

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA KARBURASI
DAN *HOLDING TIME PACK CARBURIZING* TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
PADA *STAINLESS STEEL 316L***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Ahmad Faishol Mubarak
3334200045

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA KARBURASI
DAN *HOLDING TIME PACK CARBURIZING* TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
PADA *STAINLESS STEEL 316L***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197406292003121001

Pembimbing II



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI MEDIA KARBURASI
DAN *HOLDING TIME PACK CARBURIZING* TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
PADA *STAINLESS STEEL 316L***

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Ahmad Faishol Mubarak

3334200045

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 13 Januari 2025

Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji II : Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji III : Prof. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D. Tech.



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Teknik

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut :

Judul : Pengaruh Variasi Komposisi Media Karburasi dan
Holding Time Pack Carburizing Terhadap Kekerasan
dan Struktur Mikro Pada *Stainless Steel 316L*

Nama Mahasiswa : Ahmad Faishol Mubarak

NIM : 3334200045

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 14 Desember 2024



Ahmad Faishol Mubarak

NIM. 3334200045

ABSTRAK

Austenitic stainless steel merupakan baja tahan karat yang banyak digunakan dalam dunia industri maupun non-industri. *Austenitic stainless steel* banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, sifat mampu bentuk yang baik, dan kemampuan las yang cukup baik. SS316L merupakan salah satu material *austenitic stainless steel*. *Stainless steel* 316L ini memiliki kandungan karbon yang rendah sehingga perlu penambahan unsur lain untuk meningkatkan kekerasan dari *stainless steel* jenis ini. *Pack carburizing* merupakan proses penambahan karbon pada permukaan baja karbon rendah melalui proses difusi pada temperatur *austenitic*. Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur 950°C dengan variasi komposisi 60% arang ditambah 40% katalis, 70% arang ditambah 30% katalis, dan 80% arang ditambah 20% katalis; serta *holding time* selama 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Pengujian yang digunakan meliputi uji kekerasan, struktur mikro, dan *case depth*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 164 HV pada spesimen dengan variasi komposisi media karburasi 80% serbuk arang tempurung kelapa ditambah dengan 20% BaCO₃ dengan *holding time pack carburizing* selama 4 jam. Nilai *case depth* tertinggi diperoleh oleh spesimen dengan variasi komposisi media karburasi 70% serbuk arang tempurung kelapa ditambah dengan 30% BaCCO₃ dengan nilai sebesar 39,064µm. Pada sampel SS316L setelah proses *pack carburizing* memiliki struktur mikro *austenite* yang kaya akan karbon dan juga terdapat karbida yang terletak pada batas butir.

Kata Kunci: SS316L, *Pack Carburizing*, Tempurung Kelapa, Kekerasan, Struktur Mikro

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Komposisi Media Karburasi dan *Holding Time Pack Carburizing* Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada *Stainless Steel 316L*” ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Dalam Penyelesaian skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada pihak-pihak terkait, antara lain:

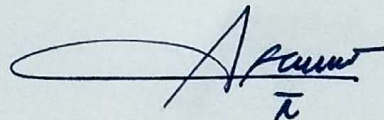
1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
3. Bapak Prof. Alfirano, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing pertama dan kedua yang membimbing penulis dalam penelitian hingga menyelesaikan skripsi ini;

4. Keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moril, semangat, dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
5. Teman-teman *Agagon* yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis, serta pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sebagai manusia biasa Penulis menyadari penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh Penulis. Oleh karenanya atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini, Penulis memohon maaf dan bersedia menerima kritikan yang membangun.

Terakhir, harapan Penulis, semoga penulisan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Cilegon, 14 Desember 2024



Ahmad Faishol Mubarak

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Baja	6
2.2 <i>Stainless Steel</i>	7
2.2.1 Pengaruh Unsur Paduan	9
2.3 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	10
2.4 <i>Case Hardening</i>	12
2.5 <i>Pack Carburizing</i>	13
2.6 Difusi.....	15
2.7 Arang Tempurung Kelapa.....	18
2.8 Struktur Mikro.....	19
2.9 Kekerasan	23
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir	27
3.2 Alat dan Bahan.....	28

3.2.1	Alat	28
3.2.2	Bahan	28
3.3	Prosedur Penelitian.....	29
3.3.1	Pemotongan Sampel	29
3.3.2	Penyiapan Media Karburasi.....	29
3.3.3	Proses <i>Pack Carburizing</i>	30
3.3.4	Pengujian Sampel	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Kekerasan	33
4.2	Hasil Struktur Mikro	38
4.3	Hasil <i>Case Depth</i>	44
BAB V KESIMPILAN DAN SARAN		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN A.....		54
PERHITUNGAN.....		54
LAMPIRAN.....		58
DATA HASIL		58
LAMPIRAN C		58
GAMBAR ALAT DAN BAHAN		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fasa <i>Austenite</i>	11
Gambar 2. 2 Proses Pack Carburizing	15
Gambar 2. 3 Proses Difusi Atom (<i>vacancy diffusion</i>).....	16
Gambar 2. 4 Proses Difusi Atom (<i>interstitial diffusion</i>).....	16
Gambar 2. 5 Pengaruh Waktu Terhadap <i>Case Depth</i> Pada Temperatur 925°C....	17
Gambar 2. 6 Arang Tempurung Kelapa.....	18
Gambar 2. 7 Struktur Mikro AISI 316L Tanpa Perlakuan	19
Gambar 2. 8 Diagram Fe-Fe ₃ C.....	21
Gambar 2. 9 Struktur Mikro <i>Austenitic Stainless Steel</i> Setelah Karburasi	22
Gambar 2. 10 SEM <i>Stainless Steel</i> 316L Setelah Proses Karburasi	23
Gambar 2. 11 Pengaruh Temperatur Terhadap Kekerasan	24
Gambar 2. 12 Profil Kekerasan Bahan Karburasi.....	25
Gambar 2. 13 Pengaruh Komposisi Media Karburasi	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2 Sampel SS316L.....	29
Gambar 3. 3 Media Karburasi.....	30
Gambar 3. 4 Proses <i>Pack Carburizing</i>	30
Gambar 4. 1 Nilai Kekerasan Sampel 80%K+20%A	35
Gambar 4. 2 Nilai Kekerasan Sampel 70%K+30%A	36
Gambar 4. 3 Nilai Kekerasan Sampel 60%K+40%A	36
Gambar 4. 4 Struktur Mikro SS316L Tanpa Perlakuan.....	39
Gambar 4. 5 Hasil Mikrostruktur Variasi Holding time 2 Jam, dan Komposisi A) 60A:40K, B) 70A:30K, C) 80A:20K	40
Gambar 4. 6 Hasil Mikrostruktur Variasi Holding time 3 Jam, dan Komposisi A) 60A:40K, B) 70A:30K, C) 80A:20K	41
Gambar 4. 7 Hasil Mikrostruktur Variasi Holding time 4 Jam, dan Komposisi A) 60A:40K, B) 70A:30K, C) 80A:20K	43
Gambar 4. 8 Pengaruh <i>Holding Time</i> Terhadap Nilai <i>Case Depth</i>	46
Gambar C. 1 APD	70

Gambar C. 2 Ayakan.....	70
Gambar C. 3 Cawan Porselen	70
Gambar C. 4 Cetakan	70
Gambar C. 5 Ember.....	70
Gambar C. 6 <i>Furnace</i>	70
Gambar C. 7 <i>Hair Dryer</i>	70
Gambar C. 8 Kertas Ampelas.....	70
Gambar C. 9 Mesin <i>Grinding & Polishing</i>	71
Gambar C. 10 Mesin Uji Kekerasan	71
Gambar C. 11 Neraca.....	71
Gambar C. 12 Tang Penjepit.....	71
Gambar C. 13 Arang	71
Gambar C. 14 BaCo_3	71
Gambar C. 15 HNO_3	71
Gambar C. 16 Katalis Resin.....	71
Gambar C. 17 Resin.....	72
Gambar C. 18 Sampel SS316L	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Hasil Uji Kekerasan.....	33
Tabel 4. 2 Data Hasil <i>Case Depth</i>	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Austenitic stainless steel merupakan baja tahan karat yang saat ini banyak digunakan dalam bidang industri karena memiliki ketahanan korosi yang baik. Namun, pengaplikasiannya sangat terbatas karena *austenitic stainless steel* memiliki nilai kekerasan dan keausan yang rendah. *Austenitic stainless steel* memiliki ketahanan korosi, mampu bentuk dan mampu las, karena itu sering dipakai pada berbagai kegiatan industri. Selain itu, dipakai untuk bahan konstruksi, perabot dapur, turbin, mesin jet, mobil, bangunan kapal. Pada penerapannya *austenitic stainless steel* merupakan material utama yang digunakan pada pembangkit listrik bertenaga nuklir khususnya pada reaktor nuklir[1]. Salah satu jenis *austenitic stainless steel* adalah tipe SS316L. Salah satu baja tahan karat yang paling banyak digunakan sebagai biomaterial adalah baja tahan karat tipe 316L, merupakan material yang paling umum digunakan untuk material *implant*[2]. *Stainless steel* tipe 316L ini banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang baik, dan permukaan yang mudah dibersihkan. *Stainless steel* 316L ini memiliki kekerasan yang rendah sehingga pengaplikasiannya sangat terbatas. Komposisi kimia dari *stainless steel* 316L ini telah banyak dikembangkan sebagai upaya untuk memperbaiki sifat mekanis yang diperlukan

untuk meningkatkan kehandalan dari *stainless steel* 316L ini. Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang penting pada suatu material. *Stainless steel* 316L ini memiliki kandungan karbon yang rendah sehingga perlu penambahan unsur lain untuk meningkatkan kekerasan dari *stainless steel* jenis ini. Contoh kegagalan pada material *austenitic stainless steel* dapat terjadi pada *shaft* roda gigi karena mengalami beban dinamis yang menyebabkan terjadi fluktuasi tegangan. Struktur yang terdapat pada *shaft* roda gigi memiliki peranan yang sangat penting ketika terjadi kegagalan pada material.[3].

Salah satu cara yang banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan pada material dengan kandungan karbon yang rendah adalah dengan cara *pack carburizing*. Pada proses *pack carburizing* ini nantinya akan dilakukan proses penambahan unsur karbon pada permukaan secara difusi untuk memperbaiki sifat fisis dan mekaniknya[4] . Bahan baku yang dapat digunakan menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang memiliki kandungan karbon didalamnya, baik berasal dari tumbuhan, binatang, maupun barang tambang . Arang dengan bahan dasar berupa tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan arang dari bahan alami lain sehingga memiliki potensi sebagai sumber karbon aktif dengan kandungan karbon sekitar 76,32% [5], sehingga dapat digunakan sebagai media karburasi karena memiliki kandungan karbon yang relatif tinggi. Alasan penggunaan arang dari tempurung kelapa ini juga tidak lepas dari ketersediaannya yang melimpah di Indonesia. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia.

Berdasarkan penelitian yang berjudul “*Enhancement of stainless steel’s mechanical properties via carburizing process*”, proses *carburizing* menggunakan

spesimen *austenitic stainless steel* 304. Media karburasi yang digunakan ialah campuran karbon aktif dengan Sodium Karbonat (Na_2CO_3) dan Barium Karbonat (BaCO_3). Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur 900°C dan 950°C selama 8 jam mampu meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan spesimen dan terlihat adanya lapisan karbon pada permukaan sampel[6]. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Istiroyah, proses *carburizing* dengan menggunakan dua media karburasi yang berbeda yaitu arang tempurung kelapa dan arang sekam padi dan mendapatkan hasil yaitu arang tempurung kelapa mampu menaikkan nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan arang sekam padi karena arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang sekam padi[7]. Penambahan unsur karbon akan membantu meningkatkan nilai kekerasan pada material SS316L.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ada pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

- a. Seberapa besar peningkatan nilai kekerasan *stainless steel* 316L setelah proses *pack Carburizing*?
- b. Bagaimana struktur mikro dari *stainless steel* 316L setelah proses *pack carburizing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Untuk mengetahui nilai kekerasan *stainless steel* 316L setelah proses *pack carburizing*.

- b. Untuk mengetahui bagaimana struktur mikro dari *stainless steel* 316L setelah proses *pack carburizing*

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Komposisi Media Karburasi dan *Holding Time Pack Carburizing* Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Pada *Stainless Steel* 316L” dapat dilihat sebagai berikut

- a. Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan *austenitic stainless steel* tipe 316L
- b. Temperatur yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 950°C
- c. Variabel bebas :
 - 1. Variasi komposisi katalis = 20%, 30%, dan 40%
 - 2. Variasi *holding time pack carburizing* = 2 jam, 3 jam, dan 4 jam
- d. Variabel terikat :
 - 1. Struktur mikro;
 - 2. Kekerasan.
- e. Pengujian yang akan dilakukan
 - 1. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan OM (*Optical Microscopy*)
 - 2. Pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell*
- f. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan rekayasa permukaan menggunakan metode *pack carburizing* pada *stainless steel* 316L. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pengaruh komposisi media karburasi dan *holding time* terhadap kekerasan dan struktur mikro pada *stainless steel* 316L hasil *pack carburizing* dengan menggunakan sumber karbon berasal dari arang tempurung kelapa.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini dimulai dengan Bab I yaitu pendahuluan yang memuat latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, serta manfaat dari penelitian itu sendiri. Dilanjutkan dengan Bab II yaitu tinjauan puskana yang berisikan teori-teori yang dapat digunakan sebagai pendukung dari judul penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya ialah Bab III yang merupakan metode penelitian, dimana berisikan tentang prosedur penelitian yang akan dilakukan serta memuat adanya alat bahan yang diperlukan pada penelitian kali ini. Kemudian terdapat Bab IV yang berisi hasil terkait penelitian yang sudah dilakukan dengan variasi *holding time* dan komposisi media karburasi serta pembahsan terkait pengaruh dari variabel yang digunakan terhadap data yang dihasilkan. Dilanjutkan dengan Bab V yang berisi kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan serta terdapat saran agar penelitian selanjutnya lebih baik lagi. Lalu, adanya daftar pustaka dan lampiran yang digunakan penulis sebagai landasan penunjang penulisan laporan skripsi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Tukur and L. Yonghao, "Oxidation and Deformation Behaviours of The 316L Stainless-Steel Weldments in Nuclear Plants," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 15, no. 3, pp. 2115–2132, 2020, doi: 10.20964/2020.03.69.
- [2] C. S. M. Ikhsan and I. Kartika, "Karakteristik Material Biokompetibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plat," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2014 1 Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, 12 Novemb. 2014, vol. 10202 LNCS, no. November, pp. 226–243, 2014.
- [3] Sunaryo, Japri, and Ir.Denur, "Analisa Kegagalan Shaft Roda Gigi Gearbox Type RFM 3090 LA 35,5/1," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. Vol. 2, no. No. 2, pp. 23–29, 2019.
- [4] Nurjito and A. Leman S, "Campuran Arang Tempurung Kelapa Bekas dan Arang Tempurung Kelapa Baru untuk Media Karburasi Baja Karbon Rendah," *Media Tek.*, vol. 8, no. 1, pp. 52–60, 2008.
- [5] E. Budi, H. Nasbey, S. Budi, E. Handoko, P. Suharmanto, R. Sinansari, Sunaryo., "Kajian Pembentukan Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa," *Seminar Nasional Fisika.*, pp. 62–66, 2012.
- [6] S. Ahmad, S. K. Alias, B. Abdullah, M. Hafiz Mohd Bakri, M. H. Jumadin, and M. A. M. Shah, "Enhancement of Stainless Steel's Mechanical Properties via Carburizing Process," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 160, no. 1, pp. 0–6, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/160/1/012025.
- [7] Istiroyah, M. A. Pamungkas, G. Saroja, M. Ghufon, and A. M. Juwono, "Characteristic of Low Temperature Carburized Austenitic Stainless Steel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 299, no. 1, pp. 0–5, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/299/1/012048.
- [8] M. N. Nasution, "Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa," *Bul. Utama Tek.*, vol. 15, no. 2, p. 165, 2020.

- [9] Outokumpu, "Handbook of Stainless Steel," pp. 1–89, 2013, [Online]. Available: <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>
- [10] J. William D. Callister, *Materials Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2007.
- [11] C. Shanmugham and N. Rajendran, "Corrosion Resistance of Poly P-Phenylenediamine Conducting Polymer Coated 316L SS Bipolar Plates For Proton Exchange Membrane Fuel Cells," *Prog. Org. Coatings*, vol. 89, pp. 42–49, 2015, doi: 10.1016/j.porgcoat.2015.07.023.
- [12] T. Dwi Widodo and R. Raharjo, "Pengaruh Ball Peening terhadap Kekerasan Baja Tahan Karat AISI 316L," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 3, pp. 151–155, 2016, doi: 10.21776/ub.jrm.2016.007.03.7.
- [13] G. W. G. Thomas G. Digges, Samuel J. Rosenberg, "Heat Treatment and Properties of Iron and Steel," vol. 35, no. October 3, 1960, p. 13, 1960.
- [14] S. Darmo, R. Soenoko, E. Siswanto, and T. D. Widodo, "Study on Mechanical Properties of Pack Carburizing SS400 Steel With Energizer Pomacea Canaliculata Lamarck Shell Powder," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 14–23, 2018, doi: 10.30574/gjeta.2022.11.2.0087.
- [15] O. Adedipe, R. O. Medupin, K.O. Yoro, E.T. Dauda, V.S. Aigbodion, NA. Agbo, O.W.A. Oyeladun, J.B. Mokwa, S.A. Lawal, O. Eterigho-Ikelegbe, O.O. Sadare, "Sustainable Carburization of Low Carbon Steel Using Organic Additives: A Review," *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 38, no. May, p. e00723, 2023, doi: 10.1016/j.susmat.2023.e00723.
- [16] D. N. K. P. Negara and I. M. Widiyarta, "The Study on Mechanical Properties of Pack Carburized Low Carbon Steel Using BaCO₃ as Energizer," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 673, no. 1, pp. 6–12, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/673/1/012125.
- [17] G. S. Pambayun, R. Y. E. Yulianto, M. Rachimoellah, and E. M. M. Putri, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator ZnCl₂ dan Na₂CO₃ Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah," *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 1, pp. 116–120, 2013,

doi: 10.12962/j23373539.v2i1.2437.

- [18] D. Ngakan and K. Putra, “Efektifitas Energizer Dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing” *J. Mettek*, vol. 2, no. 1, pp. 5-10, 2016
- [19] N. Tsuji, “Advanced Thermomechanical Processing of Steels,” *Encycl. Mater. Met. Alloy.*, pp. 223–234, 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-819726-4.00101-0.
- [20] M. T. Ali Sabit, “Efek Suhu Pada Proses Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (Coconut Shell Charcoal),” *J. Neutrino*, vol. 3, no. 2, pp. 143–152, 2012, doi: 10.18860/neu.v0i0.1647.
- [21] Y. Nustini and A. Allwar, “Utilization of Coconut Shell Waste into Coconut Shell Charcoal and Granular Activated Carbon to Improve Welfare of Watuduwur Village, Bruno, Purworejo Regency,” *Asian J. Innopation Enterpreneursh.*, vol. 4, no. 3, pp. 217–226, 2019.
- [22] L. Lelawati, “Pengaruh Pemanasan dan Quenching Dengan Air Laut Terhadap Struktur Mikro Baja Karbon Sedang,” *J. Redoks*, vol. 7, no. 1, pp. 62–72, 2022, doi: 10.31851/redoks.v7i1.8148.
- [23] F. I. Haider, Suryanto, and M. H. Mahmood, “Carbon Diffusion in 304I Austenitic Stainless Steel at 650 Steel at 650 -750°C in Carburizing Environment,” *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 76–78, 2019.
- [24] D. E. P. Klenam, C. Polese, L. H. Chown, S. Kwofie, and L. A. Cornish, “Mechanical Behaviour of Pack Carburized AISI 316L Austenitic Stainless Steel,” *J. South. African Inst. Min. Metall.*, vol. 115, no. 12, pp. 1183–1191, 2015, doi: 10.17159/2411-9717/2015/v115n12a6.
- [25] Supriyono and Jamasri, “Holding Time Effect of Pack Carburizing on Fatigue Characteristic of V-Notch Shaft Steel Specimens,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1855, 2017, doi: 10.1063/1.4985450.
- [26] T. O. Joshua, O. S. I. Fayomi, O. Seriki Ege, and N. . Udoye, “Comparative Effect of Some Carbon Rich Materials on the Hardness Property of Carburized Low Alloy Carbon Steel,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol.

1107, no. 1, p. 012078, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1107/1/012078.

- [27] P. Aondona, “The Efficacy of Carburizing Compounds With Different Carbon Source and Added Industrial Energizers for Surface Treatment of Mild Steel for Mechanical Property Improvement,” *MOJ Appl. Bionics Biomech.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2018, doi: 10.15406/mojabb.2018.02.00055.

- [28] I. P. Aondona and A. Offiong, “The Effect of Holding Time on the Hardness of Case Hardened Mild Steel,” *Mater. Sci. Metall. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 31–34, 2014, doi: 10.12691/msme-2-3-1.

- [29] Y. Benarioua, “Carburizing Treatment of Low Alloy Steels: Effect of Technological Parameters,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1033, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1033/1/012008.