

ANALISA KORELASI VARIASI *HOLDING TIME HEAT POST WELDING TREATMENT* SMAW TERHADAP KEKERASAN BAJA ST 42

Henockh Palallo¹, Risa Bernadip², Aslim Muda Azis³

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Republik Indonesia, Indonesia

henockhpalallo@gmail.com¹

Kata Kunci:

Baja, Holding Time, Welding, Pengelasan SMAW, Heat Treatment, Post Uji Kekerasan, Korelasi Positif.

Abstrak

Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) adalah salah satu jenis pengelasan yang banyak dipakai untuk mengelas baja karbon. Kelebihan pengelasan SMAW, antara lain dapat diandalkan untuk mengelas berbagai tipe sambungan, serta lokasi yang sulit dikerjakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42 dan untuk mengetahui besar korelasi variasi *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu melakukan proses *heat treatment* (perlakuan panas) pada material baja ST 42 dengan temperatur 400°C dengan media pendingin oli SAE 30 dengan *holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit. Selanjutnya pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *rockwell hardness tester* dengan beban 580 N. Hasil penelitian uji kekerasan diperoleh bahwa pada proses perlakuan panas (*heat treatment*) dengan variasi *holding time* berpengaruh terhadap nilai kekerasan baja ST 42 dimana nilai kekerasan terendah berada pada *holding time* 15 menit dengan nilai kekerasan 109,8 kg/mm² dan nilai kekerasan tertinggi berada pada *holding time* 30 menit dengan nilai 111,8 kg/mm², dan hasil analisa korelasi diperoleh bahwa *holding time heat treatment post welding* berkorelasi positif terhadap nilai kekerasan baja ST 42 dimana besar korelasi yang terjadi 84%.

Abstract

This research aims to analyze the effect of holding time in the Post Weld Heat Treatment (PWHT) process on the mechanical properties of ST42 steel that has undergone welding using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method. The main focus of the study is the correlation between variations in heat holding time at a certain temperature and changes in hardness and toughness. The method used is an experiment with variations in holding time, followed by rapid cooling to maintain microstructural homogeneity. Hardness testing is conducted using Vickers or Rockwell methods, while toughness is analyzed through bending/impact tests depending on the appropriate method. The microstructure is examined to check for changes in the fractions of ferrite and pearlite, as well as grain size influenced by heat retention. In conclusion, the holding time during PWHT has a significant effect on the hardness and toughness of ST-42 steel. Adjusting the duration of the heat hold can be used as a control variable to optimize the mechanical properties of the weld, balancing strength and crack resistance according to the needs of engineering applications.

Key Word:

Steel, Holding Time, Welding, SMAW Welding, Heat Treatment, Post Hardness Test, Positive Correlation.

PENDAHULUAN

Isi dari Las SMAW merupakan pengelasan dengan memakai tenaga listrik buat menyalakan elektroda. Pengelasan ini efektif dan praktis karena hanya membutuhkan alat sederhana dan elektroda dalam penggunaannya, sehingga jenis las ini sangat baik diaplikasikan dalam industri rumah tangga, misalnya pembuatan pagar, atau di lingkungan industri. Secara umum pengelasan digunakan sebagai penyambungan logam dan sebagai alat perawatan dari konstruksi mesin (Riayadh, 2023).

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam elemen mesin dalam suatu konstruksi mesin (Husain, 2023). Penyambungan las ini sangat banyak diaplikasikan di dalam dunia industri karena mempunyai banyak kelebihan. Kelebihan sambungan las antara lain, penyambungan las menghasilkan hasil permanen. Sambungan las memiliki kekuatan lebih kokoh dibanding dengan kekuatan bahan dini apabila pada proses pengelasan memakai bahan tambah ataupun pengisi serta metode pengelasan dengan pas serta benar. Sambungan las juga relatif hemat jika dilihat secara ekonomis. Pengelasan bisa digunakan ataupun dicoba di lapangan, tidak cuma digunakan dalam area pabrik saja (Vaish et al., 2024)

Baja karbon (*carbon steel*) Baja karbon atau yang disebut *carbon steel* yaitu baja yang tersusun dari elemen-elemen yang persentase maksimum selain bajanya sebagai berikut: 1) 1.65 % *Manganese* 2) 0.60 % *Copper* 3) 1.70 % *Carbon* 4) 0.60 % *Silicon carbon* adalah bahan untuk menaikkan tegangan (*strength*) dari baja murni. Baja dikategorikan berdasar material, yaitu dari ingot *iron* (bongkah) tanpa karbon sama sekali, sampai *cast iron* (baja tuang) yang memiliki karbon sekurang-kurangnya adalah 1.70%. Berdasarkan banyaknya kadar karbon dalam baja, baja karbon dikelompokkan menjadi 3 yaitu baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,3%, baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,3%-0,6%, dan baja karbon tinggi yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6%-1,5% (Wang, 2023).

Baja yang penulisannya diawali dengan ST, maka bilangan yang mengikutinya menunjukkan kekuatan tarik minimum (dalam kg/mm^2) yang dimiliki baja tersebut. Jadi, baja tipe ST 42 menunjukkan bahwa baja ini mempunyai kekuatan tarik $\leq 37\text{kg/mm}^2$. Baja ST 42 merupakan baja karbon kelas rendah, karena mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,30% dan lebih dari 90% besi (Zumba Novay et al., 2025)

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) bersifat lunak, kekuatan relatif rendah, tetapi keuletannya tinggi atau sering disebut baja lunak (*Mild Steel*) dengan 10 kandungan karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah bersifat luas penggunaannya sebagai baja konstruksi, rangka kendaraan, mur, baut, pipa, tangki, minyak, dan lain-lain karena memiliki sifat pengerjaan yang baik seperti sifat keuletan, sifat mampu tempa, kelunakan, dan mampu mesin yang baik (Alhamidi et al., 2023)

Selanjutnya sifat yang sangat berperan dalam pemilihan material adalah sifat teknologi yaitu kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Produk dengan kekuatan tinggi dapat dibuat dengan proses pembentukan, misalnya dengan pengerolan atau penempaan. Produk dengan bentuk yang rumit dapat dibuat dengan proses pengecoran. Mengetahui dari pada hal yang menyangkut tentang sifat-sifat teknologi diantaranya sifat mampu las material terdiri dari, sifat mampu cor, sifat mampu mesin dan sifat mampu bentuk. Sifat-sifat mekanik yang merupakan sifat material terhadap pengaruh yang berasal dari luar serta sifat-sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi yang dikandung oleh material itu sendiri dengan cara yang modern dari wilayah tersendiri serta dengan sifatnya yang berlaku (SHAMSUDHEEN, 2025)

Pada temperatur antara 400°C , terjadi pembentukan dan pertumbuhan semenit dari karbida yang berpresipitasi pada tahap pertama dan kedua. Periode ini disebut sebagai proses tempering tahap ketiga. Periode ini ditandai dengan adanya penurunan volume dan melampaui efek yang ditimbulkan dari penguraian austenit pada tahap yang kedua (Mandal et al., 2024).

Pengelasan sering digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan peralatan industri, baik sebagai proses penambalan retak-retak, penyambungan sementara, maupun pemotongan bagian-bagian logam (Singh, 2024).

Perubahan sifat logam ini juga akan bergantung pada perubahan kenaikan temperatur yang terjadi pada saat pengelasan karena proses penyambungan dengan las menggunakan panas. Panas yang diterima oleh logam memiliki peran yang sangat penting pada hasil pengelasan. Yang terjadi selama proses pengelasan adalah logam akan mengalami siklus termal dimana proses pemanasan dan pendinginan terjadi secara cepat sehingga terjadi proses deformasi yang berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan seperti cacat, ketangguhan sambungan, kekuatan tarik, serta struktur mikro logam (Syukran et al., 2023)

Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) merupakan pengelasan yang diklasifikasikan sebagai las busur gas dan fluks, pada proses pengelasan SMAW bahan penyambung (elektroda) berupa logam yang telah dilapisi dengan fluks (slag las) yang berfungsi melapisi logam las dari las oksidasi dari luar (Rajab et al., 2023).

Prinsip kerja pengelasan busur elektroda terbungkus SMAW adalah proses pengelasan busur listrik terumpun yang menggunakan elektroda yang terbungkus *fluks* sebagai pembangkit busur dan sebagai bahan pengisi. Panas yang timbul diantara elektroda dan bahan induk mencairkan ujung elektroda (kawat) las dan bahan induk, sehingga membentuk kawah las yang cair, yang kemudian membentuk lasan. Bungkus (*coating*) elektroda yang berfungsi sebagai *fluks* akan terbakar pada proses berlangsung, gas yang terjadi akan melindungi proses terhadap pengaruh luar (oksidasi) yang sekaligus berfungsi memantapkan busur. Pada saat ini teknik pengelasan SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*) telah dilakukan secara luas, tetapi masih terdapat permasalahan yang terjadi pada setiap penyambungan material konstruksi (Abdul Rahman Agung Ramadhan et al., 2023)

Kekuatan tarik, perpanjangan, reduksi penampang E6013 lebih tinggi nilai dibandingkan elektroda E7016 yang mempunyai *heat* input lebih besar, sedangkan kekerasan dengan menggunakan elektroda E6013 lebih tinggi karena *heat* input yang diterima lebih kecil dibandingkan menggunakan elektroda E7016 (Anyanwu et al., 2023)

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Energi panas yang diperlukan untuk mencairkan sebagian bahan dasar dan bahan tambah dapat diperoleh dari bermacam-macam cara antara lain melalui pembakaran gas, busur listrik, resistansi listrik, gesekan dan lain sebagainya. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang di gunakan dalam pengelasan. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan (Mochammad Rizal & Mochamad Mas'ud, 2025)

Oil cooler adalah komponen seperti radiator yang berfungsi melepas panas yang dibawa oli mesin ke udara bebas dari tiga jenis sistem pendingin diatas, tentu yang paling banyak digunakan adalah sistem pendingin air (Indah Meutiarani et al., 2023).

Teknologi dibidang konstruksi terus berkembang terutama dalam perancangan dan desain produk. Salah satu konstruksi rancangan yang sering dijumpai adalah konstruksi baja. Dalam penerapannya konstruksi baja ini seringkali tidak dapat dihindari dari melakukan proses penyambungan logam atau yang sering disebut dengan pengelasan. Setiap proses pengelasan pasti berhubungan dengan arus pengelasan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standart atau code yang dianut. Oleh karena itu pemilihan besarnya arus pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik dengan menggunakan proses pengelasan SMAW. Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah. Material diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A. Jenis sambungannya adalah sambungan tumpul kampuh V tunggal dengan sudut 70°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik pada spesimen raw material yang tidak mengalami pengelasan dan spesimen yang mengalami pengelasan bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kgf/mm². Selanjutnya diikuti oleh arus 80 A yaitu sebesar 43.14 kgf/mm² selanjutnya diikuti oleh nilai kekuatan tarik dari raw material yaitu sebesar 41.88 kgf/mm² dan yang terakhir adalah arus 90 A yang nilainya sebesar 40.07kgf/mm². Nilai pengujian kekerasan material pada arus 80 A, 90 A dan 100 A menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu pada kelompok spesimen arus 80 A sebesar 96.5 HRC (Indah Meutiarani et al., 2023).

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen bertujuan untuk mengetahui dan menanalisis nilai kekerasan baja ST 70 pada proses perlakuan panas dengan menggunakan media pendingin air garam dan media pendingin oli (Fahreza et al., 2025).

Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon 0,05% - 0,30%. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk bahan bangunan, perpipaan, rantai, skrup, dan pasak ("SAE 1029," 2023).

Penelitian dilaksanakan dan mengarah pada tujuan yang sebenarnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42.
2. Bagaimana besar korelasi *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42.
2. Untuk mengetahui besar korelasi *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42

Agar penelitian berjalan sebagaimana yang diharapkan, maka dalam penelitian ini ditetapkan batasan-batasan yaitu:

1. Pengelasan SMAW
2. Elektroda E6013 diameter 3,2 mm
3. Baja ST 42
4. Temperatur *tempering* 400°C
5. Media pendingin oli SAE 30
6. *Holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit
7. Analisa korelasi linear

Manfaat Penelitian

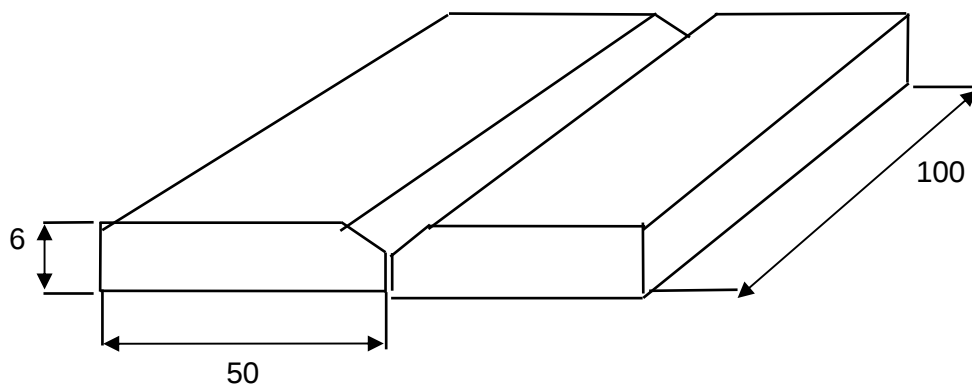
Adapun manfaat penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Sebagai syarat menyelesaikan studi untuk gelar (S1) Teknik Mesin Universitas Pejuang Republik Indonesia Makassar.
2. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada industri yang mengenai analisa korelasi variasi *holding time heat treatment post welding* SMAW terhadap kekerasan baja ST 42.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Politeknik ATI Makassar dan dimulai dari bulan April sampai September 2025. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Mesin las SMAW untuk mengelas baja, Sarung tangan las digunakan saat proses pembuatan spesimen, Jangka sorong untuk mengukur Tinggi, Tebal, Panjang, *Notch*, Kedalaman Spesimen, Topeng las sebagai pelindung wajah pada saat pengelasan, Mesin gerinda sebagai alat pemotong baja, Kacamata gerinda sebagai pelindung mata saat pemotongan baja, Sikat baja digunakan untuk membersihkan kerak las, Tungku digunakan untuk memanaskan spesimen, *Rockwell* digunakan untuk uji kekerasan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Baja ST 42, Elektroda, Oli SAE 30. Pembuatan spesimen uji kekerasan, adalah sebagai berikut: Menyiapkan spesimen baja ST 42 yang akan disambungkan menggunakan las SMAW dengan dimensi sebagai berikut: Panjang = 100 mm, Lebar = 50 mm, Tebal = 6 mm



Spesimen uji, dilas menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 3,2 mm dengan arus pengelasan 120 A. Kemudian spesimen yang telah dilas dimasukkan kedalam tungku pemanas dengan temperatur yang bervariasi yaitu, 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C. Kemudian spesimen uji di *holding time* selama 15 menit didalam tungku, setelah itu spesimen dikeluarkan dan langsung didinginkan menggunakan media pendingin air. Spesimen siap diuji kekerasannya. Dalam pelaksanaan pengambilan data pengujian kekerasan dilakukan prosedur-prosedur berikut: Persiapan spesimen, Pemilihan metode pengujian (Pengujian kekerasan *Rockwell*), Penentuan parameter pengujian., Kalibrasi peralatan, Pelaksanaan pengujian, Pengukuran dan pencatatan, Analisis data, Interpretasi dan pelaporan hasil pengujian.

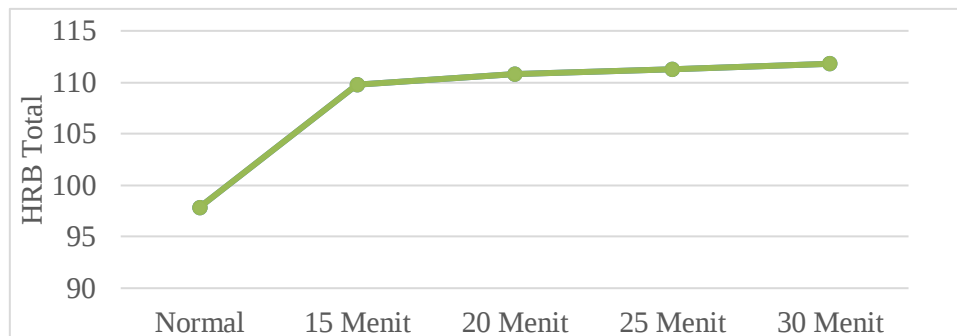
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini dilakukan dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas) pada material baja ST 42 dengan temperatur 400 dengan *holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit dan media pendingin oli SAE 30. Kemudian dilakukan dengan pengelasan SMAW posisi bawah tangan arus 120 A menggunakan elektroda E-6013 dan selanjutnya pengujian kekerasan dengan metode *rockwell hardness tester* dengan beban 580 N.

Tabel 1. Data hasil pengujian kekerasan *Rockwell Hardness Tester*.

No.	Holding Time (Menit)	Spesimen	HRB1	HRB2	HRB3	HRB Rata-Rata	HRB Total
1.	Normal	1	98,50	97,90	97,20	97,86	97,86
2.	15 menit	1	107,1	112,0	109,6	109,5	109,8
		2	107,9	112,0	108,0	109,3	
		3	111,5	112,3	108,0	110,6	
3.	20 menit	1	109,7	114,0	109,1	109,9	110,8
		2	108,3	113,6	110,6	110,8	
		3	111,6	112,9	110,6	111,7	
4.	25 menit	1	108,5	112,0	111,6	110,7	111,3
		2	109,6	113,7	111,7	111,6	
		3	110,5	114,0	110,5	111,6	
5.	30 menit	1	111,4	114,0	112,3	112,5	111,8
		2	111,0	113,1	112,0	112,0	
		3	110,2	111,8	111,1	111,0	

Dari rata-rata hasil uji kekerasan pada tabel 1 di atas maka didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 1. Grafik Pengaruh *Holding Time* Terhadap Nilai Kekerasan

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Dimana:

r = Koefisien korelasi

n = Jumlah spesimen

X= Nilai variabel X

Y = Nilai variabel Y

Nilai koefisien korelasi tiap variabel dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \\
 &= \frac{5 \times 9.999 - 90 \times 541,56}{\sqrt{(5 \times 2.150 - (90)^2)(5 \times 58.796,18 - (541,56)^2)}} \\
 &= \frac{1.254,6}{\sqrt{2.650 \times 693,67}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1.254,6}{\sqrt{1.838.225,5}} \\
&= \frac{1.254,6}{1.355,81} \\
r &= 0,92
\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai koefisien yang diperoleh yakni 0,92 dapat ditentukan koefisien determinasi atau koefisien penentuannya yaitu:

$$\begin{aligned}
R &= r^2 \times 100\% \\
&= (0,92)^2 \times 100\% \\
&= 0,84 \times 100\% \\
&= 84\%
\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai koefisien yang diperoleh yakni 84% berarti antara variabel memiliki hubungan yang sangat kuat yakni antara *holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit berpengaruh terhadap kekerasan material baja ST 42. Dimana pengaruh yang terjadi sebesar 84%

Pembahasan Uji Kekerasan

Dari hasil pengujian dari tabel 1 diatas, pada proses perlakuan panas (*heat treatment*) variasi temperatur, dan *holding time* berpengaruh terhadap kekerasan baja ST 42 dimana dipanaskan dengan variasi temperatur 400°C dengan *holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit dapat berpengaruh terhadap kekerasan baja ST 42. Dimana pada raw material/normal dengan nilai rata-rata 97,86 kg/mm², pada *holding time* 15 menit dengan nilai rata-rata 109,8 kg/mm², pada *holding time* 20 menit dengan nilai rata-rata 110,8 kg/mm², pada *holding time* 25 menit dengan nilai rata-rata 111,3 kg/mm², dan pada *holding time* 30 menit dengan rata-rata 111,8 kg/mm². Dari hasil pengujian spesimen nilai kekerasan *holding time* (15 menit) merupakan nilai kekerasan paling rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan *holding time* (30 menit) merupakan nilai kekerasan paling tinggi, maka dapat disimpulkan bahwa semakin lama variasi *holding time* semakin tinggi nilai kekerasan. Dimana nilai kekerasan terendah pada spesimen pemanasan awal diperoleh pada variasi *holding time* 15 menit dan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi *holding time* 30 menit. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh (H Istiqlaliyah, F Rhohman) variasi *holding time* perlakuan panas (*Heat Treatment*) pada pengelasan memberikan pengaruh terhadap kekerasan material baja ST 42.

Pembahasan Analisa Korelasi

Berdasarkan tabel 4.2 dan gambar 4.1 diperoleh bahwa proses *heat treatment* dengan *holding time* 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit berpengaruh sangat kuat pada kekerasan baja ST 42 dimana dipanaskan dengan variasi 400°C.

Besar pengaruhnya dapat diketahui berdasarkan nilai determinasi dan koefisien penentu sebesar 84%, artinya variasi *holding time* dengan temperatur pemanasan 400°C berpengaruh sangat kuat terhadap kekerasan baja ST 42 sebesar 84%. Hal ini dibuktikan dengan analisa data berdasarkan tabel 4.2 dan perhitungan nilai koefisien korelasi dengan metode *least square*. Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai koefisien korelasinya sebesar 0,92 yang berarti bahwa *holding time* dengan temperatur pemanasan 400°C berpengaruh sangat kuat terhadap kekerasan baja ST 42 dan berkorelasi positif artinya jika semakin lama *holding time* dilakukan maka semakin meningkat pula nilai kekerasan dan sebaliknya

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian kekerasan dan variasi *holding time* dengan media pendingin oli SAE 30 terhadap kekerasan baja karbon rendah maka dapat disimpulkan *Holding time* dengan media pendingin oli SAE 30 berpengaruh sangat kuat terhadap kekerasan baja karbon rendah dimana nilai kekerasan terendah berada pada *holding time* 15 menit sebesar 109,8 kg/mm² dan nilai kekerasan tertinggi berada pada *holding time* 30 menit sebesar 111,8 kg/mm². *Holding time* dengan media pendingin oli SAE 30 berkorelasi positif terhadap nilai kekerasan baja ST 42 dimana besar korelasi yang terjadi sebesar 84%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua saya (Benyamin Bura, S.Pd dan Yosepin Tonglo) dan saudara/saudari saya (Gusmin Palallo, Frengki Rerang, Henry Palallo, Ikel Palallo, Jeckson Palallo) yang telah memberikan dukungan moral dan materi serta doanya selama penulisan

mengikuti pendidikan di Universitas Pejuang Republik Indonesia Makassar, Rekan-rekan mahasiswa Teknik mesin yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan selama perkuliahan dan penyusunan skripsi ini, Dan kepada Ibu Enni Sulfiana selaku Kepala Laboratorium Pengujian Politeknik ATI Makassar yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahman Agung Ramadhan, Muchlis, A., & Fadila Muhammad Hidayat. (2023). IMPACT OF ELECTRIC CURRENT ON SMAW WELDING STRENGTH. *International Journal Science and Technology*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.56127/ijst.v2i2.777>
- Alhamidi, A., Alfirano, A., & Prawira, A. (2023). Effect of Temperature and Cycle Spheroidizing on Mechanical Properties and Microstructure of Low Carbon Steel. *Materials Science Forum*, 1102, 59–64. <https://doi.org/10.4028/p-gdps4F>
- Anyanwu, K. O., Nzei, H. O., Onuoha, C., & Ehirim, V. I. (2023). The effects of heat input and electrode type on the mechanical properties of welded A309 stainless steel using a shielded metal arc welding. *Applied Research and Smart Technology (ARSTech)*, 4(1), 43–52. <https://doi.org/10.23917/arstech.v4i1.1149>
- Fahreza, D. A., Rijanto, A., & Dyah, A. I. (2025). Analisis Efektivitas Media Pendingin Otomotif Dalam Meningkatkan Kekerasan Material ST-41. *Majamecha*, 7(2), 290–297. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v7i2.4318>
- Husain, F. (2023). Welding Training Flux Cored Arc Welding (FCAW) in Improving Welding Skills. *Collaborate Engineering Daily Book Series*, 1(1), 32–37. <https://doi.org/10.62012/collaborate.v1i1.7>
- Indah Meutiarani, C., Maksum, H., Nasir, M., & Andrizal. (2023). Pengaruh Oil cooler 5 Baris Terhadap Suhu Oli Mesin dan Konsumsi Bahan Bakar pada Sepeda Motor 4 Langkah. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(4), 493–500. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i4.102>
- Mandal, S., Ghosh, P., Rajput, A. S., Yadav, S., & Haldar, A. (2024). Microstructure and property evolution during tempering of a medium carbon bainitic steel. *Materials Science and Technology*, 40(15), 1114–1127. <https://doi.org/10.1177/02670836241240370>
- Mochammad Rizal, & Mochamad Mas'ud. (2025). Analysis of the strength of METAL ARC WELDING (SMAW) against bending tests in the WELD METAL area. *International Journal of Health Engineering and Technology*, 4(3). <https://doi.org/10.55227/ijhet.v4i3.367>
- Rajab, D. A., Artitana, L., & Suprayitno, A. (2023). ANALYSIS OF SMAW IN DIFFERENT MATERIALS WITH ELECTRODE VARIATIONS. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 8(2). <https://doi.org/10.21831/dinamika.v8i2.64465>
- Riayadh, M. (2023). Application of Basic Welding Techniques Shield Metal Arc Welding (SMAW) to Improve the Capability of Forced Village Communities. *Collaborate Engineering Daily Book Series*, 1(1), 26–31. <https://doi.org/10.62012/collaborate.v1i1.14>
- SAE 1029. (2023). *Alloy Digest*, 72(9). <https://doi.org/10.31399/asm.ad.cs0260>
- SHAMSUDHEEN, S. A. (2025). Fundamentals of Manufacturing Processes and Material Selection. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 09(01), 1–9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM41092>
- Singh, D. K. (2024). Arc Welding Processes. In *Fundamentals of Manufacturing Engineering* (pp. 223–250). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8767-2_10
- Syukran, S., Syahri, A., & Ismy, A. S. (2023). The Effect of Heat Input on the Tensile Strength and Toughness of welded SS400 Materials by SMAW. *Journal of Welding Technology*, 5(1). <https://doi.org/10.30811/jowt.v5i1.3508>
- Vaish, A. K., Patel, R., Chauhan, B. J., Kahar, S. D., Bhojani, A., Bhaisaheb, K. M., & Narayana, K. (2024). Welding of Steel - Its Mechanism and Applications in Multiple Sectors. *Indian Welding Journal*, 80–86. <https://doi.org/10.22486/iwj.v57i1.223730>
- Wang, Z. (2023). Mechanical properties of carbon steel under uniaxial static tension. *Journal of Physics: Conference Series*, 2535(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2535/1/012013>
- Zohuri, B. (2021). Materials Characteristics and Materials Properties. In *Thermal Effects of High Power Laser Energy on Materials* (pp. 27–51). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63064-5_2
- Zumba Novay, E. G., Santillan Mariño, C. J., Cuenca Pérez, D. E., & Espinoza Gallo, J. D. (2025). Comparison of Properties (stress, resistance and deformation) between low and high carbon steel. *Revista Tecnológica Ciencia y Educación Edwards Deming*, 9(1), 1–17. <https://doi.org/10.37957/rfd.v9i1.141>