



Pengerasan Baja AISI 316L Menggunakan Metode Pack Carburizing Bersumber Karbon Kayu Mahoni

Muhammad Ghufro¹, Istiroyah¹, Rena Wahyu Dhiaul In'am¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. Koresponding Author Email: mghufro@ub.ac.id

Abstract

Increasing the hardness of steel alloys can be done by increasing the carbon content on the surface. The hardness of AISI 316 L steel which has an initial hardness of 189 HV₃ can be increased by enhancing the amount of carbon on the surface with the pack carburizing method. In this research mahogany wood is used as a source of activated carbon obtained by heating and sifting using 150 mesh filter. Pack Carburizing were carried out at high temperatures ie 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C for 8 and 16 hours which were then tested using a micro hardness Vickers tester. All carburizing pack specimens experienced an increase in hardness compared to untreated specimens with an add-in range of 24-367 HV₃. The highest hardness was obtained by heating for 16 hours at 700°C. Contact angle test results showed a change in surface properties from hydrophilic to hydrophobic for all samples while from optical microscopy results obtained the grain size distribution of fewer than 60 µm with a dominant range of 15-25 µm.

Keywords: Hardening, Pack Carburizing, AISI 316L, acyivated carbon and Mahogany wood

Abstrak

Peningkatan kekerasan paduan baja dapat dilakukan dengan meningkatkan kandungan karbon dipermukaanya. Baja AISI 316 L yang memiliki kekerasan awal 189 HV₃ dapat ditingkatkan kekerasannya melalui peningkatan jumlah karbon dipermukaan dengan metode pack carburizing. Pada penelitian ini kayu mahoni digunakan sebagai sumber karbon aktif yang diperoleh dengan pemanasan dan pengayakan 150 mesh. Pack carburizing dilakukan pada suhu tinggi yakni 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C selama 8 dan 16 jam yang kemudian dilakukan uji kekerasan menggunakan micro vickers hardness tester. Semua spesimen hasil pack carburizing mengalami kenaikan kekerasan dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan dengan range kenaikan sebesar 24-367 HV₃. Kekerasan tertinggi diperoleh pada pemanasan selama 16 jam pada suhu 700°C. Hasil pengujian sudut kontak menunjukkan adanya perubahan sifat pada permukaan dari hidrofilik ke hidrofobik untuk semua sampel sementara dari hasil mikroskop optik diperoleh distribusi ukuran butir kurang dari 60 µm dengan dominan range 15-25 µm.

Kata Kunci: Pengerasan, karburasi, AISI 316L, Karbon Aktif dan Kayu Mahoni.

1. Pendahuluan

Permintaan baja tahan karat dengan sifat mekanik yang lebih baik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi indonesia yang terus bertahan pada angka 5,2% pada tahun 2018 lebih tinggi dari pada pertumbuhan ekonomi dunia yang hanya pada kisaran 3,6 % (Khairani, 2019). Meskipun adanya ketidakpastian dunia akibat pandemi covid-19 pada tahun 2020 yang menyebabkan pertumbuhan ekonomi negatif pada kuartal I dan kuartal II, namun Indonesia berhasil rebound pada kuartal II dengan pertumbuhan ekonomi sebesar 3,49 % (yoy) (Pramusinta, 2020). Kebutuhan akan *Stainless Steel* (SS) meningkat dikarenakan tingkat penggunaannya yang bermacam-macam mulai dari industri pembuatan makanan, nuklir, infrastruktur dan medis. Hal ini dikarenakan SS memiliki beberapa kelebihan yakni

sifatnya yang tahan karat, tidak mudah aus dan memiliki kekuatan mekanik yang baik (Saravanan, 2018; Hsu, 2013; Lin, 2017) contohnya baja tahan karat AISI 316L. Baja tahan karat AISI 316L merupakan baja dengan kandungan karbon mencapai 0,03% namun memiliki nilai kekerasan yang terbilang rendah (Widodo, 2015) sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan sifat kekerasannya untuk penggunaan lebih luas. Beberapa metode yang telah dilakukan adalah dengan plasmanitriding (Istiroyah, 2014; Valdes, 2019), *coating film* (Niu, 2015), laser (Moradi, 2019) maupun dengan karburasi (Istiroyah, 2018). Metode karburasi merupakan metode pengerasan baja dengan menggunakan karbon aktif halus pada proses pemanasan. Metode karburasi telah banyak dipakai sebelumnya untuk meningkatkan kemampuan mekanik paduan seperti IS-2062 *Low Carbon Steel* (Srivastava, 2019), paduan berat 95W–3,4Ni–1,6Fe (Wang, 2016) dan Baja P91 (Srinivas, 2020). Metode ini terbukti mampu berpengaruh terhadap mikrostruktur dan meningkatkan kekuatan mekaniknya termasuk kekerasan bahan selain proses pengerjaannya yang relatif mudah dan terjangkau. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mujiyono, 2008, serbuk arang tempurung kelapa berukuran 250-600 mikrometer relatif lebih efektif untuk media karburasi. Hal ini disebabkan oleh faktor luas permukaan kontak serbuk dengan benda uji dan kelancaran pergerakan oksigen diantara celah-celah serbuk media karburasi

Proses modifikasi permukaan baja dengan metode karburasi (*pack carburizing*) merupakan peristiwa difusi padatan dimana serbuk karbon masuk ke permukaan melalui beberapa tahapan. Awalnya saat dilakukan pemanasan karbon menyerap energi panas dan bereaksi dengan oksigen yang terdapat di udara membentuk karbon monoksida. Kemudian senyawa ini bereaksi dengan besi di permukaan baja membentuk Fe_3C dan membuang gas karbondioksida. Senyawa Fe_3C ini yang memiliki sifat keras padapaduan baja (Nurjito dan Leman, 2008). Menurut Kuswanto ukuran karbon yang efektif untuk proses karburasi adalah ukuran karbon yang lolos ayakan 50 mesh. Proses karburasi ini akan meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan baja, sedangkan pada bagian dalamnya akan tetap ulet (Kuswanto, 2010). Laporan penelitian penggunaan karbon dengan ukuran lebih kecil masih sangat terbatas sehingga penelitian ini mencoba menggunakan ukuran karbon aktif lebih kecil untuk memperkeras baja AISI 316L.

Disisi lain, kayu mahoni merupakan salah satu jenis kayu yang memiliki kandungan karbon cukup tinggi mencapai 48,1% (Matthews, 1993) dan dapat digunakan sebagai sumber karbon lewat proses pembakaran. Kayu mahoni dapat diperoleh dengan mudah dari limbah industri kayu seperti industri mebel, kayu konstruksi, kayu gergajian dan olahan lainnya (Pujiarti, 2005). Penggunaan kayu mahoni sebagai karbon aktif telah dilakukan dan digunakan sebagai bahan absorbent air namun pemanfaatannyasebagai bahan pengerasan baja belum banyak dilakukan.

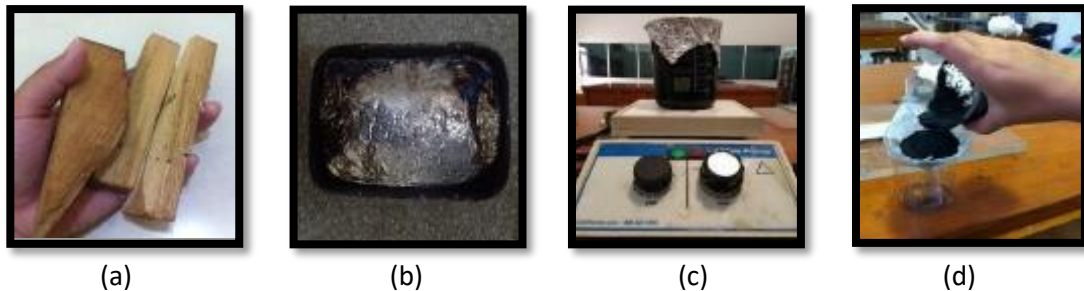
Pada penelitian ini akan dilakukan pengerasan baja 316L dengan metode karburasi padat pada 4 variasi suhu 700°C, 750°C, dan 800°C, 850°C dengan variasi waktu tahan 8 jam dan 16 jam dengan sumber karbon kayu mahoni yang lolos ayakan dengan ukuran 150 mesh (<297 mikrometer). Suhu tinggi dipilih sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya namun menggunakan bahan berbeda yakni pasta karburasi berupa campuran sodium carbonate, barium carbonate, dan air dengan penahanan waktu 6 jam (Alias, 2013). Karburisasi dapat terjadi walaupun tanpa energizer, karena temperatur yang tinggi ini mula-mula karbon teroksidasi oleh udara yang terperangkap dalam kotak menjadi CO_2 (Rasid, dll, 2018). Diharapkan penggunaan suhu tinggi dengan waktu yang ditambahkan dari penelitian Alias dkk, 2013 bisa meningkatkan hasil karburasi tanpa perlu ditambahkan energizer. Penelitian ini bertujuan untuk membuat analisis terkait pengaruh karbon aktif kayu mahoni tanpa energizer dalam upaya pengerasan permukaan baja AISI 316 L dan menemukan suhu tinggi efektifnya.

2. Metode

2.1 Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Kayu Mahoni

Kayu Mahoni dipilih dari bagian utama bukan cabang pohon untuk memastikan memiliki kandungan karbon yang tinggi dan banyak ditemui sebagai limbah hasil mebel. Setelah dipotong-potong pada ukuran kecil, kadar air kayu mahoni dihilangkan dengan cara pemanasan selama 1,5 jam pada suhu

120°C menggunakan oven. Selanjutnya, kayu mahoni dipanaskan dengan furnace pada suhu 500°C selama 2 jam untuk menghilangkan *volatile matter* dan memperoleh arang atau sumber karbon dengan kemurnian yang tinggi. Arang hasil pemanasan kemudian ditumbuk dan diayak dengan ukuran 150 mesh untuk memperoleh partikel dengan ukuran kurang dari $<297\ \mu\text{m}$. Serbuk karbon kemudian dimurnikan menggunakan 200 ml Na_2CO_3 1,5% untuk setiap 40 gram karbon selama 24 jam kemudian dicuci menggunakan akuades dan disaring sebelum dikeringkan dengan oven pada suhu 120 °C.



Gambar 1: Proses pembuatan serbuk karbon aktif (a) pemilihan kayu mahoni (b) hasil pemanasan pada suhu 500°C selama 2 jam (c) pemurnian karbon (d) penyaringan.

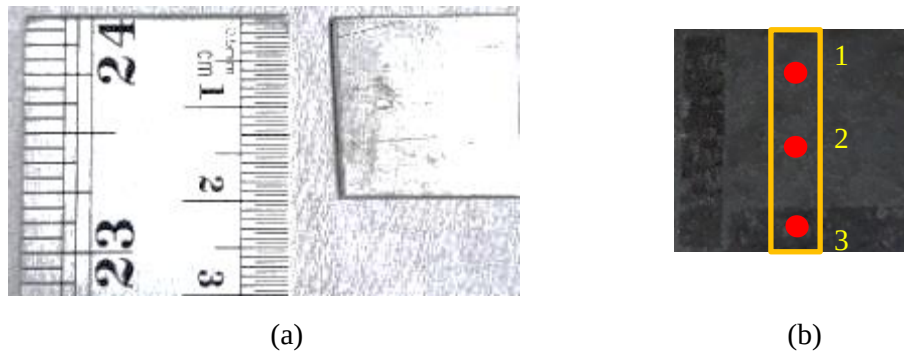
Karakterisasi meliputi uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen yang telah dilakukan proses karburasi, uji struktur mikro untuk mengetahui perubahan fasa yang terbentuk serta distribusi ukuran butir, dan uji sudut kontak untuk mengetahui sifat permukaan bahan. Hasil pengujian selanjutnya akan dianalisa dengan membandingkan antara spesimen hasil karburasi dengan spesimen tanpa perlakuan

2.2 Karburasi Baja AISI 316 L dengan Karbon kayu Mahoni

Baja AISI 316L yang telah dipotong kecil-kecil dengan ukuran $2 \times 2 \times 0,1\ \text{cm}^3$ di bersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan durasi 5 menit dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 30 menit kemudian disimpan pada suhu kamar. Sampel baja kemudian dimasukkan kedalam wadah keramik yang telah diisi karbon aktif sehingga semua sampel terkubur di dalam karbon aktif berbahan dasar mahoni tanpa energizer. Penelitian serupa pernah dilakukan namun pada suhu rendah 400°C (Istiroyah, 2018). Selanjutnya wadah ditutup dan di beri pasta tanahliat disekeliling bibir wadah keramik untuk mencegah kontaminasi dari luar. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan furnace pada suhu 700°C, 750°C, dan 800°C, 850°C dan penurunan suhu secara lambat (*annealing*) dengan variasi waktu tahan 8 jam dan 16 jam.

2.3 Karakterisasi Baja AISI 316 L Hasil Karburasi

Karakterisasi meliputi uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen yang telah dilakukan proses karburasi, uji struktur mikro untuk mengetahui perubahan fasa yang terbentuk serta distribusi ukuran butir, dan uji sudut kontak untuk mengetahui sifat permukaan bahan. Pengujian mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop OLYMPUS BX51 setelah sebelumnya dilakukan pengampelasan dan proses etsa dengan larutan HCl 3%, HNO_3 dan akuades dengan perbandingan 3:1:1 selama 90 detik. Hasil foto sampel kemudian dilakukan pengukuran ukuran butir pada 8 arah tampak lintang untuk memperoleh distribusi ukuran butir (*grain size*) pada sampel dan penebalan pada batas butir setelah pemanasan yang dikenal dengan metode *intercept linear*. Kekerasan sampel diuji menggunakan dilakukan dengan menggunakan *micro vickers hardness tester* ESEWAY dengan standar uji ASTM E384 dengan load sebesar 300 gf selama 15 detik dengan pengambilan 3 titik pada arah vertikal (atas, tengah dan bawah) seperti yang terlihat pada gambar 2. Sifat hidrofobisitas permukaan juga diuji menggunakan uji sudut kontak dengan ditetesi air sebanyak 20 μl kemudian hasilnya diukur menggunakan aplikasi *Contact Angle Measurement*.

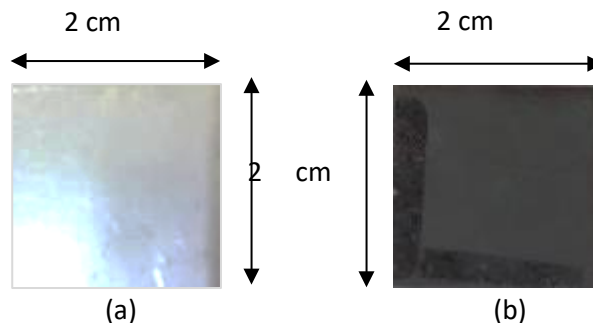


Gambar 2: (a) Pemotongan baja AISI 316L dengan ukuran luas 2x2 cm² dan (b) Penempatan titik identifikasi pada pengujian kekerasan sampel menggunakan *micro vickers hardness tester ESEWEY*.

3. Hasil dan Pembahasan

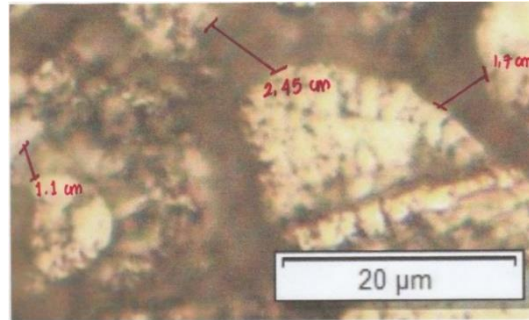
3.1 Mikrostruktur Baja 316L Sebelum dan Sesudah Perlakuan Karburasi

Baja AISI 316L memiliki kandungan komposisi kimia terdiri dari unsur $C \leq 0,030\%$, $Si \leq 1,0\%$, $Mn \leq 2,0\%$, $P \leq 0,045\%$, $S \leq 0,030\%$, Ni pada rentang 12,0-15,0%, Cr berkisar 16,0 - 18,0%, dan Mn berkisar 2,0-3,0% dimana salah satu keunggulannya adalah mudah dibersihkan (Sutowo, 2014). Karburasi padat pada suhu tinggi berhasil dilakukan pada 4 variasi pemanasan yakni pada suhu 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C selama 8 dan 16 jam menggunakan *furnace*. Tampak pada gambar 3 morfologi baja 316L sebelum dan sesudah perlakuan panas dimana baja yang semula memiliki warna perak terang (Gambar 3a) berubah menjadi hitam (Gambar 3b) tertutupi karbon mahoni yang tidak bisa dibersihkan dengan akuades biasa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi adsorpsi karbon pada permukaan baja AISI 316L dengan gaya adhesi yang kuat dan diharapkan atom karbon akan berdifusi masuk ke dalam matrik baja (Istiroyah, 2018).



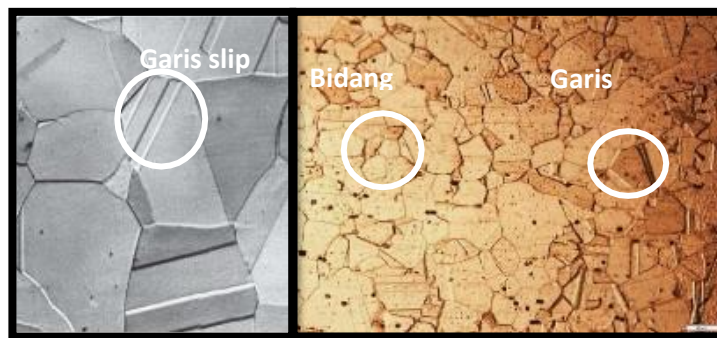
Gambar 3: Perubahan penampakan baja AISI 316L dalam proses karburasi (a) sebelum perlakuan panas berwarna perak terang (b) setelah perlakuan pemanasan 700°C 16 jam berwarna hitam tertutupi oleh karbon aktif.

Hasil mikroskop optik OLYMPUS BX51 dengan perbesaran 500 kali menunjukkan adanya butir-butir berbentuk garis slip pada permukaan baja yang menunjukkan bahwa AISI 316L memiliki fasa austenit dan memiliki ketebalan garis antar butir yang tipis yang sesuai dengan literatur pada gambar 5. Sementara itu gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan hasil uji mikrostruktur paduan baja 316L setelah perlakuan panas dengan berbagai macam variasi pemanasan menunjukkan adanya penebalan pada batas butir dengan range 1,2 μm hingga 4,8 μm dimana angka terbesar diperoleh pada pemanasan suhu 700°C selama 16 jam. Ketebalan interstisi karbon pada batas butir didapatkan dengan mengukur batas butir sampel pada setiap perlakuan seperti contoh pada gambar 4. Selanjutnya hasil pengukuran ketebalan ketiga interstisi karbon pada batas butir diubah ke dalam skala μm (dalam hal ini skala 20 μm setara dengan 7,25 cm).



Gambar 4: Ketebalan interstisi karbon pada batas butir untuk sampel dengan perlakuan panas pada suhu 700°C dan waktu tahan 16 jam.

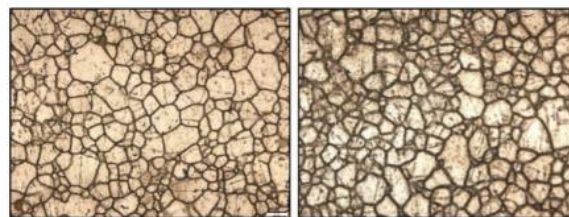
Tampak hasil proses karburising memiliki bentuk butir cenderung bulat dengan batas butir yang lebih tebal. Penebalan batas butir ini diakibatkan adanya proses difusi karbon melalui batas butir dan membentuk fasa Fe_3C di batas butir. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mujiyono, pada kasus karburasi dengan penurunan secara suhu lambat maka akan dominan diperoleh ferit hasil perubahan dari fasa austenite dengan struktur bulat dengan daya larut karbon yang rendah. Hal ini menyebabkan karbon keluar dari satuan sel FCC membentuk Fe_3C (Mujiyono, 2007). Hal ini diperkuat juga oleh pernyataan bahwa struktur ferit dapat mengandung karbida besi (Fe_3C) dan perlit yang berwarna gelap pada batas butirnya (ASM Handbook, 1992; Hay, 2016).



(a)

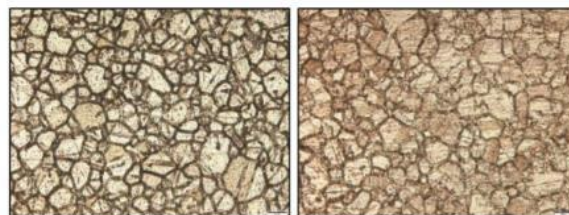
(b)

Gambar 5: Hasil foto sampel paduan baja (a) Struktur mikro baja austenit (Moradi, 2019) (b) sampel AISI316L sebelum perlakuan panas.



(a)

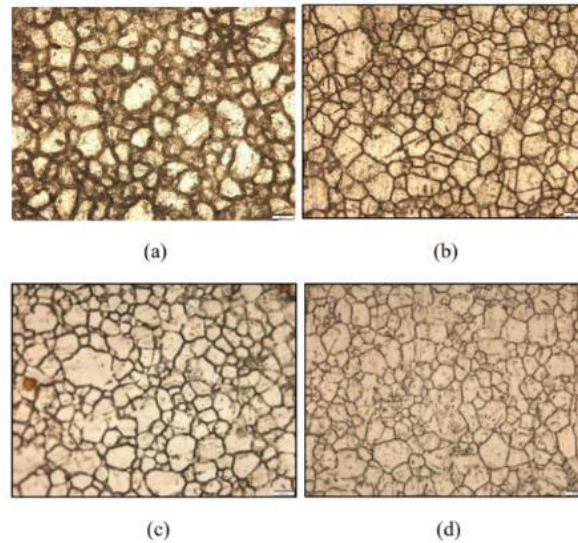
(b)



(c)

(d)

Gambar 6: Hasil foto struktur mikro sampel paduan baja setelah pemanasan pada lama pemanasan 8jam dan variasi suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d) 850°C



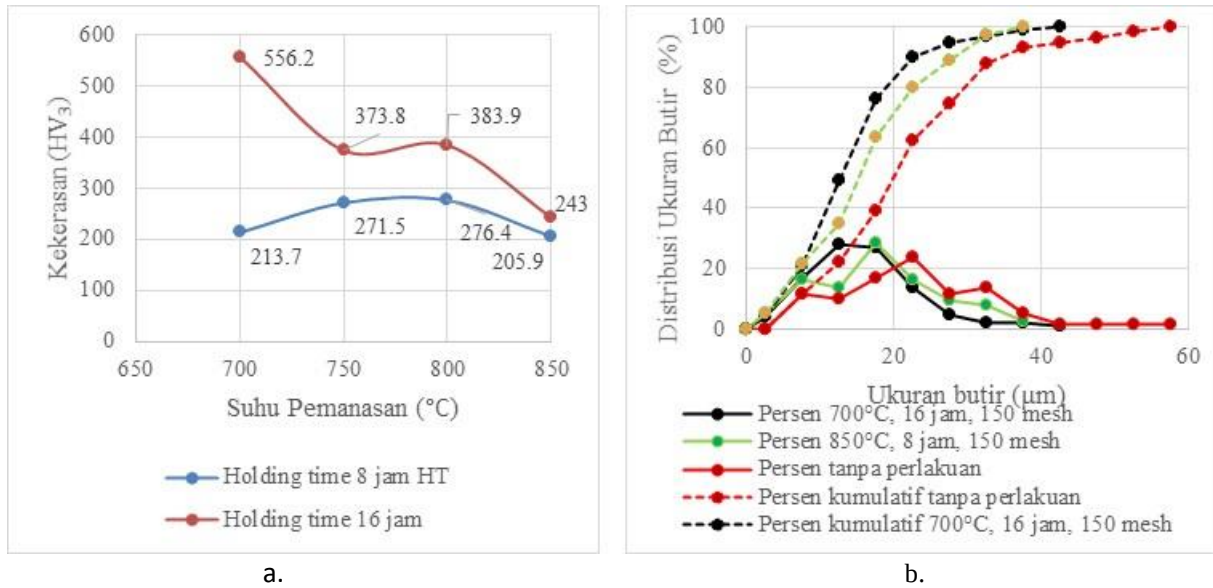
Gambar 7: Hasil foto struktur mikro sampel paduan baja setelah pemanasan pada lama pemanasan 16 jam dan variasi suhu a)700°C b)750°C c) 800°C d)850°C

3.2 Kekerasan Paduan Baja AISI 316L

Baja 316L dikenal sebagai baja tahan karat yang memiliki kekerasan relatif rendah. Hasil uji kekerasan menggunakan *micro vickers hardness tester* ESEWAY dengan load sebesar 300 gf untuk paduan baja AISI 316L mula-mula sebesar 189 HV₃. Perlakuan karburasi padat pada baja dengan suhu tinggi terbukti mampu menaikkan kekerasan paduan baja AISI 316L. Tampak pada gambar 8a merupakan hasil pengukuran kekerasan semua sampel dengan 4 variasi pemanasan dan 2 variasi waktu tahan berhasil menaikkan kekerasan sampel pada range 24-367 HV₃ (13 % - 195 %) dari nilai semula.

Bila dibandingkan, perlakuan waktu tahan 8 jam selalu memiliki kekerasan yang lebih kecil dibandingkan dengan waktu tahan 16 jam dengan selisih rata-rata 147 HV₃. Selisih ini cukup signifikan dan menunjukkan bahwa peranan waktu tahan sangat penting dimana waktu tahan berkorelasi langsung dengan difusi karbon sesuai dengan Hukum Fick 2. Semakin lama maka semakin banyak senyawa Fe₃C yang terbentuk dan nilai kekerasan bahan akan semakin naik. Sedangkan kenaikan suhu dari 700°C sampai 850°C tidak tampak adanya korelasi terhadap naiknya kekerasan meskipun suhu merupakan salah satu parameter semakin cepatnya difusi bahan. Suhu pada perlakuan ini lebih banyak berperan pada peristiwa perubahan fasa dari austenik ke ferit dan sementit (Fe₃C) di batas butir serta memperbesar ukuran butir sampel (lihat gambar 8b). Pembentukan fasa sementit inilah yang berperan utama di dalam kenaikan kekerasan sampel. Adapun ukuran partikel serbuk karbon yang lolos ayakan 150 mesh (ukuran < 297 µm) memiliki peranan mempercepat terjadinya difusi. (Altikasari, 2019)

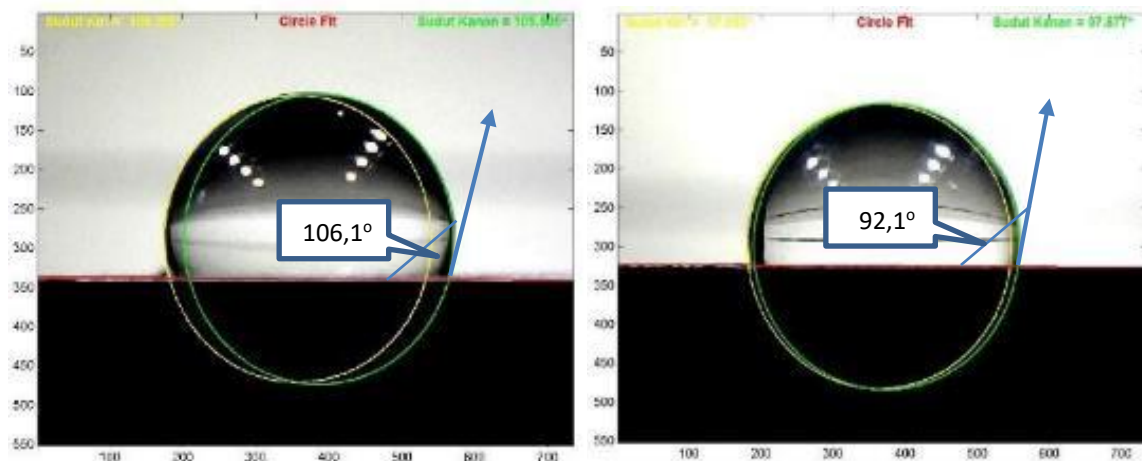
Gambar 8b memperlihatkan distribusi ukuran partikel hasil karburasi dimana suhu yang lebih kecil yakni 700°C selama 16 jam memperlihatkan distribusi ukuran lebih kecil dibandingkan suhu 850°C bahkan yang hanya pemanasan 8 jam saja. Dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa ukuran butir partikel <17,5 µm mendominasi sebanyak 76%, dimana pada suhu 850°C dengan penahanan 8 jam hanya 63% saja untuk ukuran sama, bahkan sampel dengan tanpa perlakuan hanya memiliki distribusi 39 % saja. Ukuran butir partikel yang lebih kecil dan ketebalan batas butir yang lebih tebal menjadikan sampel pada pemanasan 700°C selama 8 jam memiliki kekerasan terbesar hampir 3x lipat mula-mula.



Gambar 8: (a) Grafik hasil uji kekerasan dan (b) distribusi ukuran butir paduan baja AISI 316L.

3.3 Hidrofobisitas Paduan Baja AISI 316L

Salah satu kelebihan paduan baja adalah ketahanan yang tinggi terhadap korosi akibat hadirnya Cr dalam paduan tersebut. Disisi lain zat pengkorosi seperti air tetap menjadi perhatian utama dalam membuat paduan tahan karat dimana beberapa logam sengaja direkayasa untuk memiliki sifat hidrofobik atau superhidrofobik agar menolak air saat terjadi kontak (Suroto, 2017). Gambar 9 menunjukkan bahwa paduan baja pemanasan 8 jam memiliki sudut kontak lebih besar dibandingkan pemanasan pada suhu yang sama selama 16 jam meskipun keduanya memiliki sudut kontak > 90°. Perlu diketahui bahwa baja tanpa perlakuan panas memiliki sudut kontak 84,5° atau bersifat hidrofilik namun setelah dilakukan karburasi semua sampel memiliki sudut kontak > 90° atau bersifat hidrofobik. Dengan munculnya sifat hidrofobik ini maka baja hasil karburasi akan memiliki kemampuan tambahan tahan korosi karena sifatnya yang takut air selain kehadiran Cr pada AISI 316L. Nilai sudut kontak terbesar diperoleh pada pemanasan sampel pada suhu 700°C selama 8 jam dan yang terendah pada pemanasan 800°C selama 8 jam.



Gambar 9: Hasil uji sudut kontak untuk pemanasan (a) suhu 700°C selama 8 jam dan (b) suhu 700°C selama 16 jam.

Tabel 1: Analisis sudut kontak sampel paduan baja AISI 316L hasil karburasi padat dengan karbon berbahan dasar kayu mahoni.

Suhu (°C)	Waktu Tahan (jam)	Nilai Sudut Kontak (°)			
		1	2	3	Rata-rata
700	8	96,7	106,1	97,4	100,0
750	8	98,0	90,7	93,8	94,2
800	8	87,2	96,1	87,0	90,1
850	8	95,6	93,7	93,7	94,3
700	16	97,9	95,8	92,1	95,3
750	16	97,3	95,5	93,2	95,3
800	16	100,4	100,8	94,6	98,6
850	16	98,0	95,1	91,5	94,9

Perubahan sifat hidrofobisitas pada paduan baja AISI 316L terjadi dikarenakan distribusi ukuran butir baja AISI 316L setelah pemanasan mengalami pengurangan. Diketahui bahwa salah satu cara meningkatkan daya hidrofobisitas adalah dengan menurunkan ukuran butir atau membentuk lekukan pada permukaan (Abbas, 2020).

4. Kesimpulan

Metode *pack carburizing* berhasil digunakan sebagai metode pengerasan (*hardening*) pada baja AISI316L. Sumber karbon berasal dari limbah kayu mahoni yang telah diaktivasi lewat proses fisika dan kimiawi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja AISI 316 L mengalami peningkatan pada nilai kekerasannya dari 189 HV₃ menjadi 213 sampai 556 HV₃ untuk semua variasi perlakuan suhu dan durasi pemanasan. Adapun ukuran butir AISI 316 L memiliki distribusi pada range 15-25 µm. Permukaan baja AISI 316L memiliki sifat hidrofobik dari sebelumnya hidrofilik yang mana hal ini akan membantu ketahanan baja dari serangan air yang bersifat korosif.

Daftar Pustaka

- Abbas, M. Mehran, M. T. Moon, M. W. Byun, J. Y. Kim. S. H. (2020). Wettability control of modified stainless-steel surfaces for oxide catalyst carrier slurry coating *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 91 330–339
- Altikasari. B., (2018). Pengaruh Temperatur, Waktu Tahan Dan Ukuran Butir Karbon Terhadap Kekerasan Baja Tahan Karat Aisi 316l Menggunakan Metode Pack Carburizing Dengan Sumber Karbon Arang Bambu (Tugas Akhir), Malang: Universitas Brawijaya
- ASM Handbook. (1992). Metallography and Microstructures (9th Edition). ASM Internasional
- Hay, A., Arief, D. (2016) ‘Katalisator Cangkang Keong Mas Terhadap Sifat Mekanik Baja ST42 Melalui Proses Kaburasi’ *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol. 9 No. 1 39-43
- Lin, C. M., Li, J.C., Su, C.H., Chang, Y.H., Kai W.Y., and Chen, C.S., (2017) ‘Effects of Water Cooling On Microstructural Evolution, Hardness And Anti-Corrosion Properties Of Inconel 52 Fusion-Cladded AISI 316L Stainless Steel’ *Surface & Coatings Technology* 322 218–226
- Khairina, F., dkk. (2019). *Outlook Perekonomian Indonesia 2019: Meningkatkan daya Saing untuk Mendorong Ekspor*. Bandung: Kementerian Koordinator Perekonomian Indonesia
- Pramusinta, A.N, dkk. (2020). *Outlook Perekonomian Indonesia 2020: Pemulihan dan Transformasi Nasional*. Jakarta: Kementerian Koordinator Perekonomian Indonesia

- Saravanan M, Devaraju A, Venkateshwaran N, Krishnakumari A and Saarvesh J., (2018) 'A review on recent progress in coatings on AISI austenitic stainless-steel' in *Materials Today: Proceedings of ICAFM 2017* 5 14392–14396 Los Angeles, United State
- Hsu, J.-P., Wang, D., Kahn, H., Ernst, F., Michal G.M., and Heuer. A.H., (2013) 'Fatigue crack growth in interstitially hardened AISI 316L stainless steel' *International Journal of Fatigue* 47 100–105
- Istiroyah, I.N.G. Wardana and Santjojo, D.J. (2014) 'Comparison of AISI 316L Plasma Nitriding Behavior in Low and Medium Temperature' *Applied Mechanics and Materials* 493 755-760
- Istiroyah, Pamungkas, M A., Saroja, G., Ghufro, M., and Juwono, A. M., (2018) 'Characteristic of Low Temperature Carburized Austenitic Stainless Steel' in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 299 012048, Malang, Indonesia: BASIC 2018
- Kuswanto, B., (2010) *Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST 37 Dengan Proses Pack Carburizing* (Thesis) Universitas Diponegoro: Semarang
- Matthews, G., (1993) 'The Carbon Content of Trees Forestry' *Commission technical paper* 4 1–10
- Moradi, M., Arabi, H., Nasab, S.J., and Benyounisc, K.Y., (2019) 'A comparative study of laser surface hardening of AISI 410 and 420 martensitic stainless steels by using diode laser' *Optics and Laser Technology*. 111 347–357
- Mujiyono dan Sumowigdado, A.L., (2007) 'Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat pada Baja Karbon Rendah dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa' *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.10 No.1:8–1
- Nurjito dan Leman, A. (2008) 'Campuran Arang Tempurung Kelapa Bekas dan Arang Tempurung Kelapa Baru untuk Media Karburasi Baja Karbon Rendah'. *Media Teknika* 8 1 52–60.
- Niu, W., Lillard, R.S., Li, Z., and Ernst, F., (2015) 'Properties of the Passive Film Formed on Interstitially Hardened AISI 316L Stainless Steel' *Electrochimica Acta* 176 410–419
- Pujiarti, R., dan Sutapa, J. P. G., (2005) 'Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) sebagai Bahan Penjernih Air' *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kayu Tropis* 3 2 33–38
- Srivastava, K., Sinha, A.A., Sahani, R., (2021) 'Effect of heat treatment on hardness and toughness of EN8 steel' in *Materials Today: Proceedings of Second International Conference on Recent Advances in Materials and Manufacturing 2020*, Tamil Nadu, India: ICRAMM 2020
- Srinivas, K. M., Bharath, S., Chaitanya, P.N.V. K., Pramod, M., Subbiah, Ram. (2020) 'Improving tribological properties of P91 steels through carburizing process' in *Materials Today: Proceedings of First International conference on Advanced Lightweight Materials and Structures* 27 1575–1578, Hyderabad, India: ICALMS 2020
- Rasid, M., Zainuddin dan Guntur, R.M. (2018) 'Pengaruh Proses Pack Carburizing Menggunakan Media Batubara Terhadap Kekerasan Pisau Kuduk Khas Daerah Gedung Agung Lahat' *Jurnal Austenit* Vol 10, No 2, Oktober 2018
- Suroto, B. J., (2017) 'Pengaruh Nilai Wettability Pada Pool Boiling Heat Transfer Studi Kasus Hydrophobic, Hydrophilic Dan Superhydrophilic' *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* 01 01 65 – 69
- Sutowo, C., Ikhsan, M. and Kartika, I. (2014) 'Karakteristik Material Biokompatibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate' in *Perosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi* Jakarta, Indonesia: SEMNASTEK 2014
- Valdés, F., Amador, M., Rodríguez-Castro, D. A., Arzate-Vázquez, G.A., Campos-Silva I., and Nava-Sánchez, J. L., (2019) 'Standing contact fatigue behavior of nitrided AISI 316L steels' *Surface & Coatings Technology* 377 124871

- Wang, G. H., Qu, S.G., He, R. L., Hu, K., Li, X. G. (2016) 'Effect of carburization on microstructure and rolling contact fatigue property of 95W-3.4Ni-1.6Fe heavy alloy' *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 26 3161-3169
- Widodo, T. D., Raharjo, D., Kusumaningsih, H., dan Rizky, E. R., (2015) Modifikasi Kekerasan Baja TahanKarat AISI 316L dengan Menggunakan Proses Steel Ball Peening' in *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)* Banjarmasin 37