E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 3 Tahun 2026

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH *HOLDING TIME* DAN KONSENTRASI *CANE MOLASSES* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA AISI 1018

Muhammad Naufal Amirul Fikri[1], Hanna Zakiyya[2]
S1 Teknik Mesin /Teknik, Universitas Negeri Surabaya,Surabaya, Indonesia

Email: fikrifalis@gmail.com

ABSTRACT:
AISI 1018 low-carbon steel is widely used in machine components, such as gears and shafts, due to its good ductility and excellent machinability. However, its relatively low surface hardness limits its application under high-load and high-friction operating conditions. This study aimed to analyze the effect of holding time during the pack carburizing process and the concentration of cane molasses solution as a quenching medium on the surface hardness of AISI 1018 low-carbon steel. An experimental method was employed by conducting pack carburizing at 900 °C using a carburizing medium consisting of 85% coconut shell charcoal and 15% blood clam shell powder. Subsequently, the specimens were quenched in cane molasses solutions with concentrations of 0%, 15%, and 25%, followed by tempering at 250 °C for 30 minutes. The holding time was varied at 1, 3, and 5 hours. The evaluation included Rockwell C (HRC) hardness testing in accordance with ASTM E18 and microstructural observation. The results showed that increasing the holding time improved the surface hardness from 47.74 HRC to 58.88 HRC. Microstructural observations revealed an increase in the martensite fraction accompanied by a decrease in the ferrite-pearlite fraction as the holding time increased. These findings indicate that cane molasses has the potential to be used as an economical and environmentally friendly alternative quenching medium, provided that the concentration and holding time are properly selected to achieve optimum surface hardness.

Keywords: *Pack carburizing, AISI 1018, Quenching, Cane molasses, microstructure*

Abstrak

Baja karbon rendah AISI 1018 banyak digunakan pada komponen mesin, seperti roda gigi dan poros, karena memiliki keuletan yang baik serta kemudahan dalam proses pemesinan. Namun, kekerasan permukaannya yang relatif rendah membatasi penggunaannya pada kondisi beban dan gesekan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi holding time pada proses pack carburizing dan konsentrasi larutan cane molasses sebagai media quenching terhadap kekerasan permukaan baja karbon rendah AISI 1018. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan proses pack carburizing pada temperatur 900 °C menggunakan campuran 85% arang tempurung kelapa dan 15% serbuk cangkang kerang dara sebagai media karburasi. Selanjutnya, spesimen di-quenching menggunakan larutan cane molasses dengan konsentrasi 0%, 15%, dan 25%, kemudian ditempering pada temperatur 250 °C selama 30 menit. Variasi holding time yang digunakan adalah 1, 3, dan 5 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan Rockwell C (HRC) sesuai ASTM E18 dan pengamatan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan holding time meningkatkan kekerasan permukaan dari 47,74 HRC menjadi 58,88 HRC. Pengamatan

Article History
Received: Agustus 2026
Reviewed: Agustus 2026
Published: Agustus 2026

Plagiarism Checker
No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

struktur mikro menunjukkan peningkatan fraksi martensit serta penurunan fraksi ferit-perlit seiring bertambahnya holding time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cane molasses berpotensi digunakan sebagai media quenching alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan, dengan pemilihan konsentrasi dan holding time yang tepat untuk menghasilkan kekerasan permukaan yang optimum.

Kata Kunci: Pack carburizing, AISI 1018, *Quenching*, *Cane Molasses*, struktur mikro.

PENDAHULUAN

Baja tergolong material yang paling luas pemakaiannya di berbagai bidang industri, sebab menawarkan kombinasi kekuatan yang memadai, kemudahan dalam proses fabrikasi, dan biaya produksi yang terjangkau. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu baja karbon rendah, sedang, dan tinggi. Semakin tinggi kadar karbon dalam baja, semakin meningkat pula tingkat kekerasan dan kekuatannya, namun hal ini justru diikuti oleh penurunan keuletan material [1]. AISI 1018 merupakan salah satu contoh baja karbon rendah yang cukup populer digunakan, karena sifatnya yang ulet, mudah dibentuk melalui pemesinan, dan harganya relatif terjangkau. Kelemahannya, rendahnya kadar karbon pada baja ini membuat tingkat kekerasan dan ketahanan terhadap keausan permukaannya kurang optimal, sehingga untuk aplikasi pada komponen dengan tingkat gesekan tinggi misalnya poros dan roda gigi diperlukan tambahan proses pengerasan permukaan [2].

Pack carburizing menjadi salah satu teknik yang umum digunakan untuk memperbaiki kekerasan permukaan baja berkadar karbon rendah. Teknik ini bekerja dengan cara mendifusikan atom karbon ke lapisan permukaan baja pada suhu austenisasi melalui proses perlakuan panas. Melalui proses ini, kadar karbon di bagian permukaan meningkat, sehingga saat dilakukan *quenching* akan terbentuk lapisan luar yang keras, sementara bagian inti baja tetap mempertahankan sifat uletnya (Adedipe dkk., 2023; Davis, 2005). Sejumlah faktor turut menentukan keberhasilan proses *pack carburizing*, antara lain suhu pemanasan, durasi penahanan (*holding time*), jenis media karburasi, serta media yang dipakai untuk *quenching*.

Di antara parameter-parameter tersebut, *holding time* memegang peranan krusial karena berkaitan langsung dengan lamanya proses difusi karbon ke permukaan baja. Perpanjangan waktu penahanan akan meningkatkan jumlah atom karbon yang terdifusi, sehingga kadar karbon permukaan bertambah, *hardenability* meningkat, dan peluang pembentukan struktur *martensit* saat *quenching* pun semakin besar (Elmi Hosseini dan Li, 2016). Karena itu, penentuan durasi *holding time* yang sesuai sangat menentukan hasil akhir kekerasan permukaan yang ingin dicapai.

Di samping *holding time*, pemilihan media *quenching* juga tidak kalah penting dalam membentuk struktur mikro dan kekerasan akhir baja pasca-*carburizing*. Perbedaan karakteristik laju pendinginan pada tiap media akan menghasilkan lintasan transformasi fasa yang berbeda pula, yang pada akhirnya berdampak pada struktur mikro dan kekerasan permukaan yang terbentuk. Air, misalnya, memiliki laju pendinginan cepat sehingga efektif menghasilkan kekerasan tinggi, tetapi berisiko menimbulkan gradien suhu yang tajam serta tegangan termal pada material. Berbeda halnya dengan *cane molasses* yang memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan air, sehingga laju pendinginannya cenderung lebih stabil dan terkendali (Dodo dkk., 2016).

Sejumlah studi telah mengindikasikan potensi *cane molasses* sebagai alternatif media *quenching* yang lebih ramah lingkungan. Dodo dkk. (2016) menemukan bahwa laju pendinginan media berbasis *molasses* berada pada rentang antara air dan oli, sehingga proses pendinginannya berlangsung lebih terkendali. Sementara itu, Darmo dkk., (2021) mengungkapkan bahwa pemakaian *cane molasses* sebagai media *quenching* pasca *pack*

carburizing terbukti mampu meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon rendah, sekaligus berpotensi menjadi opsi media pendingin yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Namun demikian, kajian yang secara khusus membahas interaksi antara variasi *holding time* pada *pack carburizing* dengan variasi konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terkait pengaruhnya terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro baja karbon rendah AISI 1018 masih tergolong minim. Kebanyakan penelitian sebelumnya cenderung mengkaji pengaruh *holding time* atau media *quenching* secara terpisah, sehingga pemahaman mengenai efek gabungan dari kedua parameter tersebut terhadap peningkatan kekerasan permukaan dan perubahan struktur mikro belum banyak terungkap.

Berangkat dari kesenjangan tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengkaji pengaruh kombinasi variasi *holding time* pada proses *pack carburizing* dan variasi konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terhadap kekerasan permukaan serta struktur mikro baja karbon rendah AISI 1018. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai kombinasi parameter perlakuan panas yang paling optimal, sehingga dapat menjadi alternatif metode pengerasan permukaan dengan memanfaatkan *cane molasses* sebagai media *quenching* yang ekonomis dan ramah lingkungan, guna meningkatkan performa baja AISI 1018 pada aplikasi komponen mesin.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi *holding time* pada proses *pack carburizing* dan konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro baja karbon rendah AISI 1018. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi variasi *holding time* dan konsentrasi *cane molasses*. Variabel kontrol meliputi temperatur *pack carburizing*, komposisi media karburasi, temperatur dan waktu tempering, ukuran spesimen, serta prosedur perlakuan panas. Respon yang diamati adalah nilai kekerasan permukaan (HRC) dan perubahan struktur mikro setelah proses perlakuan panas.

Tempat dan Waktu Penelitian

a.Tempat Penelitian

Proses persiapan spesimen, *pack carburizing*, *quenching*, dan tempering dilakukan di Laboratorium *advance material*, Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Pengujian kekerasan Rockwell C (HRC) dan pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

b.Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari 2026 sampai Juli 2026 hingga seluruh proses eksperimen, pengujian, dan analisis data selesai dilaksanakan.

Variabel Penelitian

a.Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang sengaja diubah untuk melihat pengaruhnya pada hasil penelitian. Dalam penelitian ini variabel bebas meliputi:

1.Media *quenching*:konsentrasi larutan *cane molasses* dengan variasi konsentrasi 0%, 15%, dan 25%.

2.Waktu tahan (*holding time*) pada *pack carburizing*: 1 jam, 3 jam, dan 5 jam.

b.Variabel Terikat

1.Nilai kekerasan permukaan menggunakan metode Rockwell C (HRC) sesuai ASTM E18.

2.Struktur mikro baja AISI 1018 setelah proses *pack carburizing* dan *quenching*.

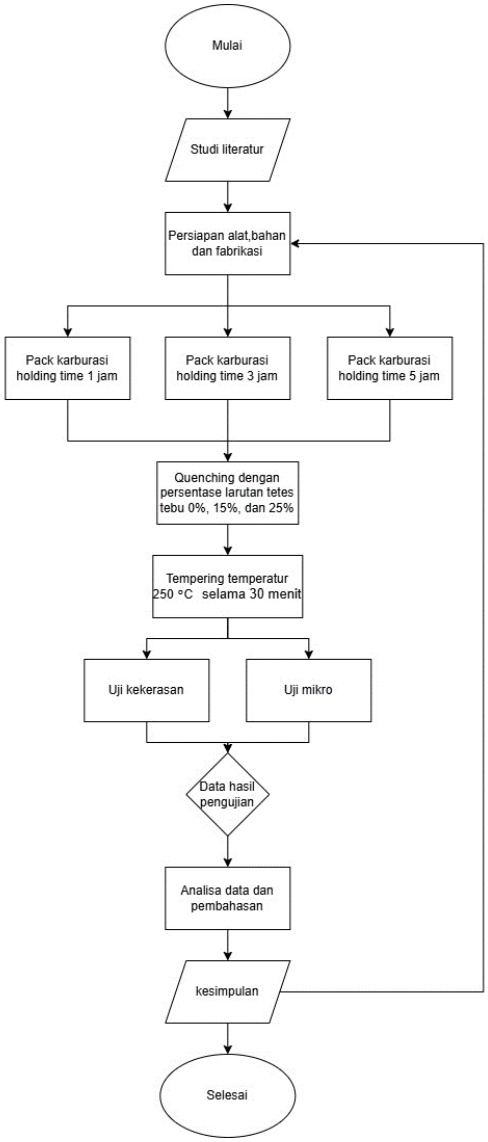
c.Variabel Kontrol

1.Material yang digunakan adalah baja karbon rendah AISI 1018.

2.Temperatur *pack carburizing* dijaga konstan sebesar 900 °C.

3.Media karburasi menggunakan campuran 85% arang tempurung kelapa dan 15% serbuk cangkang kerang dara dengan ukuran partikel 140 mesh.
4.Proses tempering dilakukan pada temperatur 250 °C selama 30 menit.

Rancangan Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir

Prosedur penelitian dilakukan setelah seluruh bahan dan peralatan penelitian telah dipersiapkan. Tahapan penelitian meliputi sebagai berikut.

1. **Preparasi Spesimen**

Baja karbon rendah AISI 1018 dipotong sesuai dimensi spesimen untuk pengujian kekerasan Rockwell C (HRC) dan pengamatan struktur mikro. Selanjutnya, permukaan spesimen dibersihkan untuk menghilangkan kotoran dan oksida sebelum proses perlakuan panas.

2. **Proses *Pack Carburizing***

Media karburasi disiapkan menggunakan campuran 85% arang tempurung kelapa dan 15% serbuk cangkang kerang dara dengan ukuran partikel 140 mesh. Spesimen kemudian dimasukkan ke dalam kotak karburasi dan dipanaskan menggunakan *furnace* pada temperatur 900 °C dengan variasi *holding time* selama 1 jam, 3 jam, dan 5 jam.

3. Proses Perlakuan Lanjutan

Setelah proses *pack carburizing* selesai, spesimen segera didinginkan (*quenching*) menggunakan tiga variasi media pendingin, yaitu air (0%), larutan *cane molasses* 15%, dan larutan *cane molasses* 25%. Selanjutnya, seluruh spesimen ditempering pada temperatur 250 °C selama 30 menit untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan kestabilan struktur mikro.

4. Pengujian Spesimen

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell C (HRC) sesuai ASTM E18. Pengamatan struktur mikro dilakukan melalui pengujian metalografi menggunakan mikroskop optik. Sebelum pengamatan, spesimen dipersiapkan melalui proses pengamplasan bertingkat, pemolesan, dan etsa menggunakan larutan Nital 2% untuk memperjelas struktur mikro yang terbentuk.

5. Analisis Data

Data hasil pengujian kekerasan dianalisis dengan membandingkan pengaruh variasi *holding time* dan konsentrasi *cane molasses* terhadap nilai kekerasan permukaan baja AISI 1018. Hasil pengamatan struktur mikro dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi perubahan fasa yang terjadi setelah proses *pack carburizing* dan *quenching*, kemudian dikorelasikan dengan hasil pengujian kekerasan.

Alat, Bahan, dan Instrumen Penelitian

Alat

1. *Muffle furnace naberterm* 1300°C
2. Kotak *Carburizing*
3. Tang jepit U
4. Penyaring mesh sebagai ayakan media karbon
5. Kertas gosok grid 100, 400 untuk menghaluskan permukaan
6. Gelas Ukur

Bahan

1. Arang tempurung kelapa
2. Cangkang kerang darah
3. Tetes Tebu
4. Baja AISI 1018

C	Fe	Mn	P	S
0.18%	98,81%	0.80%	0.04%	0.05%

Instrumen Penelitian

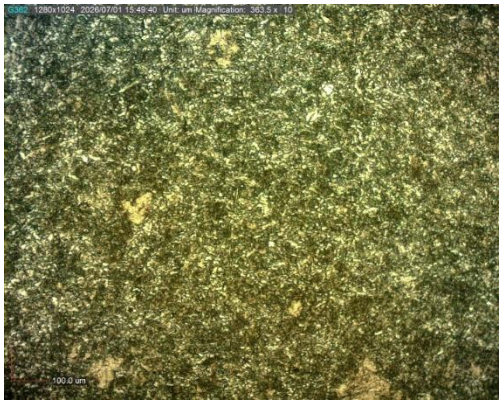
1. Hardness rockwell test tipe C
2. Mikroskop metalografi

HASIL DAN PEMBAHASAN

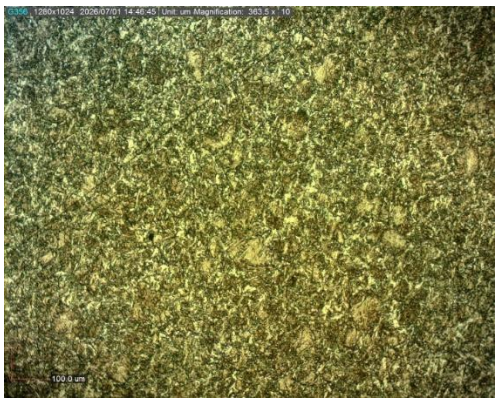
Tabel 1 hasil pengujian kekerasan (HRC)

No.	Kode Spesimen	Ttik Pengujian			Rata-Rata	SD	CV
		1	2	3			
1	A1B1	47,4	48,1	49,8	48,43	1,23	2,55
2	A2B1	52,7	52,7	53,9	53,1	0,69	1,3
3	A3B1	57,9	58,1	58,2	58,07	0,15	0,26
4	A1B2	36,9	36,2	35	36,03	0,96	2,67
5	A2B2	52	52,3	53	52,43	0,51	0,98
6	A3B2	58,5	59,3	58,4	58,73	0,49	0,84
7	A1B3	30,5	30,8	31	30,77	0,25	0,82
8	A2B3	55,4	52,4	56,8	54,87	2,25	4,1
9	A3B3	55,3	55,4	54,6	55,1	0,44	0,79

Keterangan variabel A1(Holding time 1 jam), A2 (Holding time 3 jam), A3 (Holding time 5 jam), B1 (Larutan cane molasses 0%), B2 (Larutan cane molasses 15%), dan B3 (Larutan cane molasses 25%)

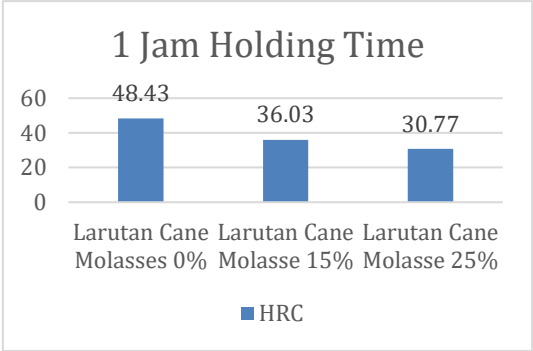


Gambar 2 Struktur Mikro A2B3



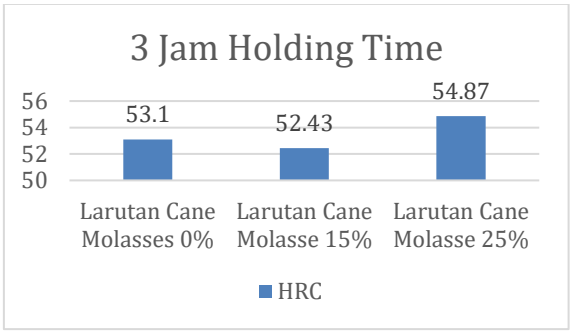
Gambar 3 Struktur Mikro A2B2

Pembahasan



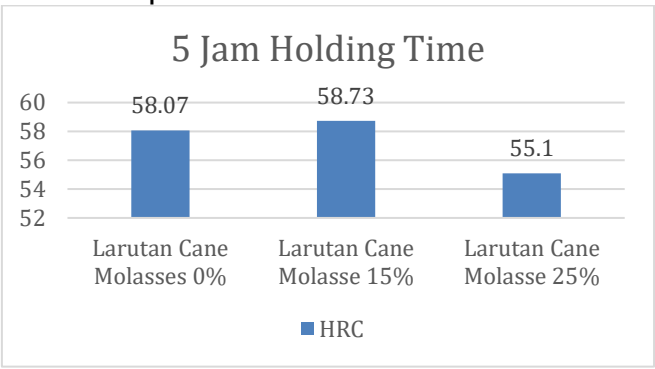
Gambar 4 Pengaruh konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terhadap kekerasan Rockwell C (HRC) baja AISI 1018 pada *holding time* 1 jam.

Pada *holding time* 1 jam, kekerasan tertinggi diperoleh pada media *quenching* air, yaitu 48,43 HRC, kemudian menurun pada larutan *cane molasses* 15% (36,03 HRC) dan 25% (30,77 HRC). Hal ini menunjukkan bahwa pada durasi difusi karbon yang masih singkat, kandungan karbon di permukaan belum cukup tinggi, sehingga laju pendinginan berperan dominan dalam pembentukan martensit. Media air dengan laju pendinginan cepat lebih efektif menghasilkan kekerasan tinggi, sedangkan *cane molasses* yang memiliki viskositas lebih besar menghasilkan pendinginan lebih lambat sehingga transformasi martensitik berlangsung kurang optimal (Dodo dkk., 2016).



Gambar 5 Pengaruh konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terhadap kekerasan Rockwell C (HRC) baja AISI 1018 pada *holding time* 3 jam.

Pada *holding time* 3 jam, kekerasan tertinggi terjadi pada media *cane molasses* 25% (54,87 HRC), sedikit di atas air (53,10 HRC) dan *cane molasses* 15% (52,43 HRC). Peningkatan durasi *holding time* menyebabkan difusi karbon berlangsung lebih lama sehingga kandungan karbon dan *hardenability* permukaan meningkat (Elmi Hosseini dan Li, 2016). Kondisi ini membuat media *cane molasses* dengan laju pendinginan lebih terkendali tetap mampu menghasilkan kekerasan yang kompetitif terhadap air.

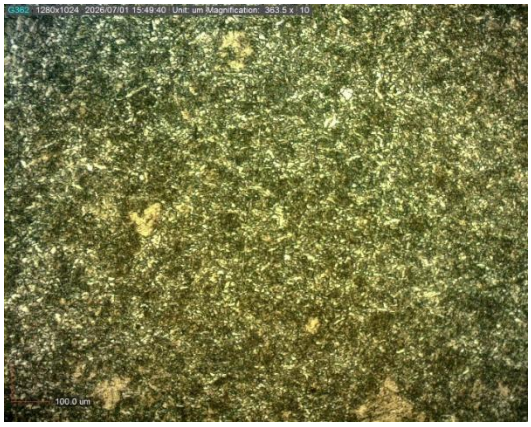


Gambar 6 Pengaruh konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* terhadap kekerasan Rockwell C (HRC) baja AISI 1018 pada *holding time* 5 jam.

Pada *holding time* 5 jam, kekerasan tertinggi diperoleh pada larutan *cane molasses* 15% (58,73 HRC), diikuti air (58,07 HRC) dan *cane molasses* 25% (55,10 HRC). Kandungan karbon

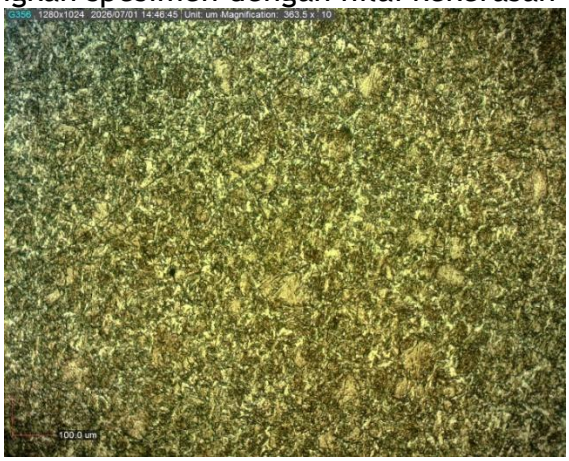
permukaan yang tinggi akibat durasi difusi yang lama meningkatkan *hardenability* baja, sehingga media dengan laju pendinginan sedang seperti *cane molasses* 15% mampu membentuk martensit secara optimal. Sebaliknya, konsentrasi 25% yang lebih kental menghasilkan pendinginan yang terlalu lambat, sehingga berpotensi menurunkan kekerasan akibat pembentukan sebagian struktur yang lebih lunak dibandingkan martensit.

Hasil Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 7 Struktur mikro spesimen A2B3 setelah proses *pack carburizing* pada temperatur 900 ˚C, *holding time* 3 jam, dan *quenching* menggunakan larutan *cane molasses* 25%

Berdasarkan Gambar 7, struktur mikro spesimen A2B3 didominasi oleh fasa martensit yang tersebar cukup merata dengan sisa ferit pada beberapa bagian. Pembentukan martensit menunjukkan bahwa karbon yang berdifusi selama proses *pack carburizing* telah meningkatkan kemampuan pengerasan (*hardenability*) baja AISI 1018. Kondisi tersebut menghasilkan nilai kekerasan sebesar 54,87 HRC. Keberadaan sedikit fasa ferit menunjukkan bahwa transformasi austenit menjadi martensit belum berlangsung sepenuhnya sehingga kekerasan yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi.



Gambar 8 Struktur mikro spesimen A3B2 setelah proses *pack carburizing* pada temperatur 900 ˚C, *holding time* 5 jam, dan *quenching* menggunakan larutan *cane molasses* 15%

Berdasarkan Gambar 8, struktur mikro spesimen A3B2 menunjukkan dominasi fasa martensit yang lebih banyak dan lebih merata dibandingkan spesimen A2B3. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan *holding time* menjadi 5 jam memberikan waktu yang lebih lama bagi atom karbon untuk berdifusi ke dalam permukaan baja. Dengan kandungan karbon permukaan yang lebih tinggi, transformasi martensit selama proses *quenching* berlangsung lebih optimal sehingga menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 58,73 HRC. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara peningkatan fraksi martensit dengan kenaikan kekerasan permukaan baja AISI 1018.

Perbandingan struktur mikro pada spesimen A2B3 dan A3B2 menunjukkan bahwa peningkatan *holding time* dari 3 jam menjadi 5 jam menyebabkan fraksi martensit meningkat,

sedangkan fraksi ferit menurun. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil pengujian kekerasan Rockwell C (HRC), di mana nilai kekerasan meningkat dari 54,87 HRC pada A2B3 menjadi 58,73 HRC pada A3B2. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya *holding time* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap difusi karbon sehingga meningkatkan pembentukan martensit dan kekerasan permukaan baja AISI 1018.

SIMPULAN

Mengacu pada hasil penelitian terkait pengaruh *holding time* dan konsentrasi *cane molasses* sebagai media *quenching* pada proses *pack carburizing* baja AISI 1018, dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut.

1. Variasi *holding time* maupun konsentrasi *cane molasses* sama-sama memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan permukaan baja AISI 1018. Semakin lama *holding time* yang diterapkan dari 1 jam hingga 5 jam nilai kekerasan cenderung semakin meningkat, sebab durasi yang lebih panjang memberi kesempatan lebih besar bagi atom karbon untuk berdifusi masuk ke permukaan baja. Kekerasan tertinggi tercatat pada spesimen A3B2, yaitu kombinasi *holding time* 5 jam dengan media *quenching cane molasses* 15%, dengan nilai 58,88 HRC. Sebaliknya, nilai kekerasan terendah dijumpai pada spesimen A1B3 (*holding time* 1 jam, *quenching cane molasses* 25%) sebesar 30,35 HRC. Temuan ini mengindikasikan bahwa perpaduan antara durasi *holding time* dan pemilihan media *quenching* turut menentukan tingkat peningkatan kekerasan permukaan baja AISI 1018.

2.Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa Pengamatan terhadap struktur mikro memperlihatkan bahwa *holding time* meningkatkan difusi karbon sehingga meningkatkan *hardenability*, kemudian setelah *quenching* memungkinkan terbentuknya martensit lebih banyak.. Spesimen dengan tingkat kekerasan lebih tinggi umumnya didominasi oleh struktur martensit, sedangkan pada spesimen dengan kekerasan lebih rendah masih tampak keberadaan ferit dan perlit dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini memperlihatkan adanya keselarasan antara perubahan struktur mikro dan peningkatan nilai kekerasan pasca proses *pack carburizing* dan *quenching*.

SARAN

1. Untuk penelitian berikutnya, disarankan agar dilakukan pengujian distribusi kekerasan (*microhardness*) pada berbagai kedalaman guna mengevaluasi *case depth* yang dihasilkan dari proses *pack carburizing*.

2.Penelitian lanjutan juga dapat memperluas cakupan variasi konsentrasi *cane molasses*, atau membandingkannya dengan jenis media *quenching* lain seperti minyak maupun larutan polimer, sehingga dapat diperoleh kombinasi perlakuan panas yang optimal dalam menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Callister. Book Review: Materials Science and Engineering, an Introduction Tenth Edition. Vol. 22, International Journal of Mechanical Engineering Education. 2017. 14–14 p.

Davis JR. GEAR MATERIALS , PROPERTIES , AND Edited by. 2005.

Adedipe O, Medupin RO, Yoro KO, Dauda ET, Aigbodion VS, Agbo NA, et al. Sustainable carburization of low carbon steel using organic additives: A review. Sustain Mater Technol [Internet]. 2023;38(September):e00723. Available from: https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00723

Elmi Hosseini SR, Li Z. Pack Carburizing: Characteristics, Microstructure, and Modeling. Encycl Iron, Steel, Their Alloy. 2016;(September 2016):1–24.

Dodo MR, Dauda ET, Adamu MA. Investigating the cooling rate of cane molasses as quenching

medium for 0.61% C high carbon steels. Metall Mater Eng. 2016;22(1):39–50.

Darmo S, Sinarep S, Soenoko R. A study of the pack carburizing quenching treatment with cane molasses cooling medium effect on the wear resistance of low carbon steel. Eastern-European J Enterp Technol. 2021;2(12–110):32–7.