



Contents list available at [Sinta](https://sinta)

A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>



Pengaruh Komposisi Cangkang Telur Sebagai *Energizer* Pada Proses *Pack Carburizing* Baja AISI 1018 Terhadap Peningkatan Sifat Mekanik

Ilham Azmy^{1*}, Deden Masruri², Andhika Jalu Shalahudin³

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Indonesia

³Program Studi Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Indonesia

A R T I C L E I N F O

Keywords:
AISI 1018 steel
pack carburizing
microstructure
mechanical properties

A B S T R A C T

AISI 1018 steel is classified as low-carbon steel which is widely utilized for mechanical components, construction, and pipes owing to its high strength and ductility. However, this steel has a limitation to less several mechanical properties viz. hardness and wear resistance. In this work, the pack carburizing process by using different composition of activated carbon and eggshell as energizer have been attempted to strengthen mechanical properties of AISI 1018 steel. The AISI 1018 steel specimens were heated in the furnace at 850 °C and holding time 3 hours, which subsequently rapid cooling process by sink into the water. The composition variations of pack carburizing process mainly contain 95% activated carbon - 5% eggshell, 85% activated carbon - 15% eggshell, and 75% activated carbon - 25% eggshell. Afterwards, it has clearly depicted that pack carburized AISI 1018 using 95% activated carbon - 5% eggshell as energizer possess intriguing microstructure transformation which influence to mechanical properties improvement such as high hardness value (394,2 HV) and good wear resistance (0,074 mm³/minute). Therefore, pack carburized AISI 1018 using 95% activated carbon - 5% eggshell as energizer gives a significant development to enhance AISI 1018 mechanical properties for long-life usage.

*Corresponding author: ilham.azmy@polban.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v4i2.3973>

Received 19 Juni 2023; Received in revised form 21 Juni 2023; Accepted 24 Agustus 2023

Available online 1 September 2023

Pendahuluan

Baja merupakan bahan yang banyak digunakan pada aplikasi industri seperti komponen-komponen mesin, konstruksi bangunan, bahan kerja lainnya dalam bentuk lembaran pipa, batang profil, pelat dan sebagainya. Baja karbon rendah memiliki sifat keuletan yang baik, namun kekerasan yang cukup rendah[1]. Kekerasan baja ini tergantung pada komposisi kimia baja terutama pada kadar karbonnya, semakin tinggi kadar karbon maka akan semakin keras baja tersebut. Baja AISI 1018 tergolong baja karbon rendah yang memerlukan proses rekayasa agar sifat mekaniknya dapat ditingkatkan. Dalam aplikasi pembebanan, struktur baja AISI 1018 biasanya akan terpengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan geser yang dapat menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Dengan begitu dibutuhkan peningkatan sifat-sifat mekanik yang memadai agar baja AISI 1018 menjadi lebih kuat, keras, dan tahan lama[2].

Salah satu upaya untuk meningkatkan sifat mekanik yaitu melalui proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) *pack carburizing* untuk menambahkan kandungan karbon pada permukaan baja. Proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik yang dibutuhkan dengan mengatur parameter yang terjadi selama proses perlakuan permukaan. Salah satu proses perlakuan permukaan yang banyak dilakukan adalah proses *pack carburizing*. *Pack carburizing* bertujuan untuk menambahkan kandungan karbon pada permukaan baja dengan proses pengarbonan padat melalui penambahan katalis agar karbon dapat berdifusi ke permukaan baja[3].

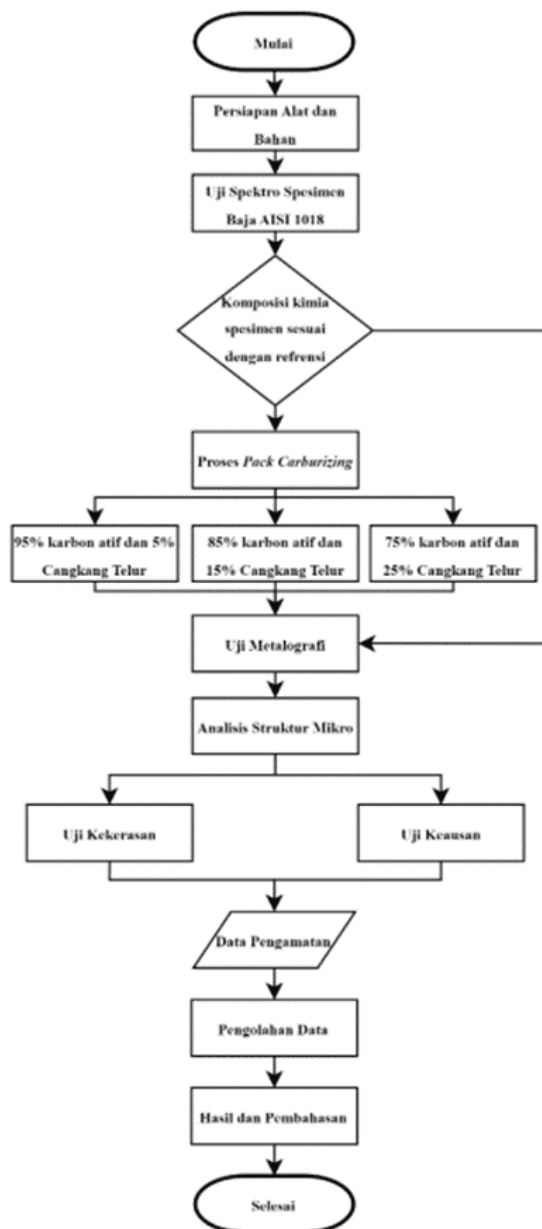
Penambahan katalis (*energizer*) pada proses *pack carburizing* sangat berguna untuk mempercepat proses difusi atom karbon ke permukaan baja sehingga dihasilkan peningkatan sifat mekanik. Salah satu alternatif katalis (*energizer*) yang melimpah dan relatif murah adalah cangkang telur yang mengandung kalsium

karbonat (CaCO_3). Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dapat memaksimalkan difusi atom karbon ke permukaan baja AISI 1018 selama proses *pack carburizing* sehingga dihasilkan lapisan *carburizing* yang optimal[4].

Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan proses *pack carburizing* baja AISI 1018 menggunakan karbon aktif dengan variasi komposisi cangkang telur sebagai *energizer*. Perbandingan komposisi media *pack carburizing* ditentukan dalam 3 (tiga) variabel yang berbeda dengan persentase karbon aktif dan cangkang telur (*energizer*) secara bervariasi. Dari penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui efektivitas cangkang telur sebagai *energizer* terhadap perubahan mikrostruktur dan peningkatan sifat mekanik khususnya sifat kekerasan serta ketahanan aus dari baja AISI 1018.

Metode Penelitian

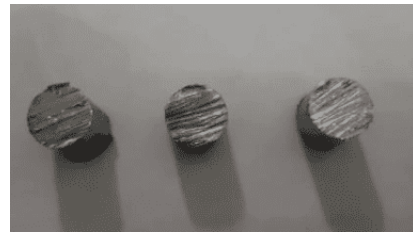
Metode yang dilakukan dalam penelitian dengan menggunakan teknik eksperimen secara langsung di Laboratorium Bahan dan Metalurgi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri beberapa proses yaitu persiapan bahan, preparasi spesimen, uji spektrometer, proses *pack carburizing*, uji metalografi, uji kekerasan, dan uji ketahanan aus yang digambarkan pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Preparasi Spesimen

Pada tahap preparasi ini dilakukan pembuatan spesimen untuk masing-masing pengujian yang akan dilakukan. Spesimen menggunakan baja AISI 1018 komersil (PT. Bhinneka Bajas). Pembuatan spesimen dilakukan dengan memotong spesimen dalam ukuran 15x10x5 mm sebanyak 3 buah dengan menggunakan gergaji tangan yang selanjutnya akan digunakan untuk eksperimen proses pack carburizing dengan berbagai variasi akrbon aktif dan cangkang telur sebagai *energizer*.



Gambar 2. Spesimen Baja AISI 1018

Disamping itu, persiapan bahan *energizer* yang dilakukan pada penelitian ini dengan menghaluskan cangkang telur melalui proses penumbukan hingga berukuran 2-3 mm dan diikuti proses kalsinasi dengan temperatur 120 °C selama 30 menit untuk sebagai stimulan untuk aktivasi kalsium karbonat yang terkandung dalam cangkang telur.



Gambar 3. Persiapan Bahan *Energizer* Cangkang Telur

Uji Spektrometer

Uji spektrometer dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari material yang akan dipakai dalam penelitian ini. Pengujian ini penting untuk dilakukan karena baja 1018 yang dipakai merupakan baja komersil, sehingga perlu diuji validitas komposisinya agar sesuai standar. Metode uji spektrometer yang dilakukan menggunakan 1 (satu) buah spesimen baja AISI 1018 yang telah dipotong dalam mesin *Optical Emission Spectrometer (OES) ARL340* sehingga akan didapatkan data kandungan komposisi kimia spesimen baja yang digunakan dalam penelitian ini. Data kandungan komposisi kimia tersebut nantinya akan dicocokkan dengan standar AISI (*American Iron and Steel Institute*)

1018 sehingga diharapkan data kandungan komposisi kimia baja yang digunakan pada penelitian ini telah sesuai dengan standar tersebut.

Proses Pack Carburizing

Proses *pack carburizing* dilakukan untuk menambahkan atom karbon pada material yang diperoleh dari karbon aktif dan penambahan *energizer*. Proses *pack carburizing* dilakukan untuk mendapatkan spesimen yang selanjutnya akan dilakukan proses pengujian. Proses *pack carburizing* ini dilakukan dengan menggunakan karbon aktif dengan media *energizer* cangkang telur. Proses dilakukan terhadap 3 (tiga) spesimen baja AISI 1018 dengan komposisi karbon aktif dan *energizer* cangkang telur yang berbeda, yaitu 95% karbon aktif 5% dan cangkang telur, 85% karbon aktif dan 15% cangkang telur, serta 75% karbon aktif dan 25% cangkang telur. Temperatur pemanasan yang digunakan selama proses *pack carburizing* sebesar 850 °C menggunakan tungku *furnace* dengan durasi waktu penahanan (*holding time*) selama 3 jam. Pada tahap akhir proses *pack carburizing*, dilakukan proses pendinginan cepat (*quenching*) dengan cara mencelupkan spesimen kedalam media air.



Gambar 4. Proses Pack Carburizing

Uji Metalografi

Uji metalografi bertujuan untuk mengetahui mikrostruktur spesimen pada *raw material* dan spesimen yang telah melalui proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi cangkang telur yang

berbeda-beda. Diawali dengan melakukan proses *mounting*, *grinding*, *polishing*, proses etsa lalu diamati pada mikroskop optik Olympus BX51M. Hasil pengujian ini berupa gambar mikrostruktur yang menggambarkan fasa-fasa didalam spesimen penelitian. Dalam penelitian ini, uji metalografi dilakukan pada 4 (empat) buah spesimen baja AISI 1018 yang terdiri dari 1 (satu) spesimen tanpa perlakuan dan 3 (tiga) spesimen lain dengan hasil proses *pack carburizing* sehingga akan didapatkan perbandingan struktur mikro khususnya perbedaan lapisan karburisasi (ketebalan dan fasa) pada permukaan spesimen-spesimen tersebut.

Uji Kekerasan

Uji kekerasan yang dipakai merupakan tipe pengujian kekerasan Vickers. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa keras spesimen pada base material dan spesimen yang telah melalui proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi *energizer* cangkang telur yang berbeda-beda. Hasil pengujian ini akan memperlihatkan nilai kekerasan pada setiap spesimen penelitian. Pada penelitian ini, uji kekerasan akan dilakukan pada 3 (tiga) spesimen material baja AISI 1018 yang telah dilakukan proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi karbon aktif dan *energizer* cangkang telur yang ditentukan dan 1 (satu) spesimen dengan kondisi sebagai Baja AISI 1018 tanpa perlakuan *pack carburizing*. Dengan begitu, akan didapatkan perbandingan nilai kekerasan untuk baja AISI 1018 sebelum dan sesudah diberikan perlakuan *pack carburizing*.

Uji Ketahanan Aus

Uji ketahanan aus merupakan suatu uji karakteristik fisik yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keausan permukaan material terhadap gesekan atau goresan pada permukaan. Uji keausan memiliki berbagai macam metode dan teknik, namun pada dasarnya memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual.

Pada penelitian ini, uji ketahanan aus menggunakan metode *pin-on-disc* dilakukan pada 3 (tiga) spesimen material baja AISI 1018 yang telah dilakukan proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi karbon aktif dan *energizer* cangkang telur yang ditentukan dan 1 (satu) spesimen dengan kondisi sebagai *base material*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui variasi komposisi terbaik dalam proses *pack carburizing* berdasarkan sifat ketahanan aus yang didapatkan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji Spektrometer

Untuk menentukan komposisi kimia dari spesimen baja yang digunakan dalam penelitian ini, telah dilakukan uji spektrometer sehingga dapat dipastikan baja tersebut sesuai standar AISI 1018. Tabel 1 memperlihatkan data hasil uji spektrometer dari spesimen yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data Hasil Uji Spektrometer

No.	Unsur	Komposisi (%)
1	C	0,18
2	Si	0,091
3	Mn	0,397
4	P	0,017
5	S	0,027
6	Ni	0,02
7	Cr	0,02
8	Mo	0,018
9	V	0,001
10	Cu	0,04
11	W	0,013
12	Ti	0,001
13	Sn	0,003
14	Al	0,003
15	Fe	99,169

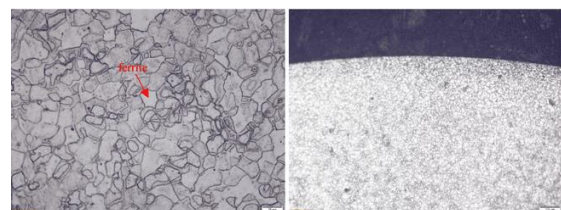
Dari tabel 1 tersebut, spesimen baja memiliki komposisi kimia utama yang terdiri dari ferrous (Fe 99,169 %) dan karbon (C 0,18 %). Dengan demikian, hasil uji spektrometer tersebut telah mengkonfirmasi bahwa spesimen baja yang digunakan dalam penelitian ini telah sesuai

dengan standar AISI 1018 yang dikategorikan baja karbon rendah[5].

Hasil Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan teknik metalografi untuk spesimen baja AISI 1018. Proses pengamatan ini sangat penting untuk mempelajari transformasi dari fasa dan mikrostruktur yang terbentuk akibat dari perlakuan *pack carburizing* pada baja AISI 1018[6]. Untuk membandingkan perubahan mikrostruktur yang terjadi, 4 (empat) buah spesimen dari baja AISI 1018 yang telah melalui proses *pack carburizing* dengan masing-masing komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur, 85% karbon aktif - 15% cangkang telur, dan 75% karbon aktif - 25% cangkang telur.

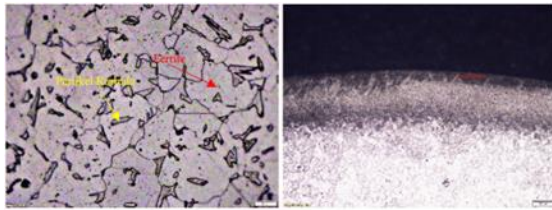
Pada gambar 5 memperlihatkan mikrostruktur baja AISI 1018 tanpa perlakuan *pack carburizing* yang secara umum terdiri dari matriks ferrit, sedikit fasa *pearlite*, dan tidak terlihat adanya lapisan karbon yang terbentuk (*carburized surface*). Ferrit memiliki struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) yang mengandung karbon maksimum sebesar 0,025% yang cenderung mempengaruhi sifat *brittleness* dan sifat magnetiknya[7].



Gambar 5. Mikrostruktur Baja AISI 1018 Tanpa Perlakuan

Namun begitu, kehadiran fasa tersebut mengkonfirmasi bahwa spesimen baja AISI 1018 yang digunakan merupakan *low-carbon steel*.

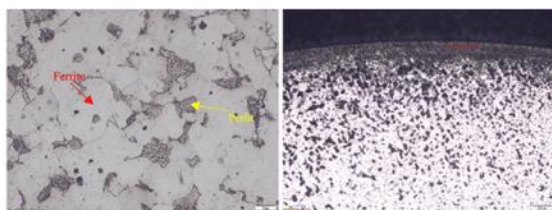
Gambar 6 menunjukkan mikrostruktur baja AISI 1018 hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur sebagai *energizer* yang mengindikasikan lapisan karburisasi telah terbentuk dengan ketebalan 266,96 μm .



Gambar 6. Mikrostruktur Baja AISI 1018 Hasil *Pack Carburizing* 95% Karbon Aktif - 5% Cangkang Telur

Di sisi lain, fasa yang terlihat merupakan susunan ferrit dan karbida (Fe_3C) yang berasal dari difusi karbon proses *pack carburizing* dan bersenyawa dengan atom Fe.

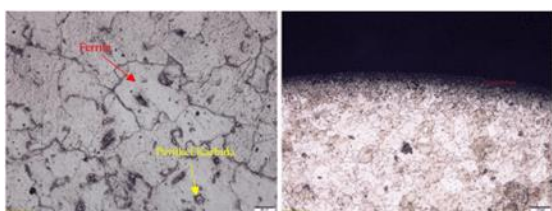
Mikrostruktur baja AISI 1018 hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi 85% karbon aktif - 15% cangkang telur sebagai *energizer* diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Mikrostruktur Baja AISI 1018 Hasil *Pack Carburizing* 85% Karbon Aktif - 15% Cangkang Telur

Lapisan karburisasi terbentuk dengan ketebalan yang lebih kecil dibandingkan spesimen sebelumnya yaitu sebesar 152,2 μm . Hal ini mengkonfirmasi bahwa difusi atom karbon yang terjadi pada permukaan tidak terlalu efisien, sehingga fasa karbida (Fe_3C) yang terbentuk dalam matriks ferrit pun relatif sedikit[8].

Pada gambar 8 ditunjukkan mikrostruktur baja AISI 1018 hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi 75% karbon aktif - 25% cangkang telur sebagai *energizer*.



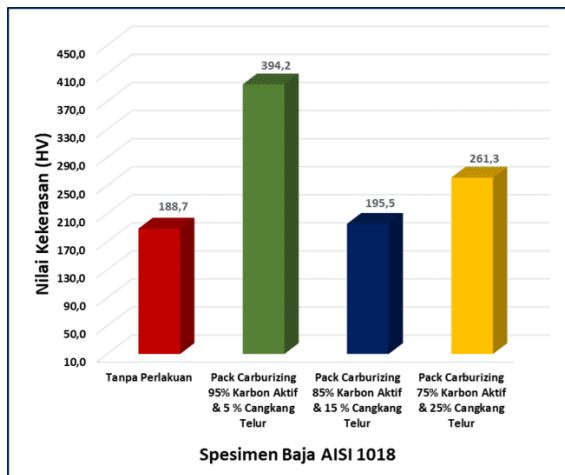
Gambar 8. Mikrostruktur Baja AISI 1018 Hasil *Pack Carburizing* 75% Karbon Aktif - 25% Cangkang Telur

Mikrostruktur memperlihatkan bahwa proses *pack carburizing* berhasil dilakukan yang terlihat dengan pembentukan lapisan karbon pada permukaan dengan ketebalan sebesar 84,7 μm . Lapisan karbon ini relatif lebih tipis bila dibandingkan dengan spesimen yang lain, sehingga hal ini mengindikasikan bahwa penambahan 25% cangkang telur sebagai *energizer* kurang efektif dalam meningkatkan efektivitas *pack carburizing*[9]. Namun begitu, fasa yang terbentuk masih sama yaitu matriks ferrit dan karbida (Fe_3C) yang sangat sedikit.

Dari pengamatan mikrostruktur ini terlihat bahwa spesimen baja AISI 1018 hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur sebagai *energizer* merupakan spesimen yang menghasilkan fasa dan ketebalan lapisan karbon paling baik. Penambahan 5% cangkang telur memberikan efektivitas yang baik dalam proses *pack carburizing* karena konsentrasi atom kalsium (Ca) pada cangkang telur tidak terlalu jenuh sehingga mengakomodir difusi karbon pada permukaan baja secara lebih optimal[10].

Peningkatan Sifat Mekanik

Untuk menilai peningkatan sifat mekanik dari spesimen baja AISI 1018 hasil proses *pack carburizing* dengan variasi komposisi karbon aktif dan penambahan cangkang telur sebagai *energizer*, uji kekerasan dan ketahanan aus telah dilakukan pada penelitian ini. Uji kekerasan diambil dari 3 (tiga) buah titik dari spesimen baja AISI 1018 tanpa perlakuan dan hasil proses *pack carburizing* yang selanjutnya dihitung nilai rerata kekerasannya[11]. Perbandingan nilai rerata kekerasan spesimen baja AISI 1018 dapat dilihat pada gambar 9.

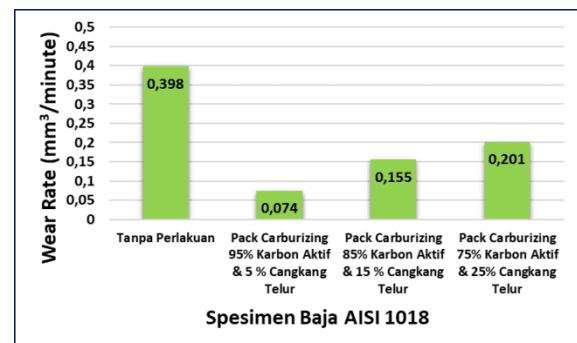


Gambar 9. Nilai Kekerasan Spesimen Baja AISI 1018

Nilai kekerasan dari baja AISI 1018 tanpa perlakuan, hasil *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur, 85% karbon aktif - 15% cangkang telur, dan 75% karbon aktif - 25% cangkang telur berturut-turut sebesar 188,7 HV, 394,2 HV, 195,5 HV, dan 261,3 HV. Perbedaan nilai kekerasan menggambarkan bahwa efek peningkatan sifat mekanik yang signifikan diantara baja AISI 1018 tanpa perlakuan dan hasil *pack carburizing*[12]. Spesimen baja AISI 1018 dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur sebagai *energizer* memiliki nilai kekerasan tertinggi (394,2 HV) yang disebabkan oleh formasi karbida (Fe_3C) yang berlimpah pada mikrostrukturnya. Selain itu, fenomena ini menunjukkan bahwa penambahan 5% cangkang telur meningkatkan kapabilitas difusi *interstitial* karbon pada proses *pack carburizing* sehingga menghasilkan peningkatan sifat mekanik kekerasan yang paling tinggi[13].

Sifat mekanik ketahanan aus merupakan salah satu sifat yang menjadi parameter dalam ketahanan suatu material untuk menahan beban gesek dalam pemakaian yang kontinyu[14]. Ketahanan aus juga menjadi salah satu sifat yang patut yang dinilai dalam menentukan efektivitas hasil proses *pack carburizing*. Untuk mendapatkan sifat ketahanan aus dari spesimen baja AISI 1018 tanpa perlakuan dan hasil *pack carburizing*, uji ketahanan aus telah dilakukan dan didapat nilai laju

keausan pada setiap spesimen baja AISI 1018 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Nilai Laju Keausan Spesimen Baja AISI 1018

Baja AISI 1018 tanpa perlakuan menunjukkan nilai laju keausan tertinggi sebesar 0,398 mm³/menit yang sekaligus mengindikasikan bahwa spesimen baja AISI 1018 tersebut memiliki ketahanan aus yang rendah. Sementara itu, baja AISI 1018 hasil *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur sebagai *energizer* memperlihatkan laju keausan terendah sebesar 0,074 mm³/menit dibandingkan spesimen baja AISI 1018 hasil *pack carburizing* dengan variasi komposisi karbon aktif dan cangkang telur lainnya. Dengan demikian, baja AISI 1018 hasil *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur memiliki sifat ketahanan aus yang paling baik. Peningkatan sifat ketahanan aus ini terjadi karena perpaduan komposisi *energizer* cangkang telur dan karbon aktif yang tepat selama proses *pack carburizing* sehingga atom kalsium dapat bersenyawa secara optimal dengan karbon yang memungkinkan pembentukan lapisan karbon lebih efektif pada permukaan baja AISI 1018[15].

Kesimpulan

Proses *pack carburizing* baja AISI 1018 dengan menggunakan media karbon aktif dan penambahan cangkang telur sebagai *energizer* telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Baja AISI 1018 hasil *pack carburizing* dengan komposisi 95%

karbon aktif - 5% cangkang telur menunjukkan transformasi mikrostruktur yang terdiri dari fasa ferrit dan karbida (Fe_3C) dalam jumlah yang signifikan. Sejalan dengan itu, peningkatan sifat mekanik juga terjadi dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 394,2 HV dan nilai laju keausan yang kecil sebesar 0,074 mm^3/menit . Maka, baja AISI 1018 hasil *pack carburizing* dengan komposisi 95% karbon aktif - 5% cangkang telur akan cenderung memiliki umur pakai yang lebih tinggi dalam pembebanan kontinyu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung yang telah membantu terlaksananya penelitian ini melalui hibah penelitian no. B/98.34/PL1.R7/PG.00.03/2023 serta Jurusan Teknik Mesin yang telah menyediakan fasilitas selama preparasi dan pengujian spesimen penelitian ini.

Referensi

- [1] N. Wijanarko, Asroni, and E. Budiyo, "Pengaruh waktu pelapisan terhadap ketebalan dan kuat lekat pada baja karbon rendah dengan proses elektroplating," *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*, vol. 2, no. 2, pp. 67-75, 2021.
- [2] A. Ibrahim, O. D. Adigun, and M. Bodude, "Microstructure and Mechanical Characterization of Austempered AISI 1018 Steel," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [3] A. A. Ebraheem and L. K. Fairouz, "Effect of Mechanical Surface Treatments on Impact Strength for Low Carbon Steel AISI 1020," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 518, no. 3, 2019.
- [4] D. Handoko, Vivaldi, and Sutrisno, "Pengaruh Variasi Jenis Katalisator dan Holding Time pada Proses Pack Carburizing terhadap Perubahan Komposisi Karbon dan Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel) St 37," *Jurnal Publikasi Ilmiah Vokasi (JPV)*, vol. 16, no. 1, pp. 38-45, 2021.
- [5] K. D. Salman, "Microstructure and Mechanical Properties of Cold Rolled AISI 1018 Low Carbon Steel," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 551, no. 1, 2019.
- [6] L. P. Utami, B. Istana, and A. Indra, "Analisis Pengaruh Variasi Komposisi Katalis Pada Proses Pack Carburizing Baja Karbon Rendah Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro," *Surya Teknika*, vol. 6, no. 1, pp. 26-31, 2019.
- [7] S. Dewangan, "Analysis of property variation in AISI 1020 steel after heat treatment," presented at the Materials, Mechanics & Modeling (Ncmm-2020), 2021.
- [8] M. Nasution and R. H. Nasution, "Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa," *Buletin Utama Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 165-173, 2020.
- [9] P. Nikhil, P. Sudheer, P. J. Joy, T. Sruthi, and M. Vangalpati, "Synthesis and characterization of nanoparticles using egg shell," *Materials Today: Proceedings*, vol. 26, pp. 3246-3249, 2020.
- [10] A. Baby, S. Y. Nayak, S. S. Heckadka, S. Purohit, K. K. Bhagat, and L. G. Thomas, "Mechanical and morphological characterization of carbonized egg-shell fillers/Borassus fibre reinforced polyester hybrid composites," *Materials Research Express*, vol. 6, no. 10, 2019.
- [11] G. D. Haryadi, A. F. Utomo, and I. M. W. Ekaputra, "Pengaruh Variasi

- Temperatur Quenching dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 255-264, 2021.
- [12] H. Isworo and D. Sumantri, "Pengaruh Holding Time dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ST41 Pada Proses Carburizing Arang Tempurung Kelapa," *Jurnal Elemen*, vol. 7, no. 2, pp. 157-166, 2020.
- [13] R. Afriany, Asmadi, and S. Z. Nuryanti, "Analisa Pengaruh Variasi Katalis BaCO₃, NaCO₃, dan CaCO₃ Pada Proses Karburisasi Baja Karbon Sedang Dengan Pendinginan Tunggal," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, vol. 4, no. 1, pp. 38-50, 2017.
- [14] D. M. Marulanda Cardona, J. Wongsan-
gam, H. Jimenez, and T. G. Langdon, "Effects on hardness and microstructure of AISI 1020 low-carbon steel processed by high-pressure torsion," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 6, no. 4, pp. 355-360, 2017.
- [15] A. F. Abidah and N. S. Drastiawati, "Analisis SS400 Hasil Carburizing Media Arang Tempurung Kelapa-BaCO₃ Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan Holding Time Ditinjau Dari Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro," *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, vol. 07, no. 02, pp. 1-8, 2019.