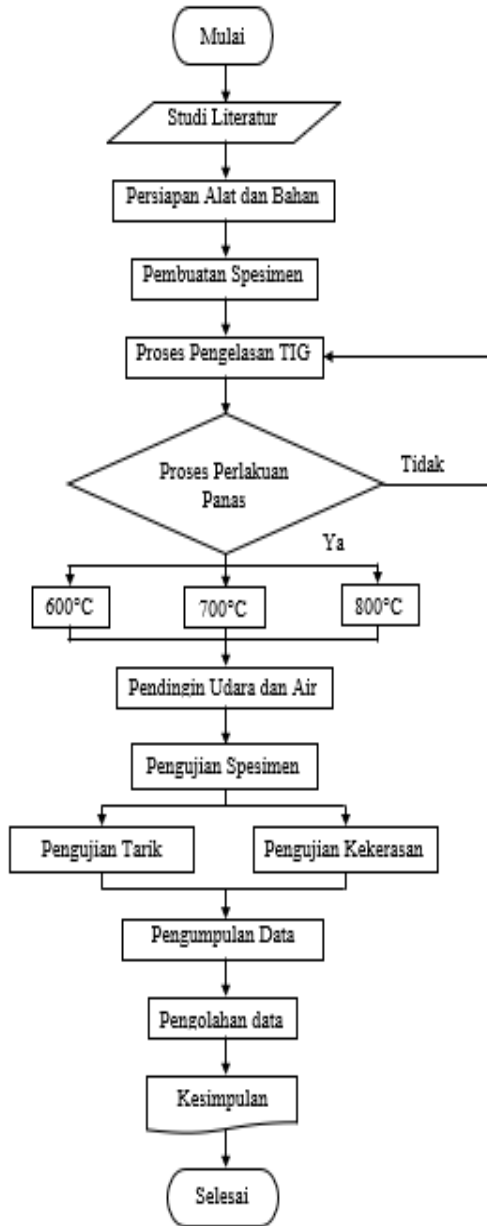


Gambar 2. Desain spesimen uji kekerasan
(Sumber: Desain pribadi, 2023)

Keterangan :

Panjang spesimen : 100 mm
 Lebar spesimen : 20 mm
 Tebal spesimen : 5 mm

Diagram Alir Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengujian tarik pada masing-masing variasi temperatur dan media pendingin dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

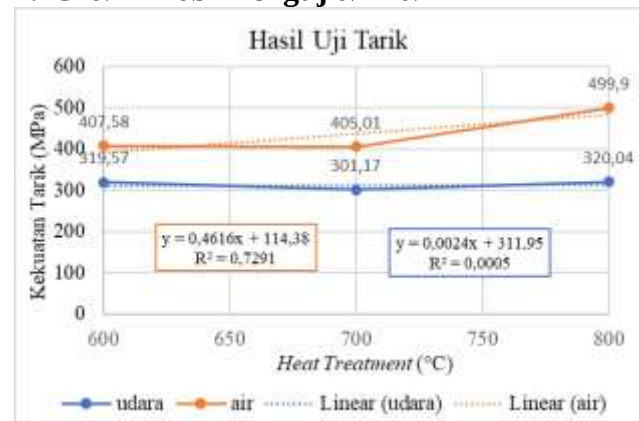
Tabel 1. Hasil Data Pengujian Tarik

Temperatur Pendingin	600°	700°	800°
Udara	263,25	262,16	370,39
	273,48	260,83	248,49
	421,97	380,5	341,23
Jumlah	958,97	903,51	960,11
Rata-rata	319,57	301,17	320,04
Air	324,84	443,31	437,98
	445,54	381,28	584,67
	452,35	390,45	477,06
Jumlah	1222,73	1215,04	1499,71
Rata-rata	407,58	405,01	499,90

Tabel 2. Hasil Data Pengujian Tarik Tanpa Perlakuan

Uji tarik	Spesimen	MPa
Tanpa perlakuan	1	273,89
	2	428,72
	3	418,51
Jumlah		1121,12
Rata-rata		373,71

2. Grafik Hasil Pengujian Tarik



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Tarik

Berdasarkan grafik di atas (Gambar 4.1), hasil uji tarik pada variasi temperatur *heat treatment* sebesar 600°C, 700°C, dan 800°C dan media pendingin udara dan air, pengujian menggunakan standar ASTM E8M. Nilai kekuatan tarik media pendingin air tertinggi didapati pada temperatur 800°C dengan nilai 499,90 MPa dan nilai kekuatan tarik media pendingin udara tertinggi didapati pada

temperatur 800°C dengan nilai 320,04 MPa. Sedangkan hasil nilai kekuatan tarik pada baja A36 setelah pengelasan tanpa perlakuan memiliki nilai sebesar 373,71 MPa (Tabel 2).

Dari hasil di atas dapat disimpulkan semakin tinggi temperatur *heat treatment* dengan pendinginan udara dan air meningkatkan kekuatan tarik. Hasil tersebut membuktikan bahwa kekuatan tarik media pendingin air pada suhu 800°C menunjukkan hasil kualitas yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada pendinginan air memiliki sifat mendinginkan secara cepat, mengakibatkan perubahan fasa yang lebih keras (contohnya seperti bainit dan martensit).

3. Hasil Perhitungan Statistik Uji Tarik

Tabel 3. Hasil Uji Statistik ANOVA 2 Arah Uji Tarik

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}
Rata-rata baris	69087,88	1	69087,88	14,44	4,75
Rata-rata Kolom	10995,56	2	5497,97	1,15	3,89
Interaksi	7233,94	2	3616,97	0,76	3,89
Error	57401,24	12	4783,44		
Total	144718,62	17			

Kesimpulan:

- Karena $F_{hit} = 14,44 > F_{0,05(1;12)} = 4,75$ maka H_0 ditolak. Jadi terdapat perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi media pendingin udara dan air dengan kekuatan tarik.
- Karena $F_{hit} = 1,15 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi temperatur *heat treatment* dengan hasil kekuatan tarik.
- Karena $F_{hit} = 0,76 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada interaksi antara variasi media pendingin dan temperatur *heat treatment* dengan nilai kekuatan tarik.

4. Hasil Pengujian Kekerasan

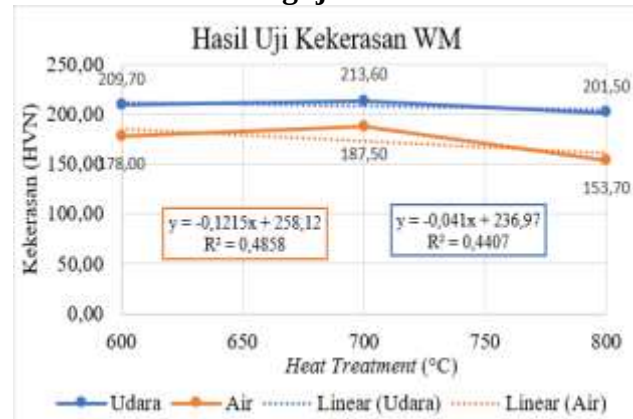
Tabel 4. Hasil Data Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

H Treatment Titik Uji	Udara			Air		
	600°	700°	800°	600°	700°	800°
Weld Metal	184,5	207,2	187,8	151,9	194,6	134,2
	210,2	197,4	226,1	164,3	207,5	188,6
	187,8	236,2	190,6	217,8	160,4	138,3
Jumlah	629,1	640,8	604,5	534	562,5	461,1
Rata-rata	209,7	213,6	201,5	178	187,50	153,7
HAZ	193,1	148,3	183,5	139,4	116,1	151,5
	156,9	188,2	178,7	192,5	174,9	89,6
	158,5	163	212,9	120,8	192,6	79,9
Jumlah	508,5	499,5	575,1	452,7	483,6	321
Rata-rata	169,5	166,5	191,7	150,9	161,2	107

Tabel 5. Hasil Data Pengujian Kekerasan *Micro Vickers* Tanpa Perlakuan

Titik uji	Spesimen	HVN
Weld Metal	1	220,4
	2	180,8
	3	194,4
Jumlah		595,6
Rata-rata		198,5
HAZ	1	180,8
	2	177,5
	3	193,4
Jumlah		551,7
Rata-rata		183,9

5. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

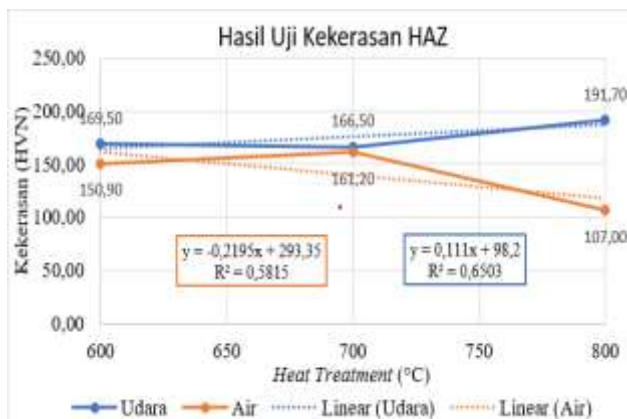


Gambar 4. Grafik nilai uji kekerasan & Regresi Linear Pada Titik *Weld Metal*

Berdasarkan grafik di atas (gambar 4.3), hasil pengujian kekerasan *micro vickers* pada titik *weld metal* dengan variasi temperatur *heat treatment* sebesar 600°C, 700°C dan 800°C

dan media pendingin udara dan air. Nilai kekerasan titik *weld metal* menggunakan media pendingin udara tertinggi didapati pada temperatur 700°C dengan dengan nilai sebesar 213,6 HVN dan nilai kekerasan pada media pendingin air tertinggi didapati pada temperatur 700°C dengan nilai sebesar 187,5 HVN. Hasil nilai kekerasan pada baja A 36 tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan sebesar 198,5 HVN (Tabel 5).

Dari hasil diatas dapat disimpulkan pada temperatur 600°C ke 700°C kekerasannya meningkat dikarenakan semakin tinggi temperatur *heat treatment* maka semakin berbeda jauh dengan suhu ruang yang mengakibatkan pendinginan semakin cepat hal ini menyebabkan material semakin keras. Pada temperature 700°C ke 800°C kekerasannya menurun hal ini karena mencapai titik temperatur *normalizing* sehingga kekuatannya meningkat dan kekerasan material menurun.



Gambar 4. 1 Grafik Nilai Uji Kekerasan & Regresi Rinear Pada Titik HAZ

Berdasarkan grafik di atas (gambar 4.3), hasil pengujian kekerasan *micro vickers* pada titik HAZ dengan variasi temperatur *heat treatment* sebesar 600°, 700° dan 800° dan media pendingin udara dan air. Nilai kekerasan titik HAZ menggunakan media pendingin udara tertinggi didapati pada temperatur 800°C dengan dengan nilai sebesar 191,7 HVN dan nilai kekerasan pada media pendingin air tertinggi didapati pada temperatur 700°C dengan nilai sebesar 161,2

HVN. Hasil nilai kekerasan pada baja A 36 tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan sebesar 183,9 HVN (Tabel 4.7).

Dari hasil diatas menunjukkan seiring bertambahnya suhu *heat treatment* pada media pendingin udara mengalami kenaikan nilai kekerasannya dikarenakan mengalami pendinginan yang lambat di daerah HAZ, sedangkan pada media pendingin air kebalikannya seiring bertambahnya temperatur mengalami penurunan nilai kekerasannya. Menurunnya nilai kekerasan pada media pendingin air karena pada suhu tertinggi mencapai titik temperatur *normalizing* sehingga kekuatannya meningkat dan kekerasan metrial menurun.

6. Hasil Perhitungan Statistik Uji Kekerasan

Tabel 6. Hasil Uji Statistik ANOVA 2 Arah Kekerasan Titik Uji *Weld Metal*

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F _{hitung}	F _{tabel}
Rata-rata baris	5575,68	1	5575,68	7,92	4,75
Rata-rata kolom	1671,31	2	835,65	1,19	3,89
Interaksi	380,73	2	190,36	0,27	3,89
Error	8444,38	12	703,70		
Total	16072,10	17			

Kesimpulan:

- Karena $F_{hit} = 7,92 > F_{0,05(1;12)} = 4,75$ maka H_0 ditolak. Jadi terdapat perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi media pendingin dengan hasil kekerasan titik uji *weld metal*.
- Karena $F_{hit} = 0,27 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi temperature *heat treatment* dengan hasil kekerasan titik uji *weld metal*.
- Karena $F_{hit} = 0,27 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada interaksi antara variasi media pendingin dan variasi temperatur *heat treatment* dengan hasil kekerasan titik uji *weld metal*.

Tabel 7. Hasil Uji Statistik ANOVA 2 Arah

Kekerasan Titik Uji HAZ

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata-rata Kuadrat	F hitung	F tabel
Rata-rata baris	5896,98	1	5896,98	6,25	4,75
Rata-rata kolom	682,59	2	341,3	0,36	3,89
Interaksi	5425,23	2	2712,62	2,87	3,89
Error	11330,68	12	944,22		
Total	23335,48	17			

Kesimpulan:

- Karena $F_{hit} = 6,25 > F_{0,05(1;12)} = 4,75$ maka H_0 ditolak. Jadi terdapat perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi media pendingin dengan kekerasan titik uji HAZ.
- Karena $F_{hit} = 0,36 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada perbedaan hasil rata-rata yang signifikan antara variasi temperatur *heat treatment* dengan hasil kekerasan titik uji HAZ.
- Karena $F_{hit} = 2,87 < F_{0,05(2;12)} = 3,89$ maka H_0 diterima. Jadi tidak ada interaksi antara variasi media pendingin dan variasi temperatur *heat treatment* dengan hasil kekerasan titik uji HAZ.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan tentang temperatur *heat treatment* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan *micro vickers* pada pengelasan TIG baja ASTM A36, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Dari Analisa regresi linear didapatkan hasil:
 - Persamaan regresi hubungan antara *heat treatment* variasi temperatur dan media pendingin air terhadap kekuatan tarik dinyatakan sebagai $y = 0,4616x + 114,38$ dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,7921.
 - Persamaan regresi hubungan antar *heat treatment* variasi temperatur dan media pendingin air terhadap kekerasan titik uji *weld metal* dinyatakan sebagai $y = -0,1215x + 258,12$ dengan koefisien (R^2) = 0,48558.
 - Persamaan regresi hubungan antara *heat*

treatment variasi temperatur dan media pendingin udara terhadap kekerasan titik uji HAZ dinyatakan sebagai $y = 0,111x + 98,2$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,6503$.

- Dari uji anova dua arah didapatkan hasil:
 - $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($7,92 > 4,75$) H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi media pendingin dengan kekuatan tarik.
 - $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($7,92 > 4,75$) H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi media pendingin dengan kekerasan titik uji *weld metal*.
 - $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($6,25 > 4,75$) H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi media pendingin dengan kekerasan titik uji HAZ.
- P Perlakuan *heat treatment* di temperature 800°C menggunakan media pendingin air memiliki kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 584,67 MPa, sedangkan pada tanpa perlakuan *heat treatment* menghasilkan kekuatan tarik rata-rata sebesar 373,71 MPa. Jadi perlakuan *heat treatment* variasi temperatur dengan menggunakan media pendingin meningkatkan kekuatan tarik baja A36 setelah pengelasan TIG.
- Pengujian kekerasan di titik *weld metal* setelah perlakuan *heat treatment* pada temperatur 700°C menggunakan media pendingin udara menjadi nilai rata-rata tertinggi sebesar 213,6 HVN, sedangkan tanpa perlakuan *heat treatment* menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 198,5 HVN. Pada titik HAZ setelah perlakuan *heat treatment* pada temperatur 800°C menggunakan media pendingin udara menjadi nilai rata-rata tertinggi sebesar 191,7 HVN, sedangkan tanpa perlakuan *heat treatment* menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 183,9 HVN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada keluarga tercinta atas dukungan, materi, usaha dan doa, serta kepada Bapak Dr. Ir.

Priyagung Hartono, M.T. dan Bapak Cepi Yazirin S.Pd., M.T. yang telah memberikan ilmu, doa, bimbingan dan nasehat semaksimal mungkin, tak lupa penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada teman-teman semua yang selalu meendukung disetiap kegiatan penulis.

Daftar Pustaka

- M. Ikhsan, P. Hartono, & M. Basyir. (2021). Analisa Struktur Mikro Kekuatan Sambungan Kampuh V dan Kampuh U Baja ASTM A36 Proses Pengelasan SMAW. *Universitas Islam Malang*.
- Sultoni, N. Finahari, & M. A. Sahbana. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Dan Oli Pada Sambungan Lap Joint Terhadap Sifat Mekanik Menggunakan Las SMAW (DC). *Proton*, 11(1), 35-42.
- F. W. Wibowo. (2013). Pengaruh Holding Time Annealing Pada Sambungan SMAW Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45. *Universitas Negeri Semarang*.
- G. Y. Pratama, & Yunus. (2022). Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) Dengan Variasi Media Pendingin Hasil Pengelasan SMAW Pada Pipa Kilang ASTM A 106 Grade B Terhadap Kekuatan Bending Dan Struktur Mikro. *JTM*, 10(3), 69-76.
- J. Arifin, H. Purwanto, & I. Syafa'at. (2017). Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Baja ASTM A36. *Momentum*, 13(1), 27-31.
- E. Prasetyo, & D. Suwito. (2014). Pengaruh Hasil Pengelasan Las TIG Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Pada Material Baja Karbon Rendah. *JTM*, 2(3), 21-28.
- A. A. Fakhri. (2017). Pengaruh Pengelasan Bypass TIG-MIG Terhadap Pengelasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik AI 6061. *Universitas Negeri Semarang*.
- W. M. E. Wattimena, J. Louhenapessy. (2014). Pengaruh *Holding Time* Dan *Quenching* Terhadap Kekerasan Baja ST 37 Pada Proses *Pack Carburizing* Menggunakan Arang Batok Biji Pala. *Teknologi*, 11(1), 1163-1171.