

Distribusi *Ferrite* dan Sifat Ketangguhan pada AISI 1020 Akibat Pengaruh Media *Quenching*

A.D. Halimi ^{a,1*}, M. W. Arif Sektiono ^{b,2}, D. Setiawan ^{b,3}, M. Ahsin Fahmi ^{b,4}

^a Prodi DIV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, PSDKU Politeknik Negeri Malang di Kota Kediri, Kediri, 64119, Indonesia

^b Prodi DIII Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, PSDKU Politeknik Negeri Malang di Kota Kediri, Kediri, 64119, Indonesia

¹ ahmadhalimi@polinema.ac.id ² wisnuarif@polinema.ac.id ³ deny.setiawan@polinema.ac.id ⁴ ahsinfahmi@polinema.ac.id

* Corresponding Author

ABSTRACT

This research aims to determine the toughness properties and microstructure of AISI 1020 steel material which was previously treated by using a variety of cooling media including air cooling, oil cooling and grease cooling. After being cooled by using several cooling media, it was continued with impact and microstructure testing. The results showed that AISI 1020 steel specimens using air cooling media, had the average impact strength value of 19.1 joules/mm, while those using oil cooling media had an average impact strength of 35.2 joules/mm, and those using grease cooling media had an impact strength of 45 joules/mm. From this data, the one with the highest impact strength value was the grease cooling media at 45 joules/mm and the one with the lowest impact strength was the air-cooling media, namely 19.1 joules/mm. The results of metallographic observations were obtained when the grease media was used, the distribution of ferrite was reduced and did not have time to form, whereas in steel that was cooled with oil, the distribution of ferrite was almost the same as the untreated material and for air media, the shape of the ferrite structure spread and formed evenly.



KEYWORDS

Keywords: *ferrite phase*, *quenching*, *toughness*

ABSTRAK

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat ketangguhan dan struktur mikro material baja AISI 1020 yang sebelumnya dengan *Heat Treatment* Dimana di pergunakan variasi perkenaan media pendingin, diantaranya media pendingin udara, pendingin oli, dan pendingin *grease*. Dari hasil variasi media pendinginan tersebut dilanjutkan dengan pengujian impact dan struktur mikro. Dalam penelitian ini pada spesimen baja AISI 1020 yang menggunakan media pendingin udara diperoleh nilai rata-rata kekuatan impact sebesar 19,1 joule/mm sedangkan yang menggunakan media pendingin oli memiliki kekuatan impact rata-rata sebesar 35,2 joule/mm, serta yang menggunakan media pendingin *grease* memiliki kekuatan impact sebesar 45 joule/mm. Dari data tersebut yang memiliki nilai kekuatan impact paling tinggi adalah media pendingin *grease* sebesar 45 joule/mm dan memiliki kekuatan impact paling rendah adalah media pendingin udara yaitu sebesar 19,1 joule/mm. Untuk hasil pengamatan metalografi di dapatkan pada penggunaan media *grease* persebaran *ferrite* mengecil tidak sempat terbentuk, sedangkan pada baja yang di dinginkan dengan oli persebaran *ferrite* hampir sama dengan material tanpa perlakuan dan untuk media udara bentuk dari struktur *ferrite* menyebar dan terbentuk merata



KEYWORDS

Kata kunci: fase *ferrite*, *quenching*, sifat *toughness*



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Mild steel AISI 1020 yang tergolong sebagai baja *low carbon* merupakan salah satu jenis material logam paduan yang sering digunakan untuk elemen otomotif dan *aeospace* karena memiliki kemampuan fisis yang menunjang, ketahanan korosi, ketahanan aus dan kemampuan dalam meredam getaran yang baik [1]. Paduan *mild steel* AISI 1020 mengandung komposisi 0,02% - 0,2% C (carbon) dan besi (Fe), yang mana terdapat unsur lain berupa Si (silicon), Mn (mangan), P (phosfor), S (sulfur) dan unsur paduan lainnya [2][3]. Dari klasifikasi unsur yang digunakan, *mild steel* AISI 1020 dikategorikan sebagai baja *low carbon*, yang menghasilkan sifat kekerasan pada produk. Agar diperoleh

sifat kekerasan baja *low carbon* yang diinginkan, *mild steel* AISI 1020 dapat dipanaskan dengan cara *heat treatment quenching*, yang mana proses pemanasan yang dilanjutkan dengan proses pendinginan untuk meningkatkan sifat permukaan baja secara efektif.[4]

Tujuan dari perlakuan panas *quenching* adalah untuk mengubah struktur mikro awal baja dengan mendinginkan bagian yang dipanaskan melalui suhu austenitisasi dengan menggunakan media pendingin. Laju pendinginan yang dicapai selama proses *quenching* menekan transformasi fase yang dikontrol difusi (*ferrite*, *pearlite*, dan *bainite*) dan mendukung transformasi non-difusi seperti *martensite* [5][6] Fase – fase yang terbentuk dalam baja *quenching* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik hasil dari proses *heat treatment*. Proses *quenching* mempertimbangkan variabel proses yang melibatkan laju pendinginan, orientasi komponen selama perendaman, pergerakan media pendinginan, suhu wadah pendinginan dan geometri komponen, yang kesemuanya mempengaruhi proses pendinginan dan keakuratan pembentukan fase bagian logam baja yang mengeras [7].

Sifat mikrostruktur permukaan pada logam AISI 1020 dipengaruhi oleh proses *heat treatment quenching* dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada temperatur pemanasan 950 °C selama 30 menit [8]. Sifat mikrostruktur permukaan dibentuk oleh media pendingin, dalam hal ini menggunakan media air (*water quenching*) dan pasir (*sand cooling*), berdampak pada sifat mekanik logam AISI 1020. Pada media pendingin air, kekuatan tarik maksimum yang dihasilkan adalah 0,602 kN /mm², yang telah berkurang sebesar 20%. Sedangkan media pasir menghasilkan kekuatan tarik sampel berkurang 37% dibandingkan sampel asli (tanpa perlakuan atau *non treatment*). Dalam laporan lain, *heat treatment* dan proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan media pendingin udara (*normalised*), pasir (*sand cooled*), dan air (*water quenched*) [9]. Hasil sifat mekanik yang diperoleh, nilai *yield strengths* yang terukur adalah 362 MPa untuk logam AISI 1020 tanpa perlakuan, 300 MPa dengan pendingin udara, dan 410 MPa untuk pendingin menggunakan pasir. Perubahan struktur *ferrite-pearlite* selama proses *heat treatment quenching* digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dengan struktur mikro yang terdiri dari martensit, yang mana terdapat matriks lamelal *ferrite* [10].

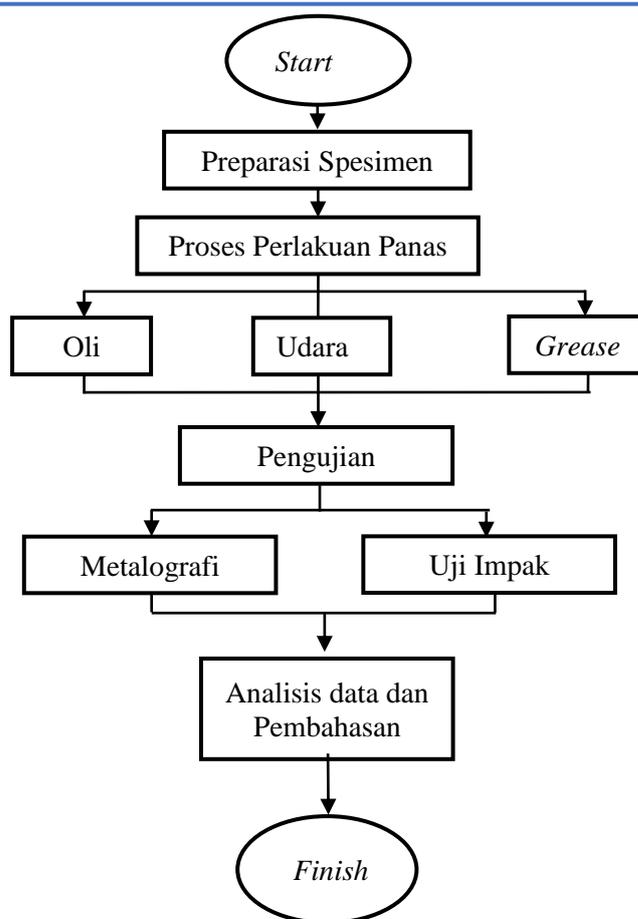
Untuk kajian eksperimen ini, media pendinginan pada *treatment quenching* baja *mild steel* AISI 1020 digunakan dengan variasi media pendingin, diantaranya media pendingin udara, pendingin oli, dan pendingin *grease*. Untuk membuat material bebas dari stres, baja *mild steel* AISI 1020 dilakukan perlakuan panas. Sampel yang diberi perlakuan panas dibandingkan dengan sampel asli yang tidak diberi perlakuan panas. Dari hal tersebut, sifat mekanik dan fitur mikrostruktur fase *ferrite* dianalisis dari hubungan pengaruh media pendingin yang digunakan.

2. Studi Literatur

Untuk meningkatkan sifat logam *mild steel*, berbagai metode *heat treatment quenching* menjadi pendekatan yang penting. Keunggulan metode *heat treatment quenching* adalah dapat mengubah sifat logam *mild steel* sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Penelitian *heat treatment quenching* pada logam jenis *mild steel* terus dilakukan untuk meningkatkan dan mengembangkan sifat material melalui proses perlakuan panas [9][11]. Sifat-sifat mekanik seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), ketangguhan (*toughness*), modulus elastisitas (*Young's modulus*), kekerasan, kemampuan machinability, persentase perpanjangan (*elongation*), keuletan (*ductility*), ketahanan aus (*wear resistance*), dan sifat lainnya dapat diubah melalui proses *heat treatment quenching*. Proses *heat treatment quenching* dapat diklasifikasikan sebagai perlakuan panas pada baja, Perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan, Perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan dan Perlakuan panas martensit. Proses *heat treatment quenching* memberikan dampak pada jenis fasa yang terbentuk, persentase berat fasa, dan ukuran butir rata-rata fasa material.

3. Metodologi

Dalam melakukan penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2023 di Laboratorium Teknologi bahan, Politeknik Negeri Malang Kampus Kediri. Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada diagram penelitian pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1. Proses Preparasi Spesimen

Pada tahap ini dilakukan pembuatan spesimen dari baja AISI 1020 yang telah dilakukan proses perlakuan panas, dengan ukuran yang disesuaikan dengan ASTM uji Impact. Sebelum dilakukan penyesuaian ukuran dari spesimen, terlebih dahulu dilakukan perataan permukaan menggunakan mesin frais. Setelah permukaan rata dilakukan penyesuaian ukuran spesimen dengan ukuran tebal 10mm, panjang 55mm dan lebar 10mm.

3.2. Proses Perlakuan panas

Proses perlakuan panas dengan pendinginan cepat dengan melakukan pendinginan cepat pada baja AISI 1020 yang telah di panaskan pada temperatur 800 °C, dengan *holding time* selama 50 menit. Tahap berikutnya dilakukan pendinginan menggunakan media pendingin berupa udara, oli, dan *grease*.

3.3. Proses Pendinginan

Proses Pendinginan dengan media oli, Grease dan udara dilakukan dengan suhu ruang 38 – 40°C. Pendinginan dilakukan dengan selama 2 jam di masing – masing media pendingin. Setelah itu spesimen dibersihkan dari bekas cairan pendingin dan siap dilakukan proses perataan permukaan

Lama pencelupan spesimen kedalam media pendingin selama 2 jam, setelah itu specimen dibersihkan dari bekas cairan pendingin dan siap dilakukan proses perataan permukaan.

3.4. Proses pengujian

Tahap terakhir setelah dilakukan pendinginan baik dengan suhu ruangan pendingin udara, oli, dan *grease* spesimen selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain uji visual metalografi dimana memerlukan beberapa tahap di antaranya tahap proses pengaplasan menggunakan kertas aplan dari grid 100 – 2000, di lanjutkan proses poles menggunakan kain bludru yang sebelumnya di olesi dengan Autosol, selanjutnya spesimen di etsa menggunakan cairan nital dan tahap terakhir proses pengamatan dengan mikroskop metalurgi. Untuk mengetahui sifat ketangguhan

dilaksanakan Uji impak (*impact*) pada spesimen sebelum dan setelah proses laku panas baja AISI 1020 terhadap beban kejut (*Impact*) sesuai dengan *standart* ASTM E23

4. Hasil dan pembahasan

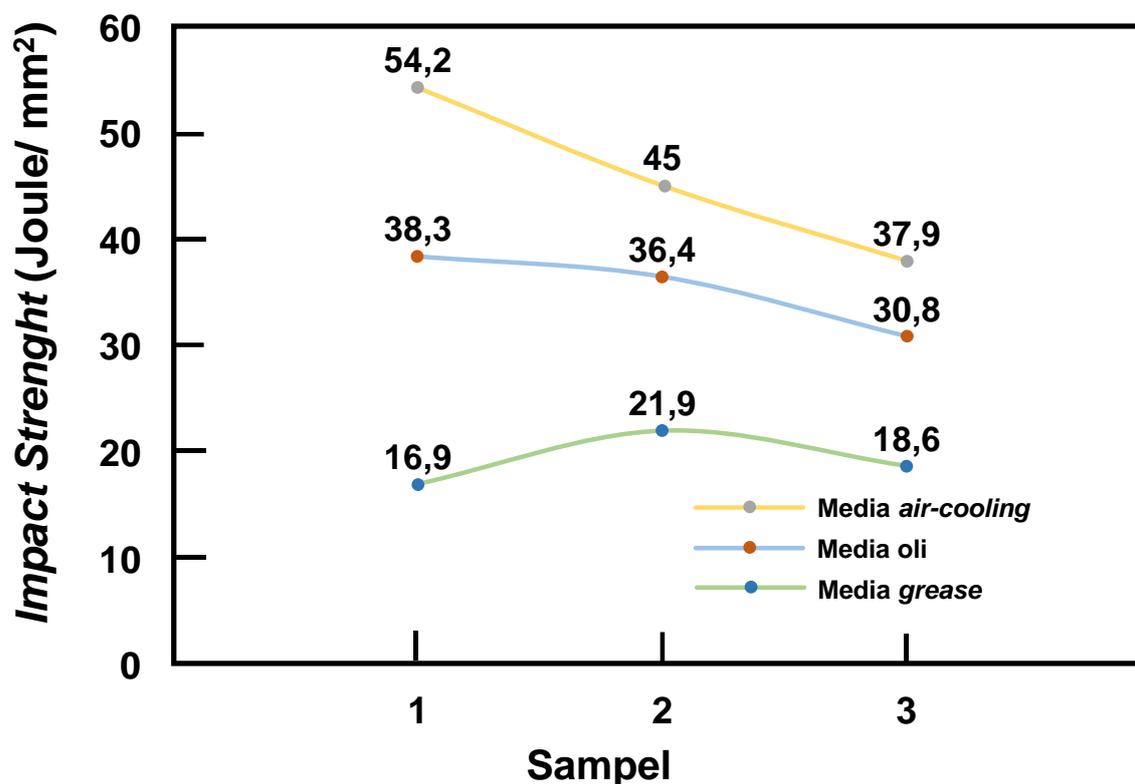
4.1. Hasil Uji Ketangguhan *Impact*

Pada pengujian Impak, penelitian ini menggunakan standar ASTM E23 sebagai acuan untuk melihat dampak yang ditimbulkan oleh adanya benturan. *Impact test* bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk/ beban kejut yang diukur dengan besarnya energi untuk mematahkan spesimen.



Gambar 2. Spesiment Uji *Impact*

Dari data **Tabel 1** diperoleh rata-rata untuk kekuatan *impact* pada AISI 1020 yang didinginkan menggunakan media pendingin udara memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 19,1 Joule/mm². Sampel dengan menggunakan media pendingin oli memiliki kekuatan *impact* rata-rata sebesar 35,2 Joule/mm², serta yang menggunakan media pendingin *grease* memiliki kekuatan *impact* 45,4 Joule/mm². Dari data tersebut, sampel yang memiliki nilai kekuatan *Impact* paling tinggi adalah media pendingin *grease*. Dari hasil tersebut untuk nilai Uji *Impact* tertinggi yaitu pada spesimen (media pendingin *grease*) sebesar 45,4 Joule/mm²



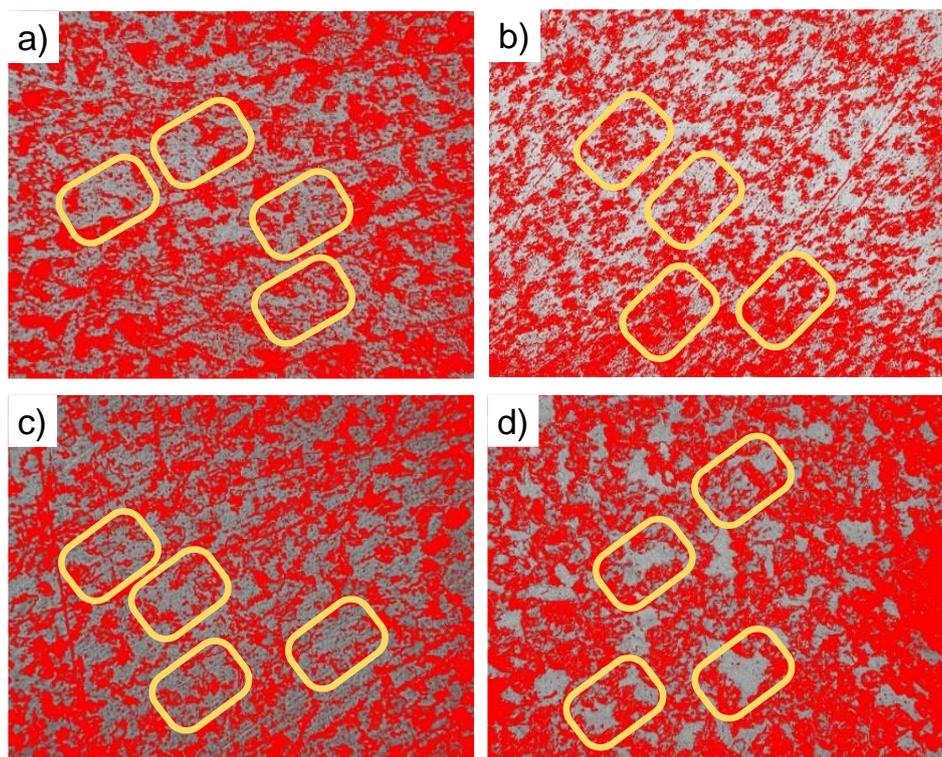
Gambar 3 Grafik nilai ketangguhan

Tabel 1. Tabel hasil pengujian *impact*

No	Media Pendinginan	Rata-rata Nilai		
		<i>Impact Strength</i> Joule/ mm ²	Sudut <i>Impact</i> °	<i>Impact Force</i> Joule
1	AISI 1020 (tanpa perlakuan pemanasan dan pendinginan)	13,05	130	11,74
2	<i>Air-cooling</i>	19,1	125,33	15,3
3	Oli	35,2	117	28,14
4	<i>Grease</i>	45,4	100	67,62

4.2. Hasil Uji Metalografi

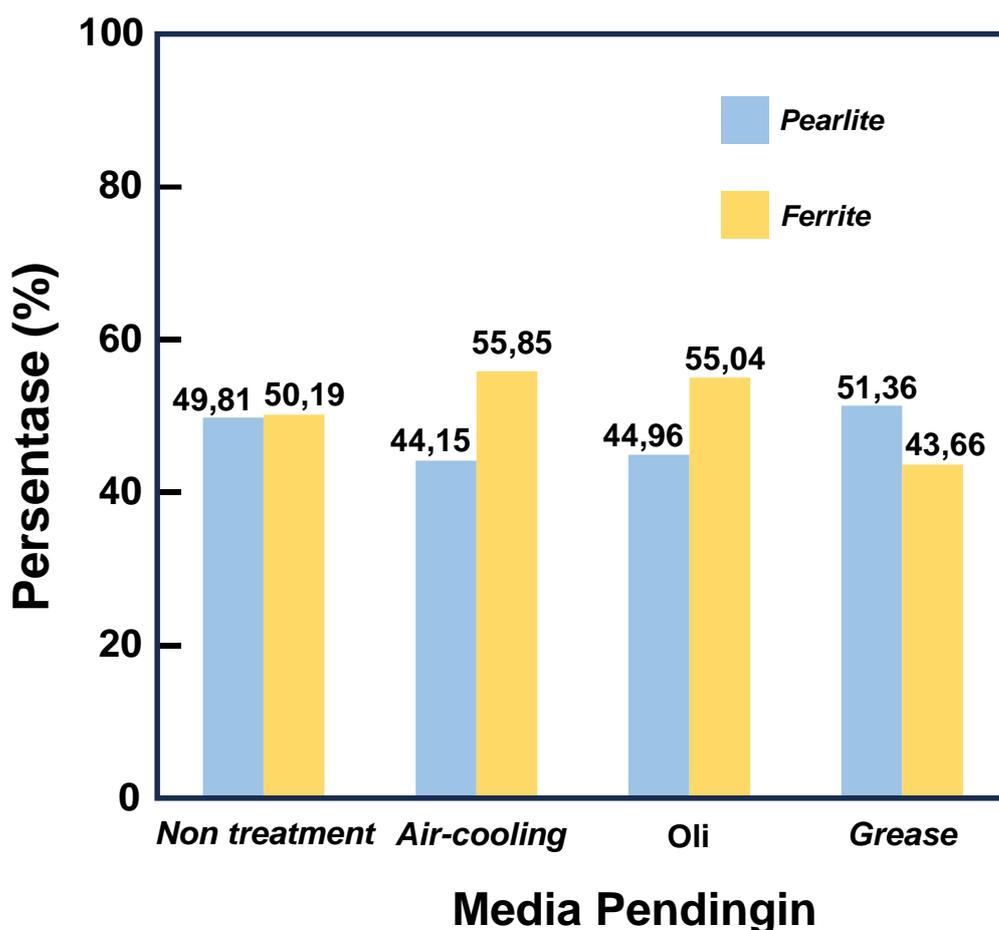
Pengujian metalografi menggunakan alat yaitu mikroskop metalurgi untuk melihat karakter *surface properties*. Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang). Pengujian metalografi menggunakan instrumen mikroskop optik Olympus GX71 milik laboratorium metalografi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persebaran butir *ferrite* yang terdapat pada spesimen dengan variasi media pendingin yang berbeda.



Gambar 4. Karakter mikrostruktur permukaan dari persebaran mikro *pearlite* (merah) dan *ferrite* (putih keabuan) dari material baja AISI 1020 dengan a) pembentukan fase *pearlite* dan tanpa perlakuan pemanasan dan pendinginan, b) pembentukan fase *pearlite* dan fase *ferrite* yang tebal dari proses pendinginan *normalized* akibat *air-cooling*, c) pembentukan fase *ferrite* yang lebih luas dari proses pendinginan dengan oli, dan d) pembentukan fase *pearlite* dengan ukuran yang luas pada media *grease*

Pada pengujian mikrstruktur dengan pembesaran 500 – 1000 kali didapatkan beberapa perubahan yang terjadi akibat perlakuan panas. Struktur awal material tanpa perlakuan didominasi oleh fase *ferrite*, dengan area lamelar *pearlite* tipis berwarna merah. Ketika baja AISI 1020 dipanaskan di area austenitik dan didinginkan di bawah suhu kritis yang lebih rendah, struktur mikro yang dihasilkan berupa fase *pearlite*. Fase *pearlite* adalah struktur pipih (tipis) yang tersusun dari fase *ferrite* dan fase *cementite*. Struktur mikro yang ditunjukkan pada **Gambar 4** memiliki kombinasi warna merah dan abu-abu. Warna putih keabu-abuan merupakan fase awal dari ferrite, sedangkan warna merah sebagai area fase *pearlite*. Berdasarkan laju pendinginan, distribusi fase *cementite* mengalami perubahan dan peningkatan area menjadi fase *pearlite*, jika dibandingkan dengan area fase *ferrite*. Struktur fase *pearlite* pada sampel baja AISI 1020 dapat dengan mudah diamati, meskipun struktur pipih fase *pearlite* tidak dapat dijelaskan dalam penelitian ini. Perbedaan signifikan antara ukuran struktur mikro diamati dengan baik pada semua sampel. Pada sampel yang dinormalisasi, dispersi Fe_3C dalam fase *pearlite* lebih kuat di beberapa area. Hal ini ditandai dengan area yang didalam kotak pada **Gambar 4b** dan **Gambar 4c**, yang mana ukuran area fase *pearlite* dan fase *cementite* lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Pada **Gambar 4d**, pembentukan fase *pearlite* lebih mendominasi dibandingkan dengan fase *ferrite*, dengan ukuran yang luas pada media *grease*.

Secara sifat mekani, pembentukan fasa *ferrite* akan meningkatkan sifat ulet dan tangguh dari material AISI 1020. Persentase fase *ferrite* dan fase *pearlite* dapat dilihat pada **Gambar 5**. Perubahan fase *ferrite* menjadi fase *pearlite* akibat perlakuan panas pada masing – masing sampel akan berbeda karena penggunaan media pendingin yang berbeda. Dibandingkan dengan materila AISI 1020 tanpa perlakuan, struktur mikro pada perlakuan dengan pendinginan udara terlihat struktur *ferrite* yang terbentuk semakin melebar dengan fraksi sebesar 55,85% dan *pearlite* 44,15%. Pada material baja AISI 1020 tanpa perlakuan panas memiliki fraksi *ferrite* sebesar 50,19% dan *pearlite* sebesar 49,81%, yang artinya memiliki persentase fase yang hampir sama. Sedangkan pada pendinginan oli, persentase fraksi *pearlite* menghasilkan 44,96% yang nampak semakin halus dan rapat, dengan fraksi *ferrite* senilai 55,04%. Distribusi fasa *ferrite* bervariasi menurut laju pendinginan pada setiap media pendingin. Pembentukan struktur laminar (pipih dan tipis) terhambat akibat pengaruh laju pendinginan yang cepat, sehingga menghasilkan struktur tipis. Karena fenomena pendinginan oli sering kali menghasilkan laju pendinginan yang tinggi atau lebih cepat dibandingkan dengan *air-cooling*, struktur akhir yang terbentuk mengandung *pearlite* yang sangat halus atau tipis dan juga *austenite* yang tidak stabil [12][13]. Laju pendinginan digunakan sebagai parameter untuk mengontrol kemunculan *ferrite* atau *pearlite* dalam struktur mikro. Laju pendinginan yang lambat mendukung pembentukan *ferrite* dan laju pendinginan yang cepat mendukung pembentukan *pearlite* [14]. Proses pendinginan dengan medium oli akan lebih lambat dibandingkan dengan medium *grease*. Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan oli menghantar panas lebih lambat, dengan nilai konduktifitas termal (*thermal conductivity*) untuk oli adalah 0.145 W/m. K, sedangkan untuk *grease* adalah 3 ± 0.3 W/m.K. [15][16][17].



Gambar 5. Grafik presentase distribusi struktur mikro baja AISI 1020

Jika dihubungkan dengan sifat mekanik, nilai ketangguhan meningkat secara signifikan pada media pendingin *grease* sebesar 45,4 Joule/ mm² dan pada oli sebesar 35,2 Joule/ mm² dibandingkan dengan

spesimen tanpa perlakuan. Sedangkan nilai ketangguhan dari media pendingin udara meningkat tetapi tidak begitu signifikan sebesar 18,68 Joule/ mm². Fase *ferrite* dari sampel tanpa perlakuan (*non treatment*) memiliki persentase 50,19% lebih kecil dibandingkan dengan fase *ferrite* 55,85% dari sampel *air-cooling*, tapi nilai ketangguhan pada spesimen *non treatment* lebih rendah daripada nilai ketangguhan *air-cooling*. Hal ini memberikan indikasi bahwa struktur mikro fase *ferrite* – *pearlite* menghasilkan baja fase ganda (*dual phase*) dengan kekuatan (*strength*) yang rendah tetapi sifat *elongation* yang tinggi [18].

5. Kesimpulan

Spesimen *mild steel* AISI 1020 yang telah dilakukan perlakuan panas menggunakan media pendingin udara diperoleh nilai rata-rata kekuatan *impact* sebesar 19,1 Joule/mm² sedangkan yang menggunakan media pendingin oli memiliki kekuatan *impact* rata-rata sebesar 35,2 Joule/mm², serta media pendingin *grease* memiliki kekuatan *impact* sebesar 45,4 Joule/mm². Dari data tersebut yang memiliki nilai ketangguhan paling tinggi adalah media pendingin *grease* sebesar 54,2 Joule/mm² dan memiliki ketangguhan paling rendah adalah media pendingin udara yaitu sebesar 16,9. Joule/mm². Struktur mikro *mild steel* AISI 1020 dilihat dari tampak hasil dimana struktur fasa *ferrite* yaitu area berwarna putih keabu-abuan mengalami perubahan, dimana fraksi *ferrite* sebesar 50,19% dan *pearlite* sebesar 49,81%. Struktur mikro pada perlakuan dengan pendinginan udara terlihat struktur *ferrite* yang terbentuk semakin melebar dengan fraksi sebesar 55,85%. Sedangkan pendinginan oli menghasilkan fraksi *ferrite* sebesar 55,04%. Spesimen mengalami peningkatan nilai ketangguhan. Pada spesimen dengan pendingin *grease* memiliki fraksi *ferrite* sebesar 43,66% dan diikuti dengan melebarnya fraksi *pearlite* sebesar 56,34%. Pada spesimen tersebut mengalami peningkatan karakteristik *toughness* baja *mild steel* AISI 1020.

References

- [1] H. Bhadeshia and R. Honeycombe, *Steels: microstructure and properties*. Butterworth-Heinemann, 2017.
- [2] P. Marshall, "Austenitic stainless steels: microstructure and mechanical properties," 1984.
- [3] S. Roy, B. B. Nayak, and S. Sahu, "Investigation on the Microstructure–Corrosion Correlation of Commercially Available AISI 1020 and 304 Steel," in *Recent Advances in Materials Processing and Characterization: Select Proceedings of ICMPC 2021*, Springer, 2022, pp. 175–182.
- [4] B. Selçuk, R. Ipek, and M. . Karamış, "A study on friction and wear behaviour of carburized, carbonitrided and borided AISI 1020 and 5115 steels," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 141, no. 2, pp. 189–196, Oct. 2003, doi: 10.1016/S0924-0136(02)01038-5.
- [5] S. Denis, S. Sjöström, and A. Simon, "Coupled temperature, stress, phase transformation calculation Model Numerical Illustration of the Internal Stresses Evolution during Cooling of a Eutectoid Carbon Steel Cylinder," *Metall. Trans. A*, vol. 18, no. 7, pp. 1203–1212, Jul. 1987, doi: 10.1007/BF02647190.
- [6] Z. Li, A. M. Freborg, B. D. Hansen, and T. S. Srivatsan, "Modeling the Effect of Carburization and Quenching on the Development of Residual Stresses and Bending Fatigue Resistance of Steel Gears," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 22, no. 3, pp. 664–672, Mar. 2013, doi: 10.1007/s11665-012-0306-0.
- [7] A. D. da Silva, T. A. Pedrosa, J. L. Gonzalez-Mendez, X. Jiang, P. R. Cetlin, and T. Altan, "Distortion in quenching an AISI 4140 C-ring – Predictions and experiments," *Mater. Des.*, vol. 42, pp. 55–61, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2012.05.031.
- [8] S. Dewangan, "Analysis of property variation in AISI 1020 steel after heat treatment," 2021, p. 040025, doi: 10.1063/5.0050008.
- [9] S. Dewangan, N. Mainwal, M. Khandelwal, and P. S. Jadhav, "Performance analysis of heat

- treated AISI 1020 steel samples on the basis of various destructive mechanical testing and microstructural behaviour,” *Aust. J. Mech. Eng.*, vol. 20, no. 1, pp. 74–87, Jan. 2022, doi: 10.1080/14484846.2019.1664212.
- [10] H. Ashrafi, M. Shamanian, R. Emadi, and N. Saeidi, “A novel and simple technique for development of dual phase steels with excellent ductility,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 680, pp. 197–202, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.msea.2016.10.098.
- [11] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons, 2020.
- [12] S. M. M. Rahman, K. E. Karim, and M. H. S. Simanto, “Effect of Heat Treatment on Low Carbon Steel: An Experimental Investigation,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 860, pp. 7–12, Dec. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.860.7.
- [13] L. O. Mudasiru, I. A. Babatunde, W. A. Raheem, and A. K. Lasisi, “Effect of immersion speed on the mechanical properties and micro-structure of oil quenched AISI 1020 steel,” *J. Eng. Technol. Res.*, vol. 6, no. 5, pp. 68–74, Sep. 2014, doi: 10.5897/JETR2014.0383.
- [14] R. A. Gonzaga, “Influence of ferrite and pearlite content on mechanical properties of ductile cast irons,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 567, pp. 1–8, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.msea.2012.12.089.
- [15] S. M. S. Murshed and C. A. N. de Castro, “Nanofluids as Advanced Coolants,” in *Green Solvents I*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2012, pp. 397–415.
- [16] F.-B. Liu, “A hybrid method for the inverse heat transfer of estimating fluid thermal conductivity and heat capacity,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 50, no. 5, pp. 718–724, May 2011, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2010.11.020.
- [17] H. Kang *et al.*, “Thermal Conductivity Characterization of Thermal Grease Containing Copper Nanopowder,” *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 8, p. 1893, Apr. 2020, doi: 10.3390/ma13081893.
- [18] A. Kalhor, A. Karimi Taheri, H. Mirzadeh, and V. Uthaisangasuk, “Processing, microstructure adjustments, and mechanical properties of dual phase steels: A review,” *Mater. Sci. Technol.*, vol. 37, no. 6, pp. 561–591, Apr. 2021, doi: 10.1080/02670836.2021.1944524.