

Kekerasan Baja DC 11 Pada Perlakuan Media *Quenching* dan Suhu *Tempering*

Naufal Hanif Fadhlurrohman Aziz¹, Sulistyono^{2*}

^{1, 2}Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

^{1, 2}Jl. Soekarno Hatta No.9 Jatimulyo Lowokwaru, Kota Malang, 65141, Indonesia

E-mail: naufalhanif588@gmail.com¹, sulistyono@polinema.ac.id²

Info Naskah:

Naskah masuk: 20 September 2022

Direvisi: 28 Desember 2022

Diterima: 1 Januari 2023

Abstrak

Perlakuan panas adalah salah satu proses memperbaiki struktur logam dengan memanaskan spesimen pada temperatur di bawah titik lebur dan waktu tertentu yang kemudian didinginkan pada media pendingin untuk mengubah sifat fisis maupun mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari media *quenching* dan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan baja DC 11. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan *hardening* pada suhu 990 °C dan *holding time* 30 menit dengan media *quenching* oli SAE 10W-30 dan larutan NaCl 3,45%. Setelah itu dilakukan *tempering* pada suhu 250 °C, 350 °C, dan 450 °C dengan *holding time* 2 jam. Kemudian, spesimen diuji kekerasan metode *Rockwell*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan pengaruh dengan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* 250 °C sebesar 49,6 HRC. Kesimpulan yang didapat adalah semakin tinggi suhu *tempering*, maka nilai kekerasan semakin berkurang.

Keywords:

DC 11 steel;
heat treatment;
hardness test.

Abstract

Heat treatment is a process of renewing the metal structure by heating the specimen to a temperature below the melting point and a certain time, which is then cooled in a cooling medium to change the physical and mechanical properties. This study aims to determine the effect of quenching media and tempering temperature on the hardness value of DC 11 steel. This study used an experimental method with hardening at 990 °C and a holding time of 30 minutes with quenching media with SAE 10W-30 oil and 3.45 NaCl solution. %. After that, tempering was carried out at 250 °C, 350 °C, and 450 °C with a holding time of 2 hours. Then, the specimens were tested for hardness using the Rockwell method. Based on the results of the study, it was found that the effect with the highest hardness value was found in the quenching media with 3.45% NaCl solution and a tempering temperature of 250 °C of 49.6 HRC. The conclusion obtained is that the higher the tempering temperature, the lower the hardness value.

***Penulis korespondensi:**

Sulistyono

E-mail: sulistyono@polinema.ac.id

1. Pendahuluan

Dari sekian banyak jenis baja, baja DC 11 merupakan jenis baja perkakas yang mengandung kadar karbon antara 1,4% sampai dengan 1,6% dan *Chromium* 11-13,45%. Baja DC 11 dipilih karena memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, ketahanan aus yang tinggi dan tergolong baja yang tahan karat [1]. Baja jenis ini banyak diaplikasikan pada perkakas potong, *dies*, pisau, *punch*, dan lain sebagainya. Salah satu contoh pengaplikasian DC 11 pada pisau mesin pencacah sampah organik. Untuk dapat digunakan sebagai pisau pencacah sampah organik, nilai kekerasan minimal yang dibutuhkan adalah 45 HRC [2].

Untuk meningkatkan nilai kekerasan dari baja DC 11 agar dapat digunakan sebagai pisau pencacah sampah organik, maka diperlukan proses perlakuan panas. Perlakuan panas adalah salah satu proses memperbaiki struktur logam dengan memanaskan spesimen pada temperatur di bawah titik lebur dan waktu tertentu yang kemudian didinginkan pada media pendingin untuk mengubah sifat fisis maupun mekanis pada baja [3]. Proses perlakuan panas meliputi pemanasan, waktu penahanan, dan pendinginan. Tujuan dari pemanasan dengan waktu penahanan tertentu agar perubahan fasa pada baja dapat terjadi secara menyeluruh. Sedangkan pendinginan dibutuhkan untuk memperoleh struktur ataupun sifat fisis dan mekanis yang dikehendaki [4]. Banyak metode dalam proses perlakuan panas ini, antara lain *hardening*, *annealing*, *normalizing*, dan *tempering*. Pada proses *hardening* harus memperhatikan suhu dan media pendingin yang digunakan, agar mendapatkan peningkatan hasil kekerasan yang diinginkan. Setelah melalui proses *hardening*, material kurang cocok apabila langsung diaplikasikan karena biasanya akan bersifat getas sehingga diperlukan proses *tempering* untuk meningkatkan keuletan, meningkatkan ketahanan logam, dan menghilangkan tegangan sisa [5].

Beberapa penelitian *heat treatment* telah dilakukan untuk meningkatkan kekerasan baja. Penggunaan baja ST 41 sebagai bahan pisau pencacah sampah organik dilakukan dengan metode *carburising*, *hardening*, dan *tempering*. Media pendingin yang digunakan adalah air garam. Dengan metode *carburising-hardening* terjadi peningkatan kekerasan tertinggi sebesar 599,7 HVN. Setelah proses *tempering* mengalami penurunan kekerasan menjadi 262,4 HVN, kekerasan setelah *tempering* tersebut terlalu rendah jika diaplikasikan ke pisau mesin pencacah sampah organik [6]. Pada penelitian lain, baja perkakas jenis AISI D2 digunakan sebagai bahan pisau pencacah sampah plastik. Dengan media *quenching* udara dan *tempering* pada suhu 200 °C kekerasan yang diperoleh sebesar 710 HVN. Akan tetapi, dengan media *quenching* udara maka waktu pendinginannya tergolong lambat [7]. Penelitian selanjutnya pada baja perkakas SKD 11 dilakukan dengan metode *hardening - tempering - nitriding*. Dengan media *quenching* udara, suhu *tempering* 500 °C, dan *nitriding* 560 °C, hasil yang didapatkan adalah 543 HVN [8].

Penggunaan media *quenching* yang berbeda tentunya juga mempengaruhi nilai kekerasan pada baja. Perbedaan media *quenching* terhadap nilai kekerasannya dapat

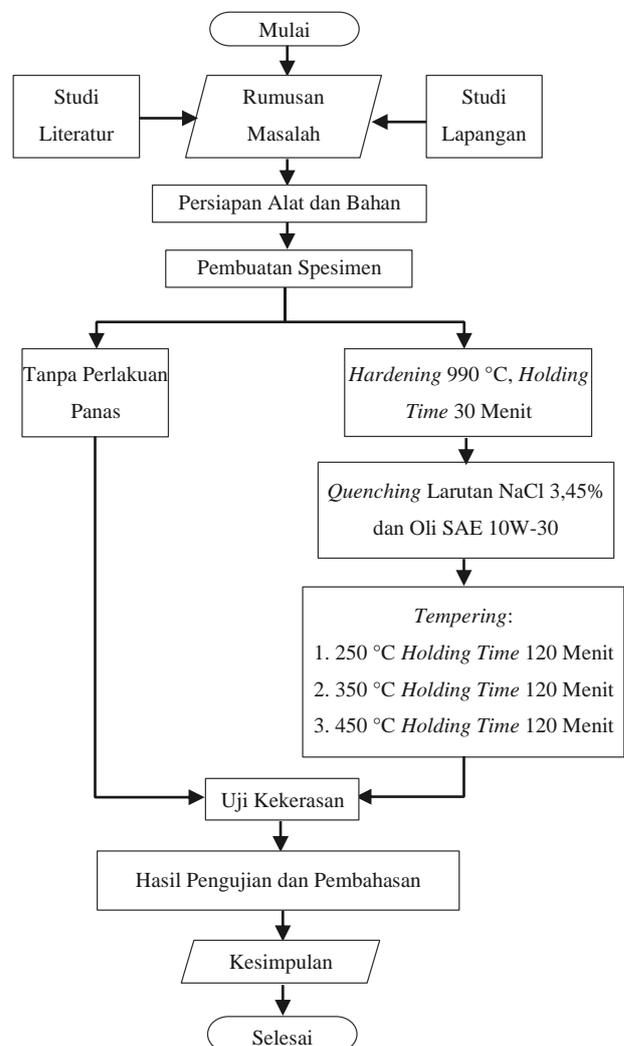
menghemat waktu produksi, jika waktu pendinginan berjalan dengan cepat [9].

Pada penelitian sebelumnya media *quenching* yang digunakan adalah udara, maka waktu pendinginannya tergolong lambat, sehingga pengaruhnya pada proses produksi akan memakan waktu lebih lama. Penggunaan media *quenching* dengan tingkat viskositas yang berbeda, diharapkan memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan. Selain itu, penelitian sebelumnya hanya menggunakan 1 suhu *tempering*. Oleh karena itu, suhu *tempering* juga perlu divariasikan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang optimal.

Pada penelitian yang diusulkan dalam artikel ini menggunakan variasi media *quenching* oli SAE 10W-30 dan larutan NaCl 3,45%, serta suhu *tempering* yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh media *quenching* dan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan baja DC 11.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Spesimen dibuat dengan ukuran 10×10×55 mm, kemudian dilakukan *hardening* pada suhu 990 °C dengan *holding time* 30 menit. Setelah itu dilakukan *quenching* dengan media yang berbeda, yaitu oli SAE 10W-30 dan larutan NaCl 3,45%. Selanjutnya spesimen dilakukan *tempering* dengan variasi suhu 250 °C, 350 °C, dan 450 °C dengan *holding time* 120 menit, lalu didinginkan pada temperatur ruangan. Setelah dilakukan *heat treatment* spesimen diuji kekerasan *Rockwell C* dengan 3 kali pengulangan.

2.1 Alat dan Bahan

Beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini adalah diantaranya tungku pemanas digunakan untuk melakukan proses *hardening* dan *tempering*, pada Gambar 2 dengan spesifikasi tungku pemanas Tipe: E80, Kapasitas pemanas 3,3 kW 15 A, Performa keseluruhan 3,3 kW 15 A, Tegangan listrik V 50 Hz, dan Suhu maksimal 1100 °C.



Gambar 2. Tungku pemanas



Gambar 3. Alat uji kekerasan *Rockwell*

Alat uji kekerasan *Rockwell C* seperti pada Gambar 3, digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen. Spesifikasi alat uji kekerasan *Rockwell* Tipe HR-400, Beban awal 10 kgf, total pembebanan (60 kgf, 100 kgf, 150 kgf), dimensi 214 × 512 × 780 mm, AC input (100-240 V, 50-60 Hz, 1,8 A), dan DC output 12 V – 4,17 A

Polisher berfungsi untuk menghaluskan permukaan benda, dimana amplas diletakkan pada alat ini. Spesifikasi *polisher* Tipe C2145A, Dimensi 643 × 675 × 290 mm, Tegangan (220/240) V / 1 phase, Frekuensi 50 Hz, Arus 2,5 A, dan Daya 250 W, seperti pada Gambar 4.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah baja DC 11 dimana baja ini adalah jenis baja yang mengandung *high-carbon*, *high-chromium tool steel alloyed* dengan *molybdenum* dan *vanadium*. Spesimen dibuat dengan dimensi 10×10×55 mm Untuk kandungan baja DC 11 dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 4. *Polisher*

Tabel 1. Komposisi kimia baja DC 11

<i>Element</i>	<i>Weight (%)</i>
<i>C</i>	1,48
<i>Si</i>	0,39
<i>Mn</i>	0,39
<i>P</i>	0,028
<i>S</i>	0,001
<i>Cu</i>	0,10
<i>Ni</i>	0,18
<i>Cr</i>	11,50
<i>Mo</i>	0,82
<i>V</i>	0,23



Gambar 5. Oli SAE 10W-30

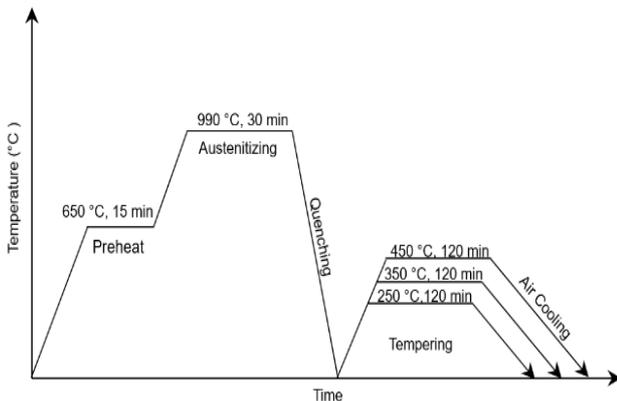
Oli SAE 10W-30 digunakan sebagai media *quenching* dengan volume 10 liter, seperti pada Gambar 5. Larutan NaCl 3,45% seperti Gambar 6 digunakan sebagai media *quenching* dengan volume 10 liter. Kertas amplas pada Gambar 7 digunakan untuk menghilangkan terak setelah dilakukan *quenching* dan memperhalus permukaan spesimen sebelum diuji kekerasan.



Gambar 6. Larutan NaCl 3,45%



Gambar 7. Kertas amplas



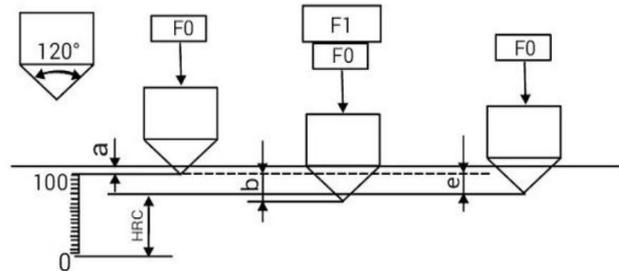
Gambar 8. Skema proses perlakuan panas

2.2 Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Jalannya proses perlakuan panas dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 8. Spesimen baja DC 11 dilakukan *preheat* dengan cara dimasukkan dalam tungku perlakuan panas kemudian dilakukan *holding time* 15 menit pada suhu 650 °C dengan tujuan untuk meminimalisir perbedaan suhu antara permukaan spesimen dengan inti spesimen dan mengurangi kemungkinan rusak akibat perbedaan suhu (*thermal stress*) tersebut [10]. Setelah spesimen dilakukan *preheat*, selanjutnya tungku pemanas dinaikkan pada temperatur *austenite* yaitu 990 °C dengan *holding time* selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan *quenching* pada media oli SAE 10W-30 maupun larutan

NaCl 3,45% agar sifat mekanis baja terutama nilai kekerasan baja meningkat [11].

Tempering dilakukan dengan memanaskan kembali spesimen pada tungku pemanas dengan variasi suhu 250 °C, 350 °C, dan 450 °C dengan *holding time* 2 jam yang kemudian didinginkan dengan udara pada suhu ruangan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan sisa, dan diikuti dengan penurunan kekerasan [12].

Gambar 9. Skema pengujian kekerasan *Rockwell C*

2.3 Uji Kekerasan

Metode pada pengujian kekerasan secara umum ada 3 macam, yaitu *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell* [13]. Pada penelitian ini pengujian kekerasan menggunakan metode *Rockwell C*. Beban yang digunakan adalah 150 kgf dengan indenter berbentuk kerucut intan 120° dengan pembebanan selama 10 detik [14].

Nilai kekerasan *Rockwell* ditentukan melalui kedalaman penetrasi yang disebabkan oleh beban mayor dengan persamaan 1 [15].

$$HR = E - e \quad (1)$$

Keterangan:

HR = Nilai kekerasan *Rockwell*.

E = Konstanta nilai 100 untuk indenter intan dan 130 untuk indenter bola.

e = Kedalaman penetrasi karena beban mayor diukur dengan satuan 0,002 mm ($e = h/0,002$).

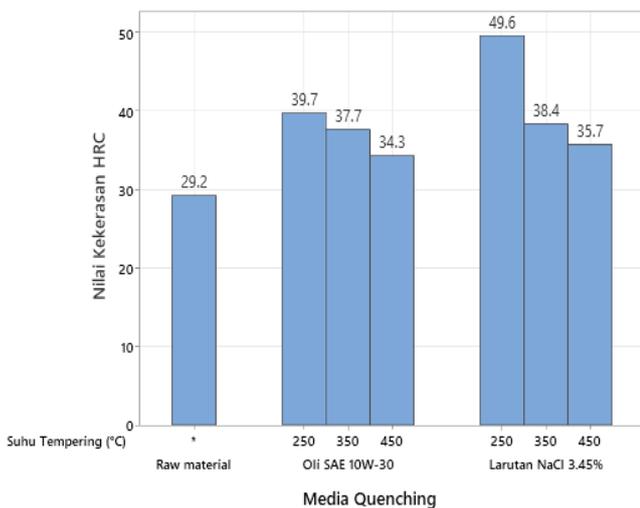
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian kekerasan dengan spesimen baja DC 11 hasil *quenching* oli SAE 10W-30 dan larutan NaCl 3,45% dengan variasi suhu *tempering* 250 °C, 350 °C, dan 450 °C dilakukan 3 kali pengujian pada titik yang berbeda mendapatkan hasil pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 merupakan hasil uji kekerasan *Rockwell C* dengan variasi media *quenching* oli SAE 10W-30 dan larutan NaCl 3,45%, serta variasi suhu *tempering* 250 °C, 350 °C, dan 450 °C. Data pada tabel tersebut akan dikonversi menjadi grafik yang digunakan untuk melakukan perbandingan rata-rata nilai kekerasan dari hasil media *quenching* dan suhu *tempering* untuk material baja DC 11. Selengkapnya untuk grafik dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 2. Data hasil uji kekerasan *Rockwell C*

No	Media <i>quenching</i>	Suhu <i>tempering</i> (°C)	Nilai Kekerasan (HRC)			Rata-rata (HRC)
			Pengujian ke			
			1	2	3	
1	<i>Raw material</i>	-	29,2	28,1	30,4	29,2
2	Oli SAE 10W-30	250	39,8	39,3	40	39,7
3		350	37,6	37,9	37,5	37,7
4		450	33,8	34,7	34,4	34,3
5	Larutan NaCl 3,45%	250	49,7	49,6	49,4	49,6
6		350	38	38,2	39,1	38,4
7		450	35,8	36	35,4	35,7



Gambar 10. Grafik perbandingan rata-rata HRC

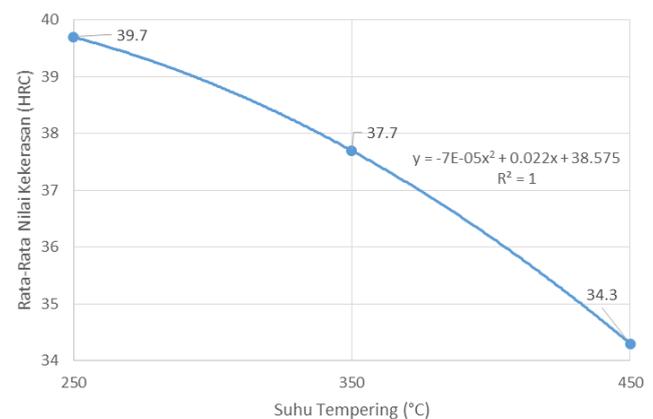
Dengan memperhatikan gambar 10 yang merupakan grafik nilai pengujian kekerasan, pada penelitian kali ini spesimen *raw material* baja DC 11 mendapatkan rata-rata kekerasan sebesar 29,2 HRC. Selanjutnya untuk material baja DC 11 dengan media *quenching* oli SAE 10W-30 pada suhu *tempering* 250 °C, 350 °C, dan 450 °C memperoleh nilai kekerasan berturut-turut 39,7 HRC, 37,7 HRC, dan 34,3 HRC. Kemudian material baja DC 11 dengan media *quenching* larutan NaCl 3,45% pada suhu *tempering* 250 °C, 350 °C, dan 450 °C mendapatkan nilai kekerasan berturut-turut sebesar 49,6 HRC, 38,4 HRC, dan 35,7 HRC. Pada data tersebut yang memperoleh nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material baja DC 11 dengan media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* 250 °C sebesar 49,6 HRC. Nilai kekerasan terendah dengan perlakuan panas terdapat pada material baja DC 11 dengan media *quenching* Oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* 450 °C sebesar 34,3 HRC. Kenaikan tertinggi sebesar 70% dari *raw material* terdapat pada baja DC 11 dengan media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* 250 °C, sedangkan pada media *quenching* oli SAE 10W-30 kekerasan tertinggi didapatkan dengan suhu *tempering* 250 °C yang mengalami kenaikan sebesar 36% dari *raw material*. Akan tetapi pada tiap kenaikan suhu *tempering*, maka tingkat kekerasan akan berkurang. Penurunan terbesar nilai kekerasan terdapat pada larutan NaCl 3,45% dan suhu

tempering 350 °C dengan persentase penurunan sebesar 23%.

Faktor yang mempengaruhi meningkatnya nilai kekerasan adalah proses *hardening*. Proses *hardening* akan meningkatkan kekerasan spesimen, karena spesimen yang dipanaskan dari suhu *austenite* dilakukan *quenching* (pendinginan paksa) sehingga dapat membentuk struktur mikro *martensite* dengan kerapatan yang tinggi. Faktor selanjutnya adalah pada laju pendinginan. Laju pendinginan dipengaruhi oleh viskositas dan massa jenis. Semakin tinggi viskositas, maka semakin lambat laju pendinginannya. Semakin tinggi massa jenis, maka semakin cepat laju pendinginannya.

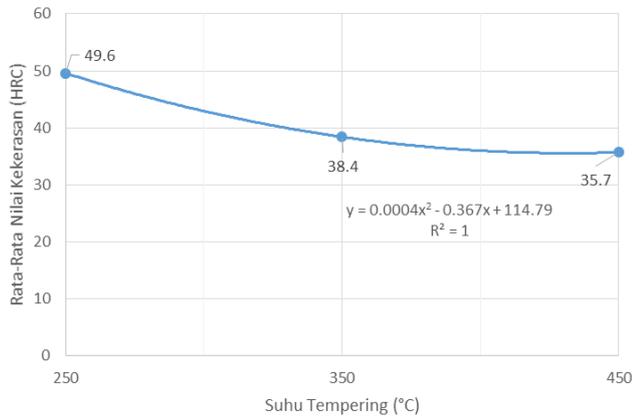
Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa dengan bertambahnya kadar NaCl pada media *quenching*, maka semakin cepat proses pendinginannya. Adanya kadar NaCl mengakibatkan koefisien perpindahan panas konveksi antara spesimen dan media *quenching* meningkat. Spesimen dengan media *quenching* larutan NaCl 3,45% memiliki laju pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan oli SAE 10W-30. Dengan laju pendinginan yang cepat, maka *martensit* yang terbentuk lebih banyak, sehingga nilai kekerasan yang diperoleh semakin tinggi [16], [17]

Proses *tempering* juga mempengaruhi nilai kekerasan, yaitu nilai kekerasan yang menurun pada tiap kenaikan suhu *tempering*. Dengan suhu *tempering* 450 °C memperoleh nilai kekerasan terendah dibanding dengan suhu *tempering* 350 °C, dan 250 °C. Turunnya nilai kekerasan tersebut disebabkan oleh perubahan struktur mikro *martensite* ke *tempered martensite* dari yang kerapatannya tinggi menjadi berkurang seiring dengan meningkatnya suhu *tempering* [18]

Gambar 11. Grafik hubungan suhu *tempering* dengan rata-rata nilai kekerasan pada media *quenching* oli SAE 10W-30

Pada gambar 11 menunjukkan hubungan antara media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan baja DC 11. Dapat dilihat pada grafik bahwa media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* mempengaruhi nilai HRC. Pengaruh tersebut dibuktikan dengan grafik yang menunjukkan penurunan pada tiap kenaikan suhu *tempering*, selain itu pengaruh antara media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* ini juga dibuktikan dengan nilai R^2 . Rentang nilai R^2 adalah 0 sampai 1 dengan ketentuan semakin

mendekati angka 1 berarti pengaruh dari variabel tersebut semakin kuat. Pada variabel media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* menghasilkan nilai $R^2 = 1$ dengan rumus $y = -7E-05x^2 + 0,022x + 38,575$. Dengan nilai $R^2 = 1$ tersebut berarti variabel suhu *tempering* pada media *quenching* oli SAE 10W-30 terhadap nilai kekerasan mempunyai pengaruh yang sangat kuat.



Gambar 12. Hubungan suhu *tempering* dengan rata-rata nilai kekerasan pada media *quenching* larutan NaCl 3,45%

Pada gambar 12 menunjukkan hubungan antara media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan. Nilai kekerasan pada media *quenching* larutan NaCl 3,45% tersebut dipengaruhi oleh suhu *tempering* dengan grafik yang menurun pada tiap kenaikan suhu *tempering*. Pengaruh tersebut juga diperkuat oleh nilai R^2 . Pada variabel media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan menghasilkan nilai $R^2 = 1$ dengan rumus $y = 0.0004x^2 - 0,367x + 114,79$. Dengan nilai $R^2 = 1$ menunjukkan bahwa hubungan antara variabel media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap nilai kekerasan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi media *quenching* dan variasi suhu *tempering* saling memberi kontribusi signifikan terhadap nilai kekerasan baja DC 11. Media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* dengan kontribusi yang sangat kuat terhadap nilai kekerasan yang dibuktikan dengan $R^2 = 1$. Kemudian pada media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* memberikan kontribusi yang sangat kuat dengan $R^2 = 1$. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi media *quenching* larutan NaCl 3,45% dan suhu *tempering* 250 °C dengan nilai rata-rata 49,6 HRC. Hal ini juga ditunjukkan oleh presentase peningkatan nilai kekerasan sebesar 70% dari kekerasan *raw material*. Sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada spesimen dengan media *quenching* oli SAE 10W-30 dan suhu *tempering* 450° dengan nilai 34,3 HRC. Hasil analisis yang diperoleh, semakin tinggi suhu *tempering* pada media *quenching* oli SAE 10W-30 maupun larutan NaCl 3,45% maka semakin rendah nilai kekerasan yang dihasilkan.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Laboratorium Perlakuan Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang dan Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi waktu serta dukungan materil maupun non-materil selama proses penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] I. Saputra, Ariyanto, N. Pratomo, Febri, and Mikie, "Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Pembentukan Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Skd 11 Untuk Tool Steel," *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–13, 2020.
- [2] F. J. Daywin and A. P. Irawan, *Guyub Sampah*. Jakarta Barat: Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, 2020.
- [3] A. Wisnujati, "Analisis Perlakuan Carburizing Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Pada Bahan Sprocket Imitasi Sepeda Motor," *J. Simetris*, vol. 8, no. 1, pp. 127–134, Apr. 2017, doi: 10.24176/simet.v8i1.844.
- [4] D. Permatasari and A. Zuhaimi Jannifar, "Analisis Sifat Mekanik ALumunium Alloy 6151 Setelah Mengalami Perlakuan Panas," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i1.1737.
- [5] A. N. S. HD and S. Widodo, "Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering," *J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 8–17, 2018, doi: 10.31002/jom.v2i2.1365.
- [6] M. A. Jaelani, M. F. Sidiq, and G. R. Wilis, "Analisa Penguatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Organik Dengan Proses Heat Treatment Bertingkat," *CRANKSHAFT*, vol. 4, no. 1, pp. 93–102, 2021, doi: 10.24176/crankshaft.v4i1.6024.
- [7] S. Ibrahim, M. Hersaputri, and V. I. Panjaitan, "Pembuatan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Plastik dengan Material AISI D2 yang Dikeraskan," *J. Vokasi Teknol. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 36–40, 2021, doi: 10.36870/jvti.v3i1.216.
- [8] M. Sugeng, A. Fato, and K. Ardi Alfatah, "Pengaruh Twice Temper dan Variasi Temperatur Nitridasi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Perkakas," *Jurnal Tera*, vol. 1, no. 2, pp. 268–280, 2021.
- [9] M. Jordi, H. Yudo, and S. Jokosisworo, "Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 272–281, 2017.
- [10] R. E. Purwanto, S. Hadi, and Subagiyo, *Perlakuan dan Uji Bahan*. Malang: Polinema Press, 2018.
- [11] D. Prayitno and P. P. Indayanto, "Pengaruh Hardening Terhadap Korosi Pada Baja S45C," *Metr. Ser. Teknol. dan Sains*, vol. 2, no. 2, pp. 70–75, 2021.
- [12] Yuriyanto, Pratikno, R. Soenoko, and W. Suprpto, "Optimasi Parameter Second Quenching dan Tempering terhadap Kekerasan dan Energi Impak Baja HRP Lokal," *Pros. SNTTM XVI*, pp. 111–116, 2017.
- [13] R. R. Aminuddin, A. W. B. Santosa, and H. Yudo, "Analisa Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Kekuatan Puntir Baja ST 37 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [14] M. Sulaeman, H. Budiman, and E. Koswara, "Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada Cangkul di Balai Besar Logam Mesin (BBLM) Bandung," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 10, no. 1, pp. 539–543, 2019.
- [15] ASTM, "E18-20 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials," West Conshohocken, 2020.

- [16] M. 'Asyara and Syahrul, "Efek Quenching dengan Media Pendingin yang Berbeda terhadap Nilai Kekerasan Pisau Berbahan SUP 9," *J. Multidisciplinary Res. Dev.*, vol. 1, no. 4, pp. 887–896, 2019.
- [17] G. Dwi W, E. Widiyono, N. Husodo, W. Winarto, and S. R. Nurmalasari, "Analisa Pengaruh Variasi Perbandingan Campuran Antara Air Dan Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Aisi 1050," *Pros. SENIATI*, vol. 5, no. 4, pp. 292–295, 2019, doi: 10.36040/seniati.v5i4.1191.
- [18] S. Ibrahim, "Kajian Perbandingan Komposisi Kimia, Sifat Mekanik, dan Ketahanan Aus terhadap Baja Perkakas AISI D2 pada Aplikasi DIES," *J. Vokasi Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 23–28, 2019, doi: 10.36870/jvti.v1i1.42.