



PENGARUH PENDINGINAN UDARA BEBAS, AIR, OLI, DAN AIR GARAM TERHADAP MATERIAL BAJA SUP 9 DENGAN PERLAKUAN PANAS

Umi Kulsum^{1*)}, Aini Lostari², Didik Sugiono³, R.Yudi Hartono⁴

1,2,3,4 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Qomaruddin Gresik

Jln Raya Bungah no.1 Bungah Gresik Jawa Timur 61152

e-mail: kulsum@uqgresik.ac.id

ABSTRAK

Perlakuan panas (*heat treatment*) didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan yang terkontrol dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat - sifat tertentu pada baja/logam atau paduan. Salah satu metode perlakuan panas tersebut dengan proses *quenching* dan *normalizing*. Proses ini dilakukan pada temperatur *austenite* (850°C) dan dilanjutkan *holding time* selama 120 menit kemudian didinginkan dengan air, air garam, oli dan udara bebas. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan untuk mengetahui perubahan sifat material. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai kekerasan optimum adalah 501-528 BHN setelah *quenching* pada media pendingin air garam dan air, membentuk struktur mikro diantaranya *ferrite*, *martensite*, *cementite*, *pearlite* dan *bainite*. Dan struktur yang banyak terbentuk dari nilai kekerasan paling optimum adalah *martensite*. Perubahan struktur mikro yang terjadi dari *austenite* ke *martensite*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa proses *quenching* dan *normalizing* dapat merubah nilai kekerasan. Sementara perubahan struktur mikro terjadi karena proses *holding time* selama 120 menit dan perubahan nilai kekerasan yang signifikan terjadi pada *quenching* air dan air garam.

Kata Kunci: Perlakuan panas, Quenching, Normalizing, Baja Karbon Sedang, Metalografi

ABSTRACT

Heat treatment is defined as a combination of controlled heating and cooling operations in the solid state to obtain specific properties in steel, metal or alloys. One of the heat treatment methods is the quenching and normalizing process. This process is carried out at austenite temperature (850°C), followed by a holding time of 120 minutes, and then cooled using water, salt water, oil and free air. The test carried out include microstructure testing and hardness testing to determine changes in material properties. The test results show that the optimum hardness value, ranging from 501 to 528 BHN, is achieved after quenching in salt water and water cooling media. The resulting microstructure include ferrite, martensite, cementite, pearlite and bainite. And the many structures formed from the most optimum hardness values are martensite. Changes in microstructure that occur from austenite to martensite. From this study it is concluded that the quenching and normalizing process can change the hardness value. While the microstructure change occurs due to holding time for 120 minutes, and significant change of hardness value occurs with water and salt water quenching.

Keywords: *Heat Treatment, Quenching, Normalizing, Medium Carbon Steel, Metallography*

1. Pendahuluan

Perkembangan industri permesinan dan konstruksi memacu perkembangan teknologi pembuatan berbahan dasar logam seperti komponen mesin, konstruksi bangunan, maupun peralatan rumah tangga. Proses pengubahan sifat

logam terutama baja dapat dilakukan dengan cara mengubah struktur mikro, metode *hardening* dan pemanasan serta pengaturan laju pendinginan dengan metode *Heat Treatment* [1].

Proses *heat treatment* banyak diaplikasikan pada berbagai macam logam, salah satunya digunakan pada baja SUP 9 (*Stand up Paddleboard*). Baja SUP 9 (*Stand up Paddleboard*) merupakan baja pegas yang memiliki struktur mikro homogen untuk dipilih sebagai material dasar pegas [2]. Baja SUP 9 (*Stand up Paddleboard*) tergolong kedalam baja karbon tinggi dengan kandungan kadar karbon antara 0,30% - 1,50%. Baja ini dapat digunakan sebagai bahan pembuatan pegas dan alat perkakas yang mempunyai tingkat kekerasan tinggi [3].

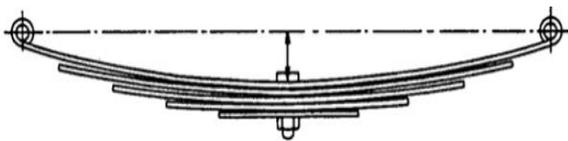
Pada beberapa kasus, metode *heat treatment* banyak digunakan untuk uji kekerasan pada material baja SUP 9. Sementara pada kasus yang lebih kompleks, analisa perubahan struktur akibat *heat treatment* pada Logam ST, FC dan Ni-Hard4 pengujiannya dilakukan dengan uji metallografi, uji kekerasan dan uji magnetik [4]. Selain itu, dilakukan analisa pengaruh *heat treatment* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro besi cor nodular (FCD) dengan uji metallografi. Namun, penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui berapa besar kekuatan pada logam dan besi dengan cara uji metallografi dan magnetik [5].

Berdasarkan penelitian terdahulu, Peneliti melakukan pengembangan penelitian dengan melakukan metode *heat treatment* terhadap material baja SUP 9, proses *holding time* selama 120 menit dilanjutkan proses *Quenching* air, udara bebas, oli SAE 20W-50 dan larutan air garam dengan pendinginan spesimen mencapai temperatur 100°C terhadap struktur mikro dan *hardness* baja pegas SUP 9.

2. Material dan Metode

2.1 Persiapan Bahan

Pegas yang digunakan adalah pegas daun nomor 3 dengan kandungan komposisi kimia yang ditunjukkan oleh Tabel 1 dan dimensi panjang 50 cm, lebar 8,6 cm, dan ketebalan 1,8 cm yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Pegas tersebut kemudian dipotong dengan panjang 8,6 cm dan lebar 2,5 cm untuk dijadikan spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya, spesimen tersebut diberi perlakuan panas sebelum didinginkan menggunakan berbagai media pendingin yang berbeda yaitu udara bebas, air garam, air, oli.



Gambar 1. Pegas daun



Gambar 2. Dimensi spesimen

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Pegas Daun SUP 9

No.	Unsur	Wt%
1	Fe	97,37
2	Mn	0,939
3	Cr	0,002
4	C	0,504
5	P	0,018
6	Si	0,230
7	S	0,009

2.2 Proses Heat Treatment

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) dilakukan pada lima variasi spesimen yang berbeda. Variasi pertama berupa *raw material*, variasi kedua udara bebas, variasi ketiga air, variasi keempat air garam, dan variasi kelima oli SAE 20W-50. Spesimen yang telah disiapkan kemudian diberi perlakuan panas dengan cara dipanaskan di dalam tungku *furnace* pada suhu 850°C selama 2 jam (*holding time*) dan kemudian didinginkan serta ditahan dalam media pendingin hingga mencapai temperatur 100°C.

2.3. Proses pengujian

2.3.1 Pengujian Struktur Miro

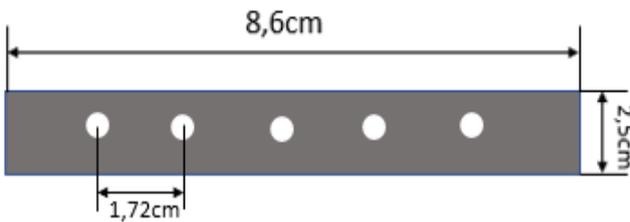
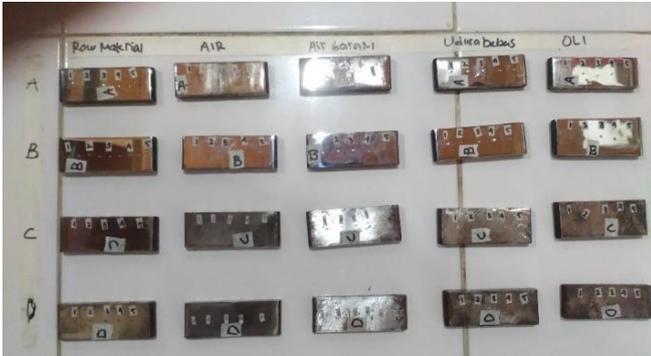
Struktur mikro diamati melalui mikroskop optik Olympus BX51M-RF yang terhubung ke komputer dengan pembesaran 100x. Benda uji diletakkan di bawah lensa obyektif mikroskop. Selanjutnya, perangkat komputer memulai aplikasi mikroskop digital. Fokus halus diputar untuk memfokuskan gambar. Dudukan lensa mikroskop diputar maju-mundur dan kiri-kanan untuk mengarahkan pandangan ke bagian benda uji. Proses mengetsa diperlukan agar struktur mikro dapat dilihat di bawah mikroskop. Mengetsa adalah proses membuat ukiran atau gambar pada permukaan logam dengan bantuan larutan kimia untuk menonjolkan batas-batas butir dan fasa mikrostruktur. Pada pengujian ini, larutan etsa yang digunakan adalah larutan nital, yaitu campuran antara 1 mL HCl dan 20 mL metanol (CH₃OH).

2.3.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan material dilakukan dengan metode *Brinell Hardness* menggunakan alat uji kekerasan tipe Universal Hardness Tester HBRV 187.5A, yang bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material berdasarkan daya tahannya terhadap bola baja dengan kekerasan tertentu pada permukaan material uji. Jejak hasil penekanan berbentuk lingkaran dan diameternya diukur menggunakan mikroskop khusus untuk analisis indentasi. Pengamatan diameter indentasi dilakukan dengan tropong indenter, kemudian data hasil pengukuran disesuaikan dengan tabel kekerasan. Perhitungan secara manual dilakukan menggunakan rumus yang tercantum dalam persamaan (1)

$$HB = 0,102 \frac{F}{\frac{\pi}{2}D - (\sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana ;
 HB = Hasil kekerasan Brinell (HB)
 D = Diameter bola (mm),
 F = Beban atau *load* (N),
 d = diameter jejak indentasi (mm)
 0,102 = faktor khusus yang digunakan dalam perhitungan, mengingat indenter yang digunakan berbahan besi wolfram. Spesimen hasil pengujian kekerasan dengan lima titik kekerasan berjarak 1,72cm setiap titik ditunjukkan pada Gambar 3.

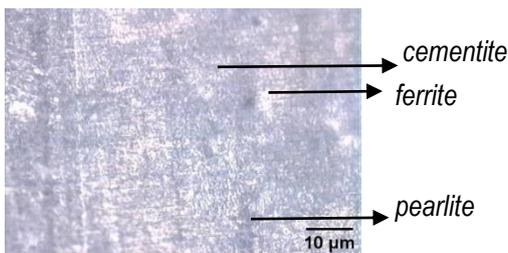


Gambar 3. Spesimen Hasil Uji Kekerasan

3 Hasil dan Pembahasan

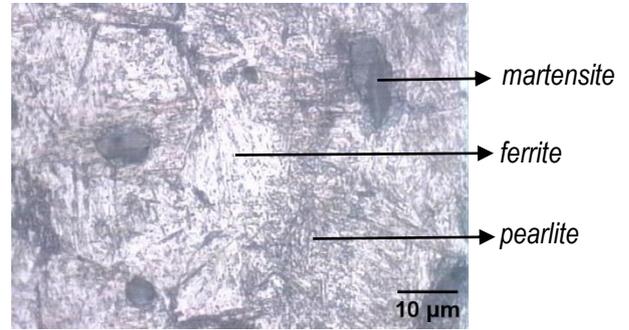
3.3 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari hasil uji metalografi pada benda uji dengan media pendingin udara bebas terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu, *pearlite*, *ferrite*, dan *cementite*. *Pearlite* yang terbentuk lebih banyak dikarenakan *austenite* yang berubah menjadi *pearlite* memiliki waktu yang banyak untuk berubah sehingga hasil ini dapat dilihat bahwa sifat dari Baja SUP 9 dengan media pendingin udara bebas dapat dikatakan ulet [6]. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 3.



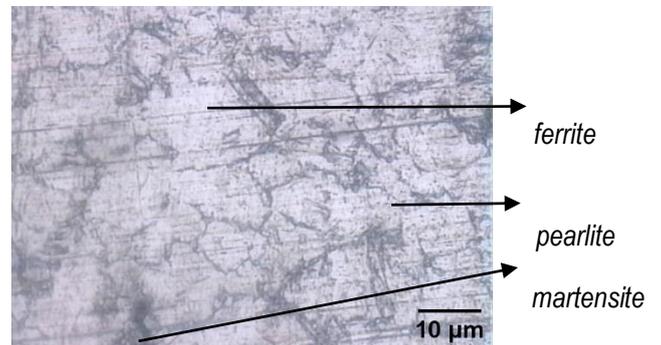
Gambar 3. Spesimen Hasil Uji Udara Bebas

Spesimen pengujian dengan media pendingin oli terdapat beberapa struktur mikro yaitu *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite* yang lebih dominan. *Martensite* terbentuk dari *austenite* yang didinginkan secara cepat yang disebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal, sehingga membentuk struktur tetragonal ruang kosong yang mana ukuran atomnya kecil, hal ini yang menyebabkan nilai kekerasannya meningkat [7],[11]. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen Hasil Uji Oli

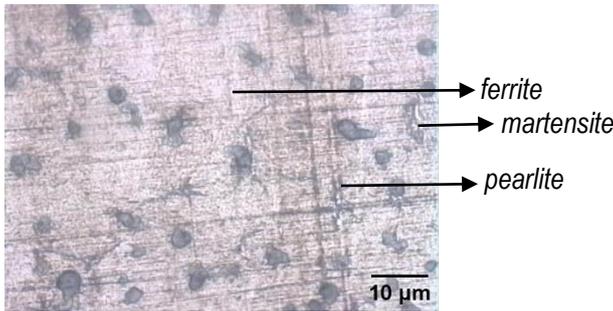
Pada uji spesimen *quenching* air terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite*. Sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan spesimen *Normalizing* Udara Bebas. Laju pendinginan cepat dengan *quench* air pada garis *austenite* yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*) berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu *martensite* yang memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*) Hasil pengujian struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spesimen Hasil Uji air

Dari hasil uji metalografi pada benda uji spesimen *quenching* air garam terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat antara lain *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite* lebih dominan dibandingkan dengan *bainite* (putih). Perlakuan panas pada temperatur *austenite* 850°C dan di *holding time* selama 2 jam kemudian di *quench* dengan air garam, laju pendinginan cepat dengan *quench* air garam pada garis *austenite* yang memiliki struktur FCC (*Face Centered Cubic*)

berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu *martensite* yang memiliki struktur BCC (*Body Centered Cubic*), sehingga memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi, maka dari hasil ini dapat dilihat bahwa kekerasan dari proses *quenching* air garam dapat dikatakan keras, dikarenakan sistem pendinginannya secara cepat dengan cara mencelupkan spesimen yang masih panas kedalam media pendingin air garam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak unsur karbon, maka struktur *martensite* yang akan terbentuk juga akan semakin banyak. *Martensite* terbentuk dari *austenite* yang didinginkan secara cepat sehingga menyebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal, maka membentuk struktur tetragonal ruang kosong yang mana antara atomnya kecil, hal ini yang menyebabkan nilai kekerasannya meningkat [8]. Hasil pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spesimen Hasil Uji air garam

3.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metode Brinell dapat diamati melalui mikroskop. Setiap spesimen uji dikenakan pengujian pada 5 titik, yang kemudian menghasilkan data nilai kekerasan dari berbagai kondisi perlakuan, yaitu Quenching dengan air garam, Quenching dengan air, Quenching dengan oli, Normalizing udara bebas dan Raw Material. Data hasil nilai kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 7.

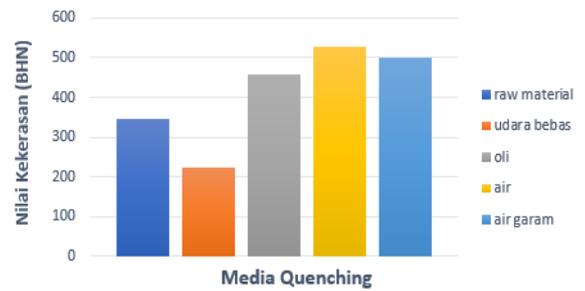
Tabel 2. Hasil Nilai Kekerasan Baja SUP 9

No	Media Pendingin	Rata-rata Nilai Kekerasan (BHN)
1	Raw Material	347
2	Udara	224
3	Oli	458
4	Air	528
5	Air Garam	501

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam Tabel 2, spesimen yang menerima perlakuan *quenching* dengan air dan air garam memiliki nilai nilai kekerasan tertinggi, yaitu sebesar 501-528 BHN. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen

dengan perlakuan *quenching* menggunakan air dan air garam memiliki tingkat kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya. Hal ini disebabkan karena *quenching* menggunakan air dan air garam mempercepat laju pendinginan dibandingkan dengan media pendingin lainnya, seperti oli dan udara. Pendinginan yang cepat menyebabkan transformasi *martensite* lebih dominan dalam struktur mikro baja, yang berkontribusi pada peningkatan kekerasan. Larutan air garam memiliki konduktivitas termal lebih baik dibandingkan dengan air biasa, yang berarti dapat menyerap dan menghantarkan panas dari benda yang didinginkan dengan lebih cepat. Ketika garam seperti natrium klorida (NaCl) larut dalam air, garam akan terurai menjadi ion-ion positif (Na⁺) dan negatif (Cl⁻). Ion-ion ini bergerak bebas di dalam larutan dan membantu mentransfer energi panas lebih efisien dibandingkan molekul air biasa.

Nilai pengujian Kekerasan (BHN)



Gambar 7. Grafik Hasil Nilai Kekerasan Baja SUP 9

Selain itu, larutan garam juga memiliki tegangan permukaan yang lebih rendah dibandingkan air biasa, sehingga lebih mudah menyebar dan bersentuhan langsung dengan permukaan logam sehingga membantu menghilangkan panas dengan lebih cepat dibandingkan dengan air biasa. Penelitian ini juga didukung oleh hasil penelitian Y.Aziza (2020), yang menunjukkan bahwa tingkat kekerasan tertinggi dicapai ketika media pendinginan yang digunakan adalah air garam, dibandingkan dengan air biasa, tergantung pada banyaknya kadar garam yang sudah dilarutkan [9]. Tingkat kekerasannya meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi garam dalam larutan. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya struktur mikro yang lebih dominan mengandung fasa *martensite*.

Struktur mikro yang terbentuk setelah proses pendinginan pada air garam terdiri dari fasa *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite*. *Ferrite* merupakan fasa yang lunak dan ulet, sedangkan *pearlite* memiliki kekerasan sedang karena merupakan kombinasi lamelar antara *ferrite* dan *cementite*. Sementara itu, *martensite* adalah fasa yang sangat keras dan terbentuk akibat pendinginan yang sangat cepat dari *austenite*. Terbentuknya *martensite* dalam jumlah besar akan meningkatkan kekerasan logam karena struktur kristalnya yang rapat dan tegangannya yang tinggi. Oleh karena itu, penggunaan air garam juga mendorong

terbentuknya *martensite* dalam jumlah besar, sehingga meningkatkan kekerasan logam secara signifikan.

Sementara itu, *quenching* dengan media oli memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah sebesar 458 BHN dibandingkan dengan media air biasa yang memiliki nilai 528 BHN. Pendinginan dengan menggunakan oli akan lebih lambat dibandingkan dengan air biasa karena tingkat viskositas akan mempengaruhi laju pendinginannya. Semakin tinggi nilai viskositasnya maka akan semakin lambat laju pendinginannya sehingga nilai kekerasannya akan lebih rendah [10],[11],[12]. Pendinginan dengan udara menghasilkan kekerasan paling rendah karena laju pendinginannya terlalu lambat untuk membentuk *martensite*, sehingga yang terbentuk adalah struktur mikro yang lebih lunak seperti *ferrite* dan *pearlite*.

4 Kesimpulan

Nilai BHN yang memiliki nilai tertinggi yaitu pada spesimen yang mendapat perlakuan *quenching* air dan air garam yang memiliki nilai rata-rata 501-528 BHN. Hal ini disebabkan nilai konduktivitas zat larutan garam lebih tinggi. Dari hasil uji struktur mikro diketahui bahwa proses *quenching* menggunakan air dan air garam memiliki tingkat kekerasan yang lebih keras dari pada *normalizing* menggunakan udara bebas dikarenakan struktur *quenching* menggunakan air dan air garam yang berbentuk *martensite* (keras) dan *normalizing* menggunakan udara bebas berbentuk *pearlite* (lunak).

Dari hasil uji metallografi pada benda uji spesimen *quenching* air dan air garam terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu korosi, *ferrite*, *pearlite*, dan *martensite* (bentuk jarum) lebih dominan di bandingkan dengan *bainite* (putih) sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi di bandingkan dengan spesimen *normalizing* udara bebas.

Daftar Pustaka

- [1] M. Owais, M. Mehdi, M. A. Hassan, M. H. Jokhio, and G. Raza, "The Synergetic Effect of Hot Rolling and Heat Treatment on Mechanical Properties: AISI-1045 and JIS-SUP 9 Steel," *J. Test. Eval.*, vol. 48, no. 4, pp. 3300–3311, Jul. 2020, doi: 10.1520/JTE20170542.
- [2] A. L. Indratmoko, I. Sukmana, and M. Badaruddin, "Effect of Full Annealing and Single Quenching-Tempering Heat Treatment on the Mechanical Properties of JIS SUP 9A Steel," *J. Polimesin*, vol. 21, no. 2, pp. 259–265, 2023."
- [3] A. Lostari, T. Machfuroh, and S. Mahardika, "Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Heat Treatment Baja SUP-9," vol. 24, no. 3, 2022.
- [4] Herizen, Dwi; SISWANTO, Rudi. Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja SUS 630 Metode Hardening. *JTAM ROTARY*, 2020, 2.2: 149-160..
- [5] Ipekyuz, Beyhan, Pinar Karatas Sevinen, and Hediye Tuydes Yaman. "Performance Evaluation of Fused Floating Car Data (FCD) and Bluetooth (BT) Data Speed Estimation on Urban Arterials." *Arabian Journal for Science and Engineering* (2025): 1-18.
- [6] Prabowo, Aryo Aji, and Sunyoto Sunyoto. "Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Bending Baja AISI 1010." *JMEL: Journal of Mechanical Engineering Learning* 9.1 (2020).
- [7] Affandi, Muhammad, Muhamad Ari, and Dika Anggara. "Analisa Pengaruh Waktu Penahanan Pada Proses Quenching-Partitioning Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A." *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*. Vol. 1. No. 1. 2017.
- [8] R. Zulkarnaini, H. Hamdani, and E. Saputra, "Evaluasi Sifat Mekanik Baja Pegas Daun Mobil Isuzu Panther," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 7, no. 1, pp. 14–18, 2023.
- [9] Y. Aziza, "Pengaruh Kadar Garam Dapur (NaCl) Dalam Media Pendinginan Terhadap Tingkat Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST-60," *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 1, no. 1, pp. 18–25, Aug. 2020, doi: 10.33379/gtech.v1i1.263.
- [10] M. Syaifullah, M. Subhan, and J. Juanda, "Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60," *J. Syntax Admiration*, vol. 2, no. 8, pp. 1555–1569, Aug. 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i8.292.
- [11] P. Saefuloh, Iman, Haryadi. Abdurrofi Zahrawani. Bintang Adjiantor. 2018. "Pengaruh Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Paduan Laterit". *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, Vol. 4, No. 1. Hal: 56-64.
- [12] Ardika RD, Fitriani A, Winardi Y, Fadelan F, Hastuti S, Muhammad R. Pengaruh Quenching dan Tempering terhadap Sifat Fisik Mekanik Leaf Spring Steel/Baja Per Daun JIS SUP 9A. *JURNAL CRANKSHAFT*. 28;Vol 7. No 3 Hal :63-9. September 2024 doi: <https://doi.org/10.24176/cra.v7i3.13340>