

Analisis Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Kekerasan Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah Di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bengkalis

Zaid Ahmad^a, Rahmat Fajrul^a

^a Program Studi Teknik Mesin Produksi Dan Perawatan, Politeknik Negeri Bengkalis, Jln Bathin Alam, 28712, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 18 Agustus 2025

Diterima setelah direvisi 5 Juni 2026

Disetujui 7 Juni 2026

Kata kunci:

Heat Treatment

Kekerasan

Mesin Pencacah Sampah

Abstract- This study analyzes the effect of heat treatment on the hardness of waste shredding machine blades at the Bengkalis Regency Environmental Agency. Heat treatment was carried out at a temperature of 800°C with various cooling methods, namely no treatment, the addition of carbon (pack carburizing with coconut shell charcoal carbon), rapid cooling using used oil, and rapid cooling using salt water. Hardness testing was carried out using the Rockwell C scale method. The test results showed that treatment with salt water cooling provided the highest hardness increase of 5.36% compared to no treatment, while the addition of carbon decreased the hardness by 14.5%.

Intisari- Penelitian ini menganalisis pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap kekerasan mata pisau mesin pencacah sampah di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bengkalis. Perlakuan panas dilakukan pada suhu 800°C dengan variasi pendinginan yaitu tanpa perlakuan, penambahan karbon (*pack carburizing* dengan karbon arang tempurung kelapa), pendinginan cepat menggunakan oli bekas, dan pendinginan cepat menggunakan air garam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* skala C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan dengan pendinginan air garam memberikan peningkatan kekerasan tertinggi sebesar 5,36% dibandingkan tanpa perlakuan, sedangkan penambahan karbon menurunkan kekerasan sebesar 14,5%.

1. Pendahuluan

Pisau pencacah merupakan komponen utama pada mesin pencacah sampah yang sangat menentukan efisiensi kerja, kualitas hasil cacahan, serta umur pakai mesin. Pada prinsipnya, mesin pencacah bekerja dengan cara memotong, mencabik, atau menghancurkan material menjadi ukuran yang lebih kecil agar proses pengelolaan lanjutan menjadi lebih mudah [1], [2]. Dalam aplikasinya, pisau pencacah digunakan untuk mencacah berbagai jenis material, seperti sampah organik, sampah anorganik, plastik, rumput, maupun material limbah lainnya [1]. Oleh karena itu, performa mesin pencacah sangat bergantung pada kemampuan mata pisau dalam mempertahankan ketajaman, kekerasan, dan ketahanan terhadap gesekan selama proses pencacahan berlangsung.

Pada mesin pencacah sampah, mata pisau sering mengalami penurunan performa akibat gesekan dan benturan dengan material keras seperti batu, logam, kayu, maupun material abrasif lainnya. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pisau cepat tumpul, aus, bahkan mengalami kerusakan, sehingga berdampak pada menurunnya kapasitas pencacahan, meningkatnya konsumsi energi, serta bertambahnya biaya pemeliharaan [2], [3]. Permasalahan ini menjadi penting terutama pada penggunaan mesin pencacah di lingkungan operasional pengelolaan sampah daerah, termasuk pada Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bengkalis, yang membutuhkan mesin dengan kinerja stabil dan biaya perawatan yang efisien [4].

Kekerasan material merupakan salah satu sifat mekanik penting yang berpengaruh terhadap ketahanan pisau selama proses pencacahan. Material dengan nilai kekerasan yang lebih baik cenderung memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap deformasi plastis, gesekan, dan keausan permukaan [5]-[7]. Salah satu metode yang umum digunakan untuk meningkatkan kekerasan

baja adalah perlakuan panas atau *heat treatment*. Perlakuan panas dilakukan melalui proses pemanasan pada temperatur tertentu, penahanan waktu, dan pendinginan terkontrol untuk menghasilkan perubahan struktur mikro yang dapat meningkatkan sifat mekanik material [8]-[11]. Pada baja karbon, perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas dapat memengaruhi kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus material [12]-[14].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perlakuan panas pada baja karbon mampu meningkatkan nilai kekerasan material, terutama melalui proses pendinginan cepat atau *quenching* [12], [15], [16]. Media pendingin yang digunakan dalam proses *quenching* memiliki pengaruh signifikan terhadap laju pendinginan dan hasil akhir sifat mekanik material [17]-[19]. Media pendingin seperti air, air garam, dan oli memiliki karakteristik pendinginan yang berbeda, sehingga menghasilkan tingkat kekerasan yang berbeda pula. Air garam umumnya menghasilkan laju pendinginan lebih cepat dibandingkan oli, sehingga berpotensi meningkatkan kekerasan baja secara lebih signifikan [17], [18]. Namun demikian, pendinginan yang terlalu cepat juga dapat meningkatkan risiko tegangan sisa dan keretakan pada material apabila tidak dikendalikan dengan baik [9], [11], [19].

Selain proses *quenching*, metode *pack carburizing* juga dapat digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja melalui penambahan unsur karbon pada lapisan permukaan material. Proses ini dilakukan dengan memanaskan baja di dalam media padat yang mengandung karbon, sehingga terjadi difusi karbon ke permukaan material [20], [21]. Penggunaan sumber karbon alternatif, seperti arang tempurung kelapa, berpotensi menjadi media karburasi yang ekonomis dan mudah diperoleh. Namun, efektivitas proses *pack carburizing* sangat dipengaruhi oleh temperatur, waktu penahanan, komposisi media karbon, serta kondisi pendinginan setelah proses karburasi [20]-[22]. Oleh karena itu, diperlukan

* Corresponding Author:

E-mail: zaidahmad131002@gmail.com (Zaid Ahmad)

pengujian eksperimental untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan variasi media pendingin terhadap kekerasan mata pisau pencacah.

Pengujian kekerasan merupakan metode penting untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material setelah perlakuan panas. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pengujian Rockwell, karena relatif cepat, sederhana, dan sesuai untuk mengukur kekerasan baja hasil perlakuan panas [23], [24]. Pada material baja yang digunakan sebagai mata pisau, pengujian Rockwell skala C dapat digunakan untuk mengetahui perubahan nilai kekerasan akibat variasi perlakuan panas secara kuantitatif [4], [24], [25].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh perlakuan panas terhadap nilai kekerasan mata pisau mesin pencacah sampah. Variasi perlakuan yang digunakan meliputi tanpa perlakuan, pack carburizing, quenching menggunakan oli bekas, dan quenching menggunakan air garam. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell skala C untuk mengetahui perlakuan yang memberikan peningkatan kekerasan paling optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pemilihan metode perlakuan panas yang tepat untuk meningkatkan umur pakai mata pisau, mengurangi frekuensi penggantian komponen, serta mendukung efisiensi operasional mesin pencacah sampah di Kabupaten Bengkalis.

Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh perlakuan panas terhadap nilai kekerasan mata pisau mesin pencacah sampah. Aspek lain, seperti ketahanan aus, ketangguhan impact, struktur mikro secara mendalam, dan performa aktual pencacahan belum menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan awal bagi pengembangan teknologi permesinan, khususnya pada peningkatan kualitas mata pisau pencacah melalui metode perlakuan panas yang sederhana, aplikatif, dan sesuai dengan kebutuhan pengelolaan sampah di tingkat daerah.

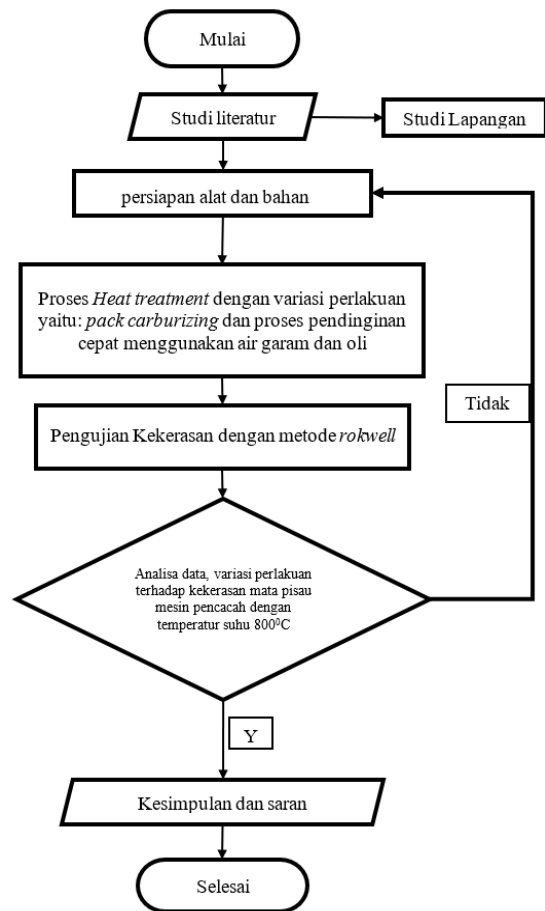
2. Metodologi

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan metode kuantitatif untuk menguji variabel kekerasan mata pisau akibat pengaruh *heat treatment* dengan variasi proses pendinginan serta penambahan *carbon*.



Gambar 1. Mesin Pencacah Sampah

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Rockwell* skala C dengan *indenter* kerucut intan dan beban *minor* 10 kgf serta beban *major* 150 kgf. Tujuan pengujian adalah mengukur perubahan nilai kekerasan sebelum dan sesudah perlakuan.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

2.1 Tahapan penelitian

Tahapan penelitian secara umum terdiri atas 3 (tiga) tahapan yang harus dilakukan pada proses penelitian. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rancangan penelitian.
Rencana penelitian mengacu pada sistematika yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian.
2. Lokasi penelitian.
Penelitian ini akan dilaksanakan di Politeknik Negeri Bengkalis.
3. Mengurus Perizinan.
Perlengkapan yang harus dilengkapi dalam penelitian ini adalah, segala fasilitas penunjang untuk kelancaran proses penelitian agar mendapatkan hasil yang baik dan akurat, harus direncanakan bengkel atau laboratorium penelitian dengan mengajukan perizinan kepada pihak yang berwenang.

2.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis, yang memiliki fasilitas laboratorium material dan permesinan yang memadai untuk mendukung proses eksperimen. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan peralatan uji yang sesuai dengan kebutuhan penelitian, serta dukungan tenaga ahli dan teknisi laboratorium yang berkompeten di bidangnya. Lingkungan penelitian yang kondusif dan terfasilitasi dengan baik diharapkan dapat memberikan hasil penelitian yang akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian

Pengujian kekerasan rockwell dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan rockwell di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis. Pengujian kekerasan dengan metode rockwell diatur berdasarkan standar ASTM E18. Pengujian kekerasan ini diuji dengan menggunakan metode rockwell skala C (skala hitam) dengan indentor diamond core (kerucut intan). Adapun gambar spesimen pengujian kekerasan rockwell dan gambar spesimen pembebanan rockwell skala C dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Mesin Rocwell

Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh nilai kecenderungan pusat dan tingkat penyebaran data hasil pengujian kekerasan pada setiap variasi perlakuan. Setiap kelompok pengujian terdiri atas sepuluh titik pengukuran. Parameter statistik yang dihitung meliputi rata-rata, deviasi rata-rata, standar deviasi, standar deviasi rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, kesalahan relatif, dan ketelitian pengukuran.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan

No	Kekerasan, xi (HRC)	Rata-rata, \bar{X} (HRC)	$ xi - \bar{X} $	$(xi - \bar{X})^2$
1	80,5	83,85	3,35	11,2225
2	79,5		4,35	18,9225
3	83,5		0,35	0,1225
4	86		2,15	4,6225
5	85		1,15	1,3225
6	86,5		2,65	7,0225
7	86		2,15	4,6225
8	85		1,15	1,3225
9	82,5		1,35	1,8225
10	84		0,15	0,0225
Jumlah	838,5		18,8	51,025

Dalam pengolahan data ini, deviasi dituliskan dalam bentuk nilai mutlak $|xi - \bar{X}|$ agar seluruh penyimpangan terhadap nilai rata-rata bernilai positif. Adapun standar deviasi dihitung menggunakan pendekatan sampel, yaitu pembagi $n - 1$, karena data diperoleh dari sejumlah titik pengukuran yang mewakili kondisi kekerasan spesimen.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Pack Carburizing

No	Kekerasan, xi (HRC)	Rata-rata, \bar{X} (HRC)	$ xi - \bar{X} $	$(xi - \bar{X})^2$
1	61	69,35	8,35	69,7225
2	59		10,35	107,1225
3	58,5		10,85	117,7225
4	72		2,65	7,0225
5	74,5		5,15	26,5225
6	79		9,65	93,1225
7	77		7,65	58,5225
8	77		7,65	58,5225
9	60,5		8,85	78,3225
10	75		5,65	31,9225
Jumlah	693,5		76,8	648,525

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Quenching Oli Bekas

No	Kekerasan, xi (HRC)	Rata-rata, \bar{X} (HRC)	$ xi - \bar{X} $	$(xi - \bar{X})^2$
1	85	85,55	0,55	0,3025
2	84		1,55	2,4025
3	90		4,45	19,8025
4	88		2,45	6,0025
5	86		0,45	0,2025
6	86		0,45	0,2025
7	84		1,55	2,4025
8	83		2,55	6,5025
9	82,5		3,05	9,3025
10	87		1,45	2,1025
Jumlah	855,5		18,5	49,225

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Quenching Air Garam

No	Kekerasan, xi (HRC)	Rata-rata, \bar{X} (HRC)	$ xi - \bar{X} $	$(xi - \bar{X})^2$
1	95,5	88,35	7,15	51,1225
2	86,5		1,85	3,4225
3	97		8,65	74,8225
4	75		13,35	178,2225
5	74,5		13,85	191,8225
6	94,5		6,15	37,8225
7	81		7,35	54,0225
8	94		5,65	31,9225
9	94,5		6,15	37,8225
10	91		2,65	7,0225
Jumlah	883,5		72,8	668,025

3.2 Perhitungan Statistik

Perhitungan statistik dilakukan dengan menggunakan persamaan dasar sebagai berikut: rata-rata diperoleh dari jumlah seluruh nilai kekerasan dibagi jumlah data, deviasi rata-rata diperoleh dari jumlah nilai mutlak selisih tiap data terhadap rata-rata dibagi jumlah data, standar deviasi dihitung berdasarkan akar dari jumlah kuadrat selisih tiap data terhadap rata-rata dengan pembagi $n - 1$, sedangkan standar deviasi rata-rata diperoleh dari standar deviasi dibagi akar jumlah data. Kesalahan relatif dihitung dari perbandingan standar deviasi terhadap rata-rata, sedangkan ketelitian diperoleh dari 100% dikurangi kesalahan relatif.

Sebagai contoh, pada spesimen tanpa perlakuan diperoleh jumlah data sebesar 838,5 HRC dengan jumlah pengukuran $n = 10$, sehingga nilai rata-rata kekerasan adalah 83,85 HRC. Jumlah deviasi mutlak sebesar 18,80 menghasilkan deviasi rata-rata 1,88. Jumlah kuadrat deviasi sebesar 51,025 menghasilkan standar deviasi 2,38 dan standar deviasi rata-rata 0,75. Dengan demikian, kesalahan relatif sebesar 2,84% dan ketelitian pengukuran sebesar 97,16%.

Tabel 5. Rekapitulasi Parameter Statistik Tanpa Perlakuan

No	Parameter statistik	Nilai
1	Rata-rata (\bar{X})	83,85
2	Deviasi rata-rata	1,88
3	Standar deviasi (SD)	2,38
4	Standar deviasi rata-rata (Sx/SEM)	0,75
5	Nilai maksimum	86,5
6	Nilai minimum	79,5
7	Kesalahan relatif	2,84%
8	Ketelitian	97,16%

Tabel 6. Rekapitulasi Parameter Statistik Pack Carburizing

No	Parameter statistik	Nilai
1	Rata-rata (\bar{X})	69,35
2	Deviasi rata-rata	7,68
3	Standar deviasi (SD)	8,49
4	Standar deviasi rata-rata (Sx/SEM)	2,68
5	Nilai maksimum	79
6	Nilai minimum	58,5
7	Kesalahan relatif	12,24%
8	Ketelitian	87,76%

Tabel 7. Rekapitulasi Parameter Statistik *Quenching* Oli Bekas

No	Parameter statistik	Nilai
1	Rata-rata (\bar{X})	85,55
2	Deviasi rata-rata	1,85
3	Standar deviasi (SD)	2,34
4	Standar deviasi rata-rata (Sx/SEM)	0,74
5	Nilai maksimum	90
6	Nilai minimum	82,5
7	Kesalahan relatif	2,73%
8	Ketelitian	97,27%

Tabel 8. Rekapitulasi Parameter Statistik *Quenching* Air Garam

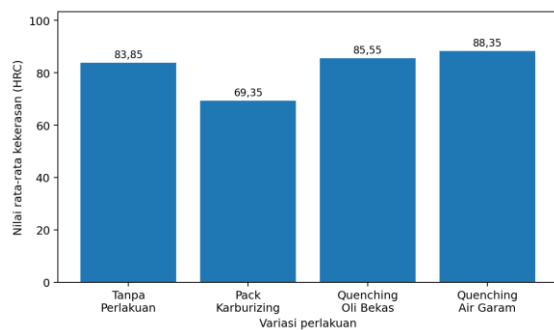
No	Parameter statistik	Nilai
1	Rata-rata (\bar{X})	88,35
2	Deviasi rata-rata	7,28
3	Standar deviasi (SD)	8,62
4	Standar deviasi rata-rata (Sx/SEM)	2,72
5	Nilai maksimum	97
6	Nilai minimum	74,5
7	Kesalahan relatif	9,75%
8	Ketelitian	90,25%

3.3 Hasil Pengolahan Data

Rekapitulasi hasil pengolahan data menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata kekerasan pada setiap variasi perlakuan. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa proses pemanasan dan media pendingin berpengaruh terhadap nilai kekerasan mata pisau mesin pencacah.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Rata-Rata Kekerasan Berdasarkan Variasi Perlakuan

No	Material	Temperatur	Perlakuan	Rata-rata kekerasan (HRC)
1	Mata pisau mesin pencacah	Tanpa perlakuan	Tanpa perlakuan	83,85
2	Mata pisau mesin pencacah	800 °C	Pack carburizing dengan karbon arang tempurung kelapa	69,35
3	Mata pisau mesin pencacah	800 °C	Heat treatment dan quenching oli bekas	85,55
4	Mata pisau mesin pencacah	800 °C	Heat treatment dan quenching air garam	88,35



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata Kekerasan Setiap Perlakuan

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 4, spesimen tanpa perlakuan memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 83,85 HRC. Setelah dilakukan proses pack carburizing menggunakan karbon dari arang tempurung kelapa pada temperatur 800 °C, dengan waktu pemanasan awal 130 menit dan

waktu penahanan 45 menit, kemudian didinginkan di dalam tungku hingga mencapai suhu ruang, nilai rata-rata kekerasan menurun menjadi 69,35 HRC. Penurunan ini menunjukkan bahwa perlakuan pack carburizing dengan pendinginan lambat di dalam tungku pada kondisi pengujian ini belum mampu meningkatkan kekerasan permukaan spesimen.

Pada perlakuan heat treatment temperatur 800 °C yang dilanjutkan dengan quenching menggunakan oli bekas, nilai rata-rata kekerasan meningkat dari 83,85 HRC menjadi 85,55 HRC. Peningkatan yang lebih tinggi diperoleh pada quenching menggunakan air garam, yaitu dari 83,85 HRC menjadi 88,35 HRC. Hasil ini menunjukkan bahwa media pendingin dengan laju pendinginan lebih cepat cenderung menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi. Dengan demikian, variasi perlakuan panas dan media quenching memberikan pengaruh terhadap perubahan kekerasan mata pisau mesin pencacah.

Secara keseluruhan, perlakuan quenching air garam menghasilkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi, sedangkan perlakuan pack carburizing dengan pendinginan di dalam tungku menghasilkan nilai rata-rata kekerasan terendah. Namun, nilai standar deviasi pada perlakuan air garam dan pack carburizing relatif lebih besar dibandingkan spesimen tanpa perlakuan dan quenching oli bekas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebaran data kekerasan pada kedua perlakuan tersebut lebih tinggi, sehingga keseragaman hasil perlakuan perlu diperhatikan pada tahap proses pemanasan, penahanan temperatur, dan pendinginan spesimen.

4. Simpulan

1. Pendinginan cepat menggunakan air garam menghasilkan peningkatan kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 88,35 HRC , atau mengalami kenaikan sebesar 5,36% dibandingkan kondisi tanpa perlakuan (83,85 HRC).
2. Pendinginan cepat menggunakan oli bekas *bekas* juga meningkatkan kekerasan secara signifikan menjadi 85,55 HRC , naik sekitar 2,02% dibandingkan tanpa perlakuan.
3. Penambahan *carbon* pada permukaan baja *carbon* melalui metode *pack carburizing* dengan *carbon* arang tempurung kelapa justru menurunkan kekerasan menjadi 69,35 HRC atau menurun sebesar 14,5% dibanding tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa proses *carburizing* yang dilakukan belum optimal atau berpotensi menyebabkan struktur mikro yang kurang menguntungkan bagi kekerasan.
4. Perbedaan nilai kekerasan antar titik pengujian menunjukkan heterogenitas sifat material dalam sampel, sehingga perlakuan panas yang konsisten penting dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik yang homogen dan optimal.
5. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemilihan metode pendinginan setelah perlakuan panas sangat menentukan peningkatan sifat kekerasan dan kualitas mata pisau, yang akan berimplikasi pada umur pakai dan performa mesin pencacah sampah.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Rahmat Fajrul, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penelitian. Terima kasih juga kepada pimpinan dan dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bengkalis atas fasilitas dan kesempatan yang diberikan. Penghargaan khusus diberikan kepada orang tua, keluarga, serta rekan-rekan mahasiswa Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan yang selalu memberikan motivasi, bantuan, dan dukungan selama penelitian berlangsung.

Referensi

[1] D. A. Kama, "Studi Heat Treatment pada Baja untuk Aplikasi Industri Mesin," Jurnal Material dan Teknik, vol. 8, no. 1, pp. 45-52, 2020.

-
- [2] T. Suharto, "Pengujian Kekerasan dan Ketahanan Aus Mata Pisau Mesin Pencacah Sampah," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 3, pp. 120-127, 2020.
- [3] A. Meli, R. Lubis, and B. Wicaksono, "Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja Karbon pada Mata Pisau Mesin Pencacah," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 10, no. 3, pp. 150-160, 2022.
- [4] F. Rahmat, "Pengujian Kekerasan Material dengan Metode Rockwell," *Jurnal Rekayasa Material*, vol. 10, no. 1, pp. 75-81, 2023.
- [5] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering: An Introduction*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2000.
- [6] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
- [7] T. Surdia and S. Saito, *Metalurgi Fisik 1*. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 2000.
- [8] H. Alwarits, *Proses Perlakuan Panas Logam*. Jakarta, Indonesia: Media Engineering, 2014.
- [9] ASM International, *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2013.
- [10] D. H. Herring, *Practical Heat Treating*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2009.
- [11] G. E. Totten, *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [12] A. Meli et al., "Pengaruh Pendinginan Cepat terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon," *Jurnal Sains Material dan Teknik*, vol. 5, no. 2, pp. 65-73, 2021.
- [13] D. Suheni, "Analisis Perubahan Struktur Mikro pada Baja Karbon setelah Heat Treatment dengan Berbagai Media Pendingin," *Jurnal Material dan Metalurgi*, vol. 8, no. 2, pp. 98-107, 2021.
- [14] Tarkono et al., "Analisis Mikrostruktur Baja Karbon setelah Heat Treatment," *Jurnal Metalurgi*, vol. 4, no. 2, pp. 100-108, 2012.
- [15] Gilar et al., "Perbandingan Kekerasan Baja sebelum dan sesudah Proses Heat Treatment," *Jurnal Sains Material*, vol. 5, no. 3, pp. 150-156, 2020.
- [16] R. Lubis et al., "Pengaruh Variasi Suhu Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon," *Jurnal Metalurgi dan Material*, vol. 9, no. 4, pp. 210-218, 2023.
- [17] I. Maulani, "Pengaruh Quenching dengan Media Air dan Minyak terhadap Material Baja," *Jurnal Material dan Metalurgi*, vol. 7, no. 2, pp. 80-85, 2021.
- [18] R. Ramadhan, "Pengaruh Quenching Media pada Kekerasan Baja Karbon," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 90-95, 2018.
- [19] G. E. Totten, C. E. Bates, and N. A. Clinton, *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 1993.
- [20] M. Azhari and F. Maulana, "Optimasi Proses Pack Carburizing untuk Meningkatkan Kekerasan Permukaan Baja," *Jurnal Metalurgi Indonesia*, vol. 6, no. 3, pp. 112-119, 2018.
- [21] M. A. Jaelani, "Optimasi Proses Heat Treatment untuk Meningkatkan Kekerasan dan Ketahanan Aus Baja Karbon," *Jurnal Rekayasa Material*, vol. 6, no. 1, pp. 45-52, 2022.
- [22] E. Sampurna, "Pengaruh Suhu dan Lama Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja Karbon," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 55-60, 2016.
- [23] H. Kuswanto, *Teknik Pengujian Kekerasan Material*. Surabaya, Indonesia: Unesa Press, 2010.
- [24] B. Pratowo, "Pengujian Kekerasan pada Baja Karbon dengan Variasi Perlakuan Panas," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 44-50, 2018.
- [25] Y. Tegal, "Analisa Statistik Uji Kekerasan Baja Karbon Menggunakan Metode Rockwell," *Jurnal Statistika Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 12-19, 2021.