

Pengaruh Proses Pack Carburizing Baja AISI 4340 Terhadap Peningkatan Kekerasan dan Ketahanan Aus

Ilham Azmy^{1*}, Deden Masruri², Rivaldy Rahardianto³, Suyitno⁴

^{1,2)} Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

³⁾ Program Studi Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung

⁴⁾ Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin, Politeknik Negeri Bandung

*Email: ilham.azmy@polban.ac.id

ABSTRACT

The AISI 4340 steel is widely used in severe load such as shaft, crankshafts, and connecting rods in automobile and machinery industry which required to capable maintain high mechanical strength and toughness. Since this material is very important for mechanical and engineering usage, the long wear solicitation must be required. However, it requires to high surface hardness to achieve longer lifetime and less damage. To tackle this problem, the research proposes novel experimental method of pack carburizing process on AISI 4340 steel to construct carbon layer on the surface. The process begins by packing AISI 4340 steel along with charcoal and BaCO_3 catalyst and heating inside the furnace at 900 °C for 4 hours to facilitate carbon diffusion on the surface. Afterwards, the sample was slowly cooled in the furnace and another sample of base AISI 4340 also prepared. The samples were subsequently examined by using spectrometry test, metallographic observation, hardness test, and wear test. The results show that pack carburized AISI 4340 steel possesses intriguing microstructure which pointed by presence of ferrite and high carbide (Fe_3C) phases. The microstructure transformation of pack carburized AISI 4340 steel affects to increase high hardness value (325,4 HV) and high wear resistance compared than the base AISI 4340 steel. Thus, the pack carburized AISI 4340 steel has tenacious capability to attain long wear during mechanical and engineering applications.

Keywords: AISI 4340 Steel, Pack Carburizing, Microstructure, Hardness, Wear Resistance

PENDAHULUAN

Baja AISI 4340 tergolong baja karbon *medium* yang memerlukan proses rekayasa agar sifat mekaniknya dapat ditingkatkan karena penggunaannya yang sangat luas pada komponen *shaft*, *crankshaft*, dan *gear* pada industri otomotif dan *aerospace*[1]. Dalam aplikasi pembebanan, struktur baja AISI 4340 biasanya akan terpengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan geser yang dapat menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk[2]. Dengan begitu dibutuhkan peningkatan sifat-sifat mekanik yang memadai agar baja AISI 4340 menjadi keras dan tahan terhadap keausan. 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 pada proses *pack carburizing* sangat berguna untuk mempercepat proses difusi atom karbon ke permukaan baja sehingga dihasilkan peningkatan sifat mekanik[4].

Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan proses *pack carburizing* baja AISI 4340 dengan arang dan katalis barium karbonat (BaCO_3). Pemilihan katalis BaCO_3 tersebut ditujukan untuk mengoptimalkan proses difusi atom karbon (C) pada permukaan baja AISI 4340 sehingga terjadi perubahan struktur mikro, peningkatan nilai kekerasan dan ketahanan aus dari baja AISI 4340[5]. BaCO_3 dikenal sebagai katalis yang mempunyai atom karbon yang cukup tinggi sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus baja AISI 4340. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan akan memberikan perubahan signifikan terhadap

peningkatan sifat mekanik khususnya kekerasan dan ketahanan aus baja AISI 4340.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbasis metode eksperimental dengan menggunakan spesimen baja AISI 4340 komersil yang dipotong menggunakan *cutter machine* sehingga berdimensi 15x6x5 mm untuk penggunaan spesimen pada uji spektrometri, pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan. Sementara itu, spesimen lain dipreparasi dengan dimensi 25x25x5 mm untuk dipergunakan pada uji keausan.

Uji Spektrometri

Uji Spektrometri dilakukan untuk memastikan kandungan komposisi kimia spesimen baja yang digunakan dalam penelitian telah sesuai dengan standar AISI 4340. Uji Spektrometri menggunakan mesin *Optical Emission Spectrometer* ARL 3460. Pengujian ini akan menampilkan data komposisi kimia yang terkandung pada spesimen baja AISI 4340.

Proses Pack Carburizing

Proses karburisasi dilakukan melalui metode karburisasi padat (*pack carburizing*) yang bertujuan untuk membentuk lapisan karbon pada permukaan spesimen baja AISI 4340. Proses karburisasi menggunakan campuran arang batok kelapa 70 wt.% dan pasta katalis barium karbonat (BaCO_3) 30 wt.%.



Gambar 1. Proses *Pack Carburizing* Spesimen Baja AISI 4340

Spesimen baja AISI 4340 yang telah dipack (Gambar 1) dipanaskan dalam tungku *furnace* hingga temperatur 900 °C selama 4 jam yang diikuti proses pendinginan sangat lambat didalam tungku *furnace*. Spesimen yang telah melalui proses karburisasi kemudian dikarakterisasi struktur mikro dan sifat mekaniknya.

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengukur ketebalan lapisan karbon hasil proses karburisasi dan struktur mikro spesimen baja AISI 4340. Pengamatan struktur mikro ini menggunakan Mikroskop Optik Olympus BX51M dengan jenis perbesaran dari 0, 10, 20, 50, hingga 100 kali. Proses preparasi spesimen dilakukan menggunakan teknik metalografi (ASTM E8) dalam beberapa tahapan proses. Spesimen baja AISI 4340 *dimounting* terlebih dahulu menggunakan bakelit, lalu kemudian *digrinding* hingga permukaannya halus. Sebelum diamati struktur mikronya, spesimen baja AISI 4340 dipoles dan dietsa menggunakan cairan nital.

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin *Microhardness Tester* Mitutoyo HM-122 berindenter kerucut intan yang diatur dalam *major load* sebesar 0,2 kgf dan jarak antar titik 250 μm . Pengujian ini bertujuan untuk mengukur nilai kekerasan pada spesimen baja AISI 4340 tanpa perlakuan dan spesimen baja AISI 4340 hasil karburisasi. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* yang berlokasi pada tiga titik indentansi yang berbeda.

Uji Keausan

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk pengujian keausan adalah metode *pin on disc* dengan cara memberikan pembebanan gesek terhadap spesimen baja AISI 4340 tanpa

perlakuan dan hasil *pack carburizing*. Dari pengujian tersebut, akan didapatkan nilai laju keausan yang selanjutnya menjadi parameter penentu dalam menilai sifat ketahanan aus dari *base material* baja AISI 4340 dan spesimen yang telah melalui proses *pack carburizing*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Spektrometri

Kandungan komposisi kimia spesimen baja diperiksa dengan alat Spektrometri untuk menentukan kesamaan dengan standar AISI 4340. Tabel 1 memperlihatkan data hasil uji spektrometri dari spesimen baja yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data Hasil Uji Spektrometri

No	Unsur	Nilai (%)
1	Carbon (C)	0,43
2	Silicon (Si)	0,22
3	Sulfur (S)	0,020
4	Phosporus (P)	0,009
5	Manganese (Mn)	0,86
6	Nickel (Ni)	0,09
7	Chromium (Cr)	1,05
8	Molybdenum (Mo)	0,17
9	Aluminium (Al)	0,21
10	Ferro (Fe)	96,941

Dari tabel 1 tersebut, spesimen baja memiliki kandungan komposisi kimia utama yang terdiri dari ferro (96,941 %) dan karbon (0,43 %). Oleh karena itu, hasil uji spektrometri ini menunjukkan bahwa spesimen baja yang digunakan dalam penelitian ini telah sesuai dengan standar AISI 4340 yang diklasifikasikan sebagai *medium carbon steel*[6].

Hasil Pengamatan Struktur Mikro

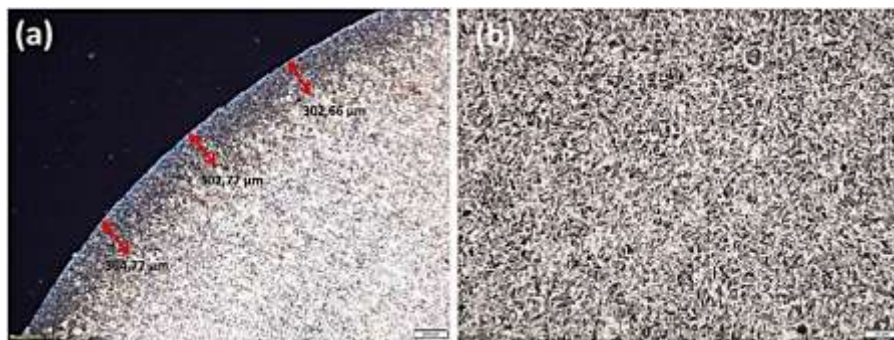
Proses pengamatan struktur mikro dilakukan dengan metode metalografi terhadap spesimen baja AISI 4340 tanpa perlakuan dan hasil karburisasi. Proses ini sangat penting untuk mempelajari transformasi struktur mikro yang diakibatkan oleh proses *pack carburizing* pada baja AISI 4340. Untuk membandingkan perubahan struktur mikro, gambar spesimen baja AISI 4340 tanpa perlakuan serta hasil *pack carburizing* menggunakan arang dan katalis BaCO₃.

Gambar 2 memperlihatkan struktur mikro baja AISI 4340 tanpa perlakuan. Struktur mikro ini menjadi acuan untuk melihat fasa pembentuk utama baja AISI 4340 sebelum dilakukan proses *pack carburizing*.



Gambar 2. Struktur Mikro Baja AISI 4340 Tanpa Perlakuan

Seperti terlihat pada Gambar 2, baja AISI 4340 tanpa perlakuan terdiri dari beberapa fasa pembentuk yaitu ferrit, bainit, dan karbida (Fe₃C) berbentuk *spherical*[7]. Fasa ferrit yang terbentuk berjenis ferrit *Widmanstatten* dengan berbentuk kasar dan tajam[8]. Dari struktur mikro ini juga dapat diobservasi bahwa batas butir terbilang kasar dengan struktur relatif heterogen.



Gambar 3. Struktur Mikro Baja AISI 4340; (a) Ketebalan Lapisan *Pack Carburizing*; (b) Hasil *Pack Carburizing*

Gambar 3(a) menunjukkan ketebalan lapisan *pack carburizing* pada tiga lokasi permukaan berbeda yang merupakan hasil dari difusi karbon terhadap spesimen baja AISI 4340. Dari hasil pengamatan struktur mikro, ketebalan lapisan *pack carburizing* mencapai rerata 303,4 µm dan mengindikasikan bahwa proses *pack carburizing* telah menginisiasi difusi atom karbon (C) pada permukaan baja AISI 4340. Hal ini juga membuktikan bahwa proses *pack carburizing* telah berhasil dilakukan pada baja AISI 4340.

Gambar 3(b) memperlihatkan struktur mikro dari baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* dengan dominasi fasa ferrit dan karbida (Fe_3C) yang berbutir halus. Perubahan konsentrasi fasa karbida (Fe_3C) disebabkan oleh transformasi fasa bainit secara perlahan karena efek pendinginan sangat lambat didalam tungku *furnace*. Dengan demikian, baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* terindikasi akan lebih kuat dan ulet bila dibandingkan baja AISI 4340 tanpa perlakuan.

Hasil Uji Kekerasan

Nilai kekerasan didapatkan dari uji kekerasan (*hardness test*) pada tiga lokasi berbeda dari spesimen baj AISI 4340 yang kemudian dilakukan perhitungan nilai rerata kekerasannya. Perbandingan nilai rerata kekerasan baja AISI 4340 tanpa perlakuan dan hasil *pack carburizing* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan

Baja AISI 4340 tanpa perlakuan dan hasil *pack carburizing* memiliki nilai rerata kekerasan berturut-turut sebesar 244,5 HV dan 325,4 HV. Perbedaan nilai rerata kekerasan ini menggambarkan efek peningkatan yang signifikan pada baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* bila dibandingkan dengan baja AISI 4340 tanpa perlakuan. Baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* menggunakan arang dan katalis BaCO_3 memperlihatkan nilai rerata kekerasan tertinggi (325,4 HV) yang berkaitan erat dengan banyaknya penetrasi atom karbon pada proses *pack carburizing* ke dalam spesimen baja AISI 4340[9]. Selain itu, transformasi bainit menjadi karbida yang

(Fe₃C) lebih halus turut menyumbangkan peningkatan nilai kekerasan baja AISI 4340 hasil *pack carburizing*[10].

Hasil Uji Keausan

Ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan salah satu bagian penting untuk dievaluasi dalam penentuan keberhasilan proses *pack carburizing*. Untuk mendapatkan data ketahanan aus dari masing-masing spesimen baja AISI 4340, uji keausan (*wear test*) telah dilakukan dan menghasilkan data laju keausan (*wear rate*) yang selanjutnya untuk mengevaluasi sifat ketahanan aus[11]. Pada Gambar 5 dapat dilihat perbandingan laju keausan dari baja AISI 430 tanpa perlakuan dan hasil *pack carburizing*.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Laju Keausan

Baja AISI 4340 tanpa perlakuan menunjukkan laju keausan tertinggi sebesar 0,0533 mm³/menit yang mengindikasikan bahwa spesimen ini memiliki ketahanan aus yang kurang baik. Sementara itu, baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* menunjukkan laju keausan terendah sebesar 0,0356 mm³/menit dibandingkan dengan baja AISI 4340 tanpa perlakuan. Fenomena ini memperlihatkan bahwa baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* memiliki sifat ketahanan aus yang sangat baik. Perubahan sifat ketahanan aus yang signifikan terjadi karena kapabilitas arang dan katalis BaCO₃ untuk mengoptimalkan proses *pack carburizing* sehingga difusi atom karbon (C) pada permukaan baja AISI 4340 berjalan dengan baik[12, 13].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* menunjukkan perubahan struktur mikro dan peningkatan sifat mekanik yang dibuktikan dengan nilai kekerasan tertinggi dan sifat ketahanan aus yang baik. Perubahan struktur mikro terjadi dengan terbentuknya lapisan karbon beserta dominasi fasa ferrit dan karbida (Fe₃C) hasil dari *pack carburizing* yang berefek pada meningkatnya nilai kekerasan dan ketahanan aus pada baja AISI 4340. Dengan demikian, baja AISI 4340 hasil *pack carburizing* akan cenderung memiliki *lifetime* yang lebih baik pada aplikasi pembebanan yang kontinyu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. d. A. P. de Campos *et al.*, "Evaluation of Nitriding, Nitrocarburizing, Organosilicon Interlayer, Diamond-Like Carbon Film and Duplex Plasma Treatment in the Wear and Corrosion Resistance of AISI 4340 Steel," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 29, no. 12, pp. 8107-8121, 2020.
- [2] R. Karimbaev, Y.-S. Pyun, E. Maleki, O. Unal, and A. Amanov, "An improvement in fatigue behavior of AISI 4340 steel by shot peening and ultrasonic nanocrystal surface modification," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 791, 2020.

- [3] Ramli, C.-C. Wu, and A. Shaaban, "Mechanical Properties of Pack Carburized SCM 420 Steel Processed Using Natural Shell Powders and Extended Carburization Time," *Crystals*, vol. 11, no. 9, 2021.
- [4] S. Mazuli and B. D. Haripriadi, "Analisa Pengaruh Arang Kayu Bakau, Arang Tempurung Kelapa Dan Arang Kayu Leban Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 128-137, 2020.
- [5] Supriyono, "The Effects Of Pack Carburizing Using Charcoal On Properties Of Mild Steel," *Media Mesin : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* vol. 19, no. 1, pp. 38-42, 2018.
- [6] A. Kumar, P. Jayakumar, and V. K. Sharma, "Microstructure and properties of thermomechanically treated and bake hardened AISI 4340 steel," *Materials Today: Proceedings*, vol. 18, pp. 848-860, 2019.
- [7] M. Eckert, M. Krbata, I. Barenzy, J. Majerik, A. Dubec, and M. Bokes, "Effect of Selected Cooling and Deformation Parameters on the Structure and Properties of AISI 4340 Steel," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 23, Dec 7 2020.
- [8] B. Bandanadjaja and D. Idamayanti, "Pengaruh Proses Normalising dan Tempering Ganda Terhadap Peningkatan Nilai Modulus of Toughness Baja AISI 4340," *TEKNIK*, vol. 41, no. 2, pp. 134-141, 2020.
- [9] W. Weriono, R. Rinaldi, and S. Sepfitrah, "Evaluasi Pengujian Kekerasan Material Aisi 4140 Menggunakan Full Factorial Design Of Experiment," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 23-28, 2020.
- [10] Supriyono and Jamasri, "Holding time effect of pack carburizing on fatigue characteristic of v-notch shaft steel specimens," in *The 3rd International Conference on Engineering, Technology and Industrial Application (ICETIA)*, Surakarta, Indonesia, 2017.
- [11] Wardoyo and Sumpena, "Pengaruh Variasi Temperatur Quenching Pada Aluminium Paduan AlMgSi - Fe12% Terhadap Keausan," *Jurnal ENGINE*, vol. 2, no. 1, pp. 33-39, 2018.
- [12] M. Asrofi, M. Agus Vian Hidayatulloh, G. Jatisukamto, H. Sutjahjono, and R. Rei Sakura, "The effect of temperature and volume fraction of mahoni (*Swietenia mahogani*) wood charcoal on SS400 steel using pack carburizing method: Study of hardness and microstructure characteristics," *AIMS Materials Science*, vol. 7, no. 3, pp. 354-363, 2020.
- [13] S. Sinarep and S. Darmo, "The Influence Of Grain Size Corn Cob Charcoal On Surface Hardness Of Pack Carburizing Mild Steel SS400," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 10, no. 2, pp. 1307-1316, 2020.