

Analisis proses *carburizing* dengan variasi waktu tahan 15, 30, 45, 60 menit terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon ST 60

The Analysis of Carburizing with 15, 30, 45, 60 minutes holding time due to hardness and microstructure on ST 60 Steel

Pramuko Ilmu Purboputro^{1*}, Sartono Putro¹, Djoeli Satrijo¹

^{1*} Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia. Jl. Pabelan Tromol Pos I, Kartasuro, Sukoharjo, Surakarta

*E-mail: pip272@ums.ac.id

Article Submit: 18/01/2023

Article Revision: 08/02/2023

Article Accepted: 09/02/2023

Abstrak. Penelitian kali ini menjelaskan tentang proses *carburizing* pada baja. Perumusan masalah tentang *carburizing* dengan variasi waktu tahan 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit terhadap kekerasan dan struktur mikro pada baja karbon ST60. Proses pack *carburizing* banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada baja. Pada penelitian ini ukuran butir karbon yang digunakan adalah mesh 140 (105 μm) dengan temperatur 900°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada variasi waktu tahan 15 menit nilai kekerasan rata-rata 56,7 HRA. Pada waktu tahan 30 menit rata-rata nilai kekerasannya adalah 57,1 HRA. Lalu pada waktu tahan 45 menit rata-rata nilai kekerasannya adalah 57,4 HRA dan pada waktu tahan 60 menit adalah 57,5. Untuk raw material memiliki rata-rata nilai kekerasan 66,7 HRB. Jadi raw material setelah di *carburizing* mengalami peningkatan kekerasan sebesar 167-173%. Dengan demikian waktu tahan pada proses pack *carburizing* mempengaruhi kekerasan material.

Kata kunci: *Carburizing*; normalizing; struktur mikro; kekerasan

Abstract: *The carburizing process in steel is described in this study. The formulation of carburizing problems on the microstructure and hardness of ST60 carbon steel with varying holding times of 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes Steel is frequently subjected to the pack carburizing process to increase its surface hardness. Mesh 140 (105 m) carbon grains were employed in this investigation, and a temperature of 900 °C was used. According to the study's findings, an average holding time of 15 minutes results in a hardness rating of 56.7 HRA. The average hardness value at 30 minutes of holding was 57.1 HRA. The average hardness value was therefore 57.4 HRA after 45 minutes of holding time and 57.5 after 60 minutes. The average hardness of raw materials is 66.7 HRB. Consequently, the raw material's hardness increased by 167–173% after carburizing. Consequently, the holding period during the pack carburizing process has an impact on the material's hardness.*

Keywords: *Carburizing*; normalizing; microstructure; hardness

1. PENDAHULUAN

Pada beberapa komponen elemen mesin, kadang diperlukan sifat yang keras dan tahan aus pada bagian permukaannya, sedangkan pada inti atau bagian dalam tetap dalam keadaan lunak dan ulet. Hal ini akan berdampak pada ketahanan benda terhadap keausan dan keuletan yang sesuai kebutuhan. Logam mempunyai peranan aktif dalam kehidupan manusia dan menunjang teknologi di zaman sekarang, jika diperhatikan segala kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Oleh karena itu timbul usaha-usaha manusia untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam tersebut [1][2].

Salah satu cara yang dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan yaitu dengan cara *carburizing* (Proses pengarbonan) merupakan proses dimana benda kerja akan dikeraskan pada permukaan, penambahan karbon dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja dalam lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga karbon berdifusi masuk ke permukaan kulit baja.



Pada temperatur carburizing, media karbon terurai menjadi CO yang selanjutnya menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk ke dalam baja dan menaikkan kadar karbon pada baja [3].

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (crystal lattice) atom besi. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (manganese), krom (chromium), vanadium, dan tungsten [4].

Kebaruan dari studi adalah membandingkan hasil karbon yang terdifusi ke permukaan baja ST 60 untuk karbon dari tempurung kelapa dengan waktu tahan 15, 30, 45, 60 menit [5].

2. LITERATUR REVIEW

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendalami peristiwa carburizing pengaruh waktu tahan terhadap perubahan fasa dan kedalaman difusinya, yang bisa menjadi salah satu acuan untuk penelitian yang sejenis.

Tujuan dari penelitian karburising ini adalah untuk mempelajari efek pack karburisasi menggunakan arang terhadap sifat-sifat baja ringan. Sifat-sifat diwakili oleh hasil struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Proses karburisasi dilakukan pada suhu 930°C yang merupakan suhu austenit baja ringan. Sumber karbonnya adalah arang. Spesimen ditahan selama 15, 30, 45 dan 60 menit pada suhu karburasi pada baja hipoeutectoid.

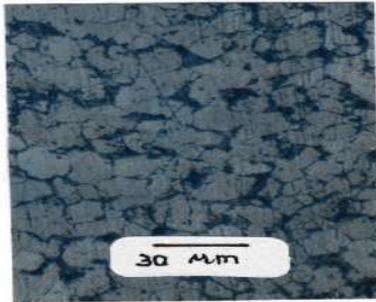
Penelitian tentang carburizing pada baja, diperlukan sebuah tungku pembakar yang dirancang tahan panas serta mudah dioperasikan. aman dengan bahan bakar batu bara. Untuk pengujian tungku yang telah dirancang dilakukan pengujian pada baja karbon rendah dengan menggunakan media karburisasi campuran 500 Gram arang tempurung kelapa dan 50 Gram calcium carbonate (CaCO₃), temperature pemanasan 950 °C dan variasi waktu tahan; 3 jam 4 jam dan 5 jam. Kemudian dilanjutkan dengan proses quenching. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh data kekerasan 34 HRC pada waktu tahan 5 jam. Ini menunjukkan bahan uji telah terjadi penguatan permukaan dengan bertambahnya unsur karbon pada permukaan bahan uji [6].

Penelitian tentang eksperimen baja karbon rendah hasil proses pack carburizing metode pack carburizing dilakukan beberapa percobaan dengan 3 faktor bebas yaitu suhu austenisasi, waktu penahanan, dan komposisi [7]. Agar proses pack carburizing menghasilkan kekerasan baja karbon rendah yang optimal diperlukan perancangan eksperimen agar memperoleh hasil eksperimen yang valid. Metode perancangan eksperimen yang digunakan untuk masalah tersebut adalah eksperimen faktorial dengan 3 faktor dan 2 level. Berdasarkan perancangan eksperimen kekerasan baja karbon rendah dengan metode eksperimen faktorial, faktor yang mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah hanya faktor waktu penahanan. Waktu penahanan yang memberikan nilai kekerasan lebih tinggi adalah 30 menit. Sedangkan model matematis untuk eksperimen kekerasan baja karbon rendah hasil proses carburizing adalah $y = 50.32 - 3.313 x^2$, dimana y adalah kekerasan dan x adalah waktu [8].

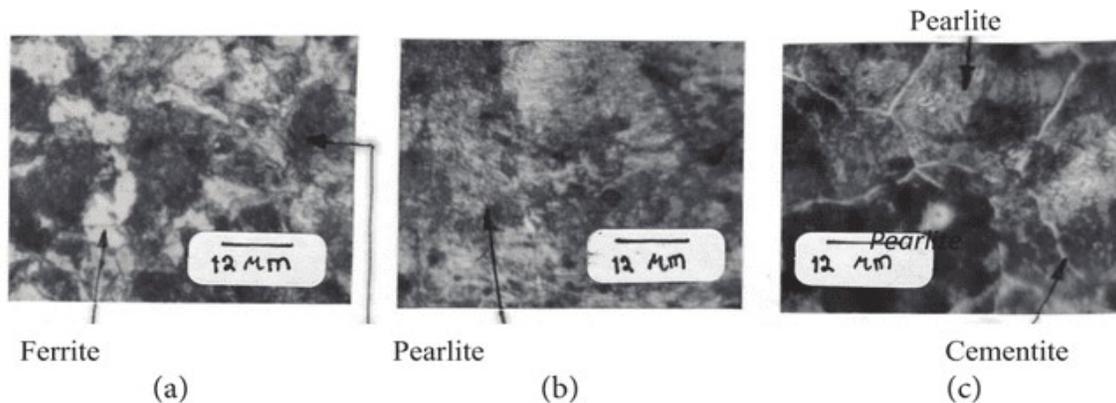
Penelitian proses karburising dengan perlakuan panas pada permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon sebagai penguat. Prinsip kerja perlakuan panas jenis ini adalah meletakkan karbon disekitar benda kerja pada saat dipanaskan, sehingga karbon akan berdifusi dengan permukaan benda kerja. Hasil yang diperoleh adalah benda kerja dengan permukaan yang keras akan tetapi bagian inti tetap ulet. Bahan yang biasanya digunakan untuk benda-benda yang mendapat perlakuan carburizing. Pada proses pengarbonan benda kerja harus dibersihkan terlebih dahulu kemudian bagian benda yang tidak ingin dikeraskan ditutup dengan lapisan tembaga atau pelapis lainnya. Benda kerja yang akan dikarburisasi ditempatkan dalam wadah yang berisi media penambah unsur karbon atau media karburasi. Dipanaskan pada suhu austenisasi (800C–950C). Akibat pemanasan ini, media karburasi akan teroksidasi menghasilkan gas CO₂ dan CO. Gas CO akan bereaksi dengan permukaan baja membentuk atom karbon yang kemudian berdifusi kedalam baja [9].

Studi proses *carburizing* yang dilakukan pada suhu 930 °C yang merupakan suhu austenit baja ringan. Sumber karbonnya adalah arang. Spesimen ditahan selama 2, 3 dan 4 jam pada suhu austenisasi dengan kandungan karbon 0,17%. **Gambar 1** dan **Gambar 2** Bahan bakunya adalah baja hipoeutectoid dengan fasa ferit dan perlit dalam struktur mikronya. Setelah proses karburisasi, struktur mikro dapat dibagi menjadi dua zona e.i. zona kasus dan zona inti. Zona kasus terdiri dari sub-

zona hipereutektoid, eutektoid, dan hipoeutektoid. Zona inti sama dengan bahan baku. Semakin lama waktu penahanan akan menghasilkan semakin dalam zona kasus dan semakin kuat materialnya [10].

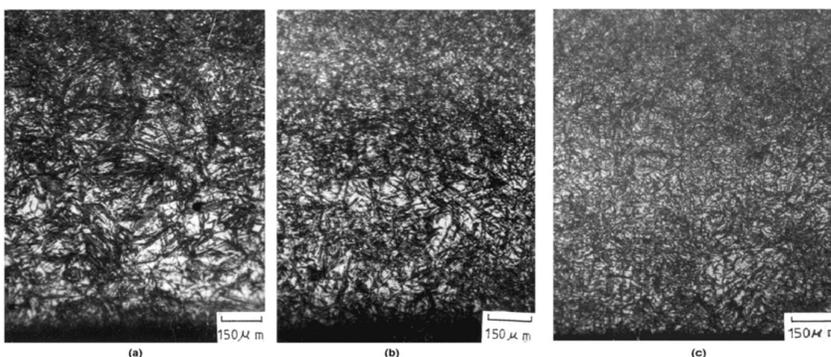


Gambar 1. Mikrostruktur raw material



Gambar 2. Struktur Mikro Zona Kasus (a) sub-zona hipoeutectoid, (b) sub-zona Eutectoid, (c) sub-zona hypereutectoid

Karburising pada baja rendah karbon yang mengandung sedikit niobium secara tunggal atau dalam kombinasi dengan nitrogen telah dikarburasi dalam atmosfer gas Titas alami pada 950°C untuk periode waktu yang berbeda seperti 1, 2, dan 4 jam. Setelah waktu yang ditentukan sebelumnya, spesimen didinginkan sebelumnya sampai 860°C dalam tungku dan didinginkan dalam air garam 10% [11]. **Gambar 3** satu set spesimen yang dipadatkan ditemper pada suhu rendah 160°C dan set lainnya di bawah nol diperlakukan pada 195° C dalam nitrogen cair diikuti oleh penempaan pada suhu yang sama 160° C. Hubungan antara struktur dan sifat-sifat mekanis dari spesimen karburisasi dan perlakuan panas diselidiki dengan menggunakan mikroskop optik, kekerasan permukaan dan pengukuran kekerasan mikro, uji sinar-X dan analisis dampak. Ditemukan bahwa niobium memurnikan martensit dan mengurangi pembentukan austenit yang tertahan dalam kasus baja rendah karbon yang dikeraskan dan dikeraskan [12][13].



Gambar 3. a, b, c, Dalam kasus mikro struktur baja menunjukkan baja yang di rendam airgaram 10%, proses karburasi pada temperatur 160°C, 950°C selama 4 jam

3. METODE

Pengujian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin UMS, dengan spesimen uji baja ST 60 dengan bahan karburasi karbon batubara, karbon arang tempurung kelapa dan karbon kayu mangrove. Karbon tersebut disiapkan terlebih dahulu, kemudian disaring pada ayakan dengan mesh 80 [14].

Pengarbonan padat dilakukan dengan cara memasukkan spesimen pada packing yang didalamnya dimuat serbuk karbon. Selanjutnya packing dimasukkan pada oven dan *disetting* pada temperatur maksimum 900° C. Setelah 60 menit waktu tahan, *packing* dikeluarkan, dan didinginkan di udara terbuka. Setelahnya spesimen dikeluarkan, kemudian dilakukan pengujian kekerasan Rockwell. Struktur mikro diperiksa dengan alat SEM dan komposisi kimia diketahui dari uji komposisi kimia, baik sebelum maupun sesudah proses *carburizing* seperti gambar pada *flowchart*.

3.1 Tahapan penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Mesin UMS. Proses *Carburizing* dilakukan dengan tiga tahapan, tahap pertama foto mikro sebelum dan sesudah di *Carburizing*, tahap kedua pengujian foto mikro spesimen sebelum dan sesudah di *Carburizing*, tahap ketiga pengujian kekerasan dengan Vickers.

3.2 Proses pembuatan spesimen

Menyiapkan baja ST60 yang sudah dipotong dengan ukuran 4 mm. Spesimen yang sudah dipotong seterusnya dihaluskan menggunakan amplas yang dilakukan secara bertahap dengan ukuran 100, 500, 1000, 2000. Setelah halus baja selanjutnya di polish menggunakan autosol supaya mengurangi goresan-goresan pada specimen.

3.3 Proses pembuatan karbon

Menyiapkan arang sekam padi. Arang diayak sampai menjadi serbuk karbon. Menyiapkan mesh dengan ukuran 140 filterisasi karbon.

3.4 Proses carburizing

Menyiapkan tungku dan wadah carburizing. Spesimen di masukkan di dalam mug/cangkir yang telah diisi serbuk arang dengan sebanyak 2 gram, kemudian cangkir di tutup dengan rapat. Memasukkan pot kedalam oven, kemudian mengatur suhu mencapai 900°C dan mulai pemanasan dengan waktu tahan mulai dari 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit. Pendinginan spesimen secara perlahan Pembongkaran spesimen dari pot.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan mesin Spektrometer *Thermo ARL 3560 OES* dan memberikan hasil pembacaan secara otomatis kandungan komposisi kimia pada material sebelum mengalami heat treatment dan setelah mengalami heat treatment yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Pengujian komposisi kimia sebelum heat treatment dan setelah heat treatment

Unsur	sebelum treatment	Sesudah treatment
Fe	96,90	98,2
C	0,4	0,48
Si	0,21	0,10
S	0,13	0,005
P	0,0015	0,0149
Mn	0,7	0,74
Ni	0,02	0,028
Cr	0,99	0,33

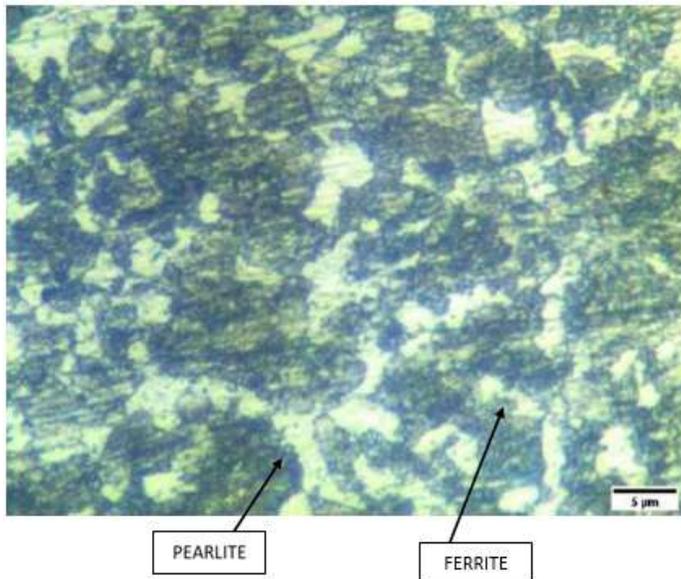
4.2 Pembahasan pengujian komposisi kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia material setelah dilakukan proses carburizing makan termasuk golongan baja karbon sedang ($0,3 < C < 0,6\%C$), dengan penyusun utama Besi (Fe) sebesar 98,20% berpengaruh pada kekuatan dan kekerasan. Karbon (C) 0,4779% bertambah nilai kekerasan

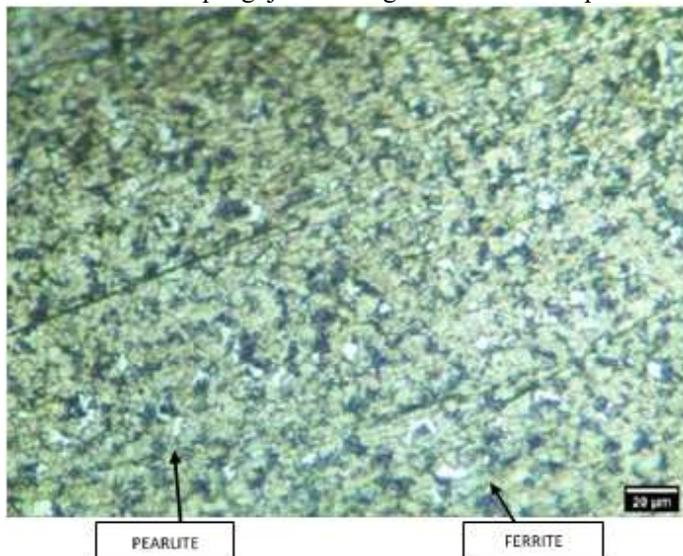
baja sebesar 0,0779% dengan sebelum diberi perlakuan carburizing 0,4%. Silika (Si) sebesar 0,1040% menambah kekuatan baja [15]. Mangan (Mn) sebesar 0,7353% untuk memperbaiki dan meningkatkan kekuatan, kekerasan dan keuletan. Fosfor (P) sebesar 0,0149% menjadikan baja lebih getas. Sulfat (S) sebesar 0,0056% meningkatkan sifat mampu mesin. Krom (Cr) sebesar 0,3316% meningkatkan kekuatan tarik, mampu keras, tahan korosi serta tahan pada suhu tinggi. Molibdenum (Mo) sebesar 0,0203% menambah ketahanan terhadap suhu tinggi. Nikel (Ni) sebesar 0,0284% meningkatkan sifat keuletan dan tahan karat. Tembaga (Cu) sebesar 0,0466% meningkatkan daya penghantar listrik, daya hantar panas dan tahan karat [16].

4.3 Pengujian struktur mikro

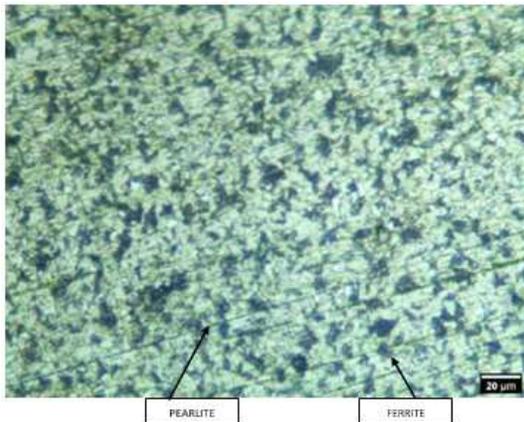
Dari pengujian struktur mikro dilakukan dengan mengambil foto mikro permukaan pada raw material sebelum melalui proses carburizing dan sesudah melalui proses carburizing yang berupa silinder baja dengan diameter 25 mm dan tebal 4 mm [17]. Foto mikro diambil dengan perbesaran 200x. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4**, **Gambar 5**, **Gambar 6**, **Gambar 8**.



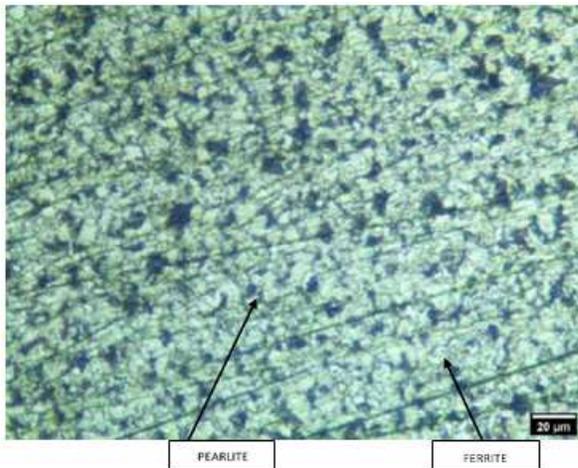
Gambar 4. Hasil pengujian mikrografi raw material perbesaran 200x.



Gambar 5. Hasil pengujian mikrografi sesudah carburizing denganarang sekam padi variasi waktu tahan 30 menit perbesaran 200x



Gambar 6. Hasil pengujian mikrografi sesudah carburizing denganarang sekam padi variasi waktu tahan 45 menit perbesaran 200x



Gambar 7. Hasil pengujian mikrografi sesudah carburizing denganarang sekam padi waktu tahan 60 menit perbesaran 200x

4.4 Pembahasan pengujian struktur mikro

Terlihat bahwa pada pengujian struktur mikro gambar 5. pada raw material sebelum dan sesudah proses carburizing dengan perbesaran 500x. Pada raw material masih terdapat banyak ferit dibandingkan dengan perlit. Kristal ferit yang mempunyai sifat lunak lebih banyak mendominasi struktur baja. Sementara kristal perlit berada diantaranya dengan jumlah yang lebih sedikit. Perlit yang mempunyai sifat lebih keras dibandingkan dengan kristal ferit, hal ini juga mempengaruhi pengukuran kekerasan, karena jika mengenai kristal ferit akan ditemukan harga yang lebih rendah begitu juga sebaliknya.

Pada proses carburizing dengan waktu tahan 15 menit jumlah perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferit. Pada hasil uji mikro tersebut struktur austenite sudah terbentuk karena adanya pendinginan yang cepat. Kekerasan pun juga meningkat dibandingkan dengan raw material.

Pada proses carburizing dengan waktu tahan 30 menit jumlah perlit lebih banyak dibandingkan dengan ferit, juga struktur karbon lebih halus jika dibandingkan dengan hasil waktu tahan 15 menit. Struktur austenite yang dihasilkan juga lebih banyak dari waktu tahan 15 menit dikarenakan waktu tahan yang berbeda.

Lalu pada carburizing dengan waktu tahan 45 menit dan 60 menit hasil uji struktur mikro menunjukkan austenite, lebih meningkat dibandingkan dengan sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh waktu tahan yang berbeda. Semakin lama waktu tahan butir karbon maka akan semakin mudah karbon terdifusi ke permukaan baja. Dari hasil uji metalografi pada material

carburizing dengan waktu tahan 60 menit dengan data tersebut maka pengujian carburizing berhasil dilakukan.

4.5 Pengujian kekerasan *rockwell*

Kekerasan permukaan material di uji dengan menggunakan metode *Hardness Rockwell*. Pada uji *Hardness Rockwell* digunakan skala C dengan beban (P) major 60 kgf. Pengujian dilakukan pada kelima spesimen yaitu diantaranya raw material dan setelah mengalami *carburizing* dengan waktu tahan 15, 30, 45 dan 60 menit. Pengujian diatas dilakukan pada masing-masing bahan uji sebanyak 3 titik sampel kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasil kekerasan pada baja karbon sebelum dan sesudah *carburizing* dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Gambar 8**.

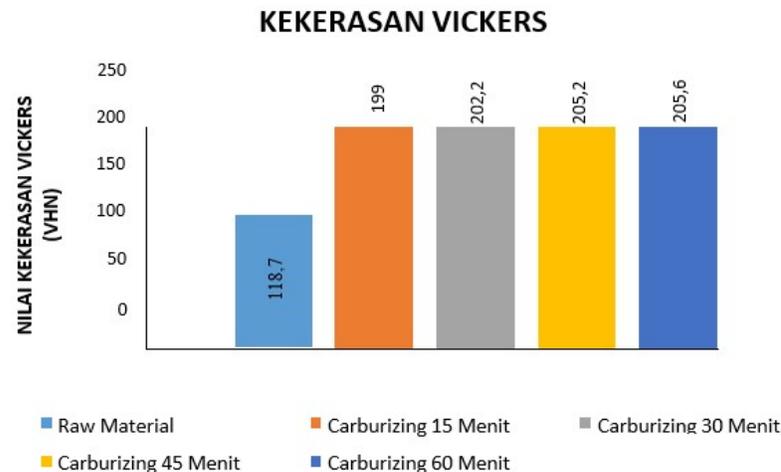
Tabel 2. Hasil uji kekerasan sebelum dan sesudah *carburizing*

No	Raw Material	15 menit	30 menit	45 menit	60 menit
1	65	57,1	57,4	57,5	57,2
2	68	56,3	56,7	57,7	58,1
3	67	56,7	57,2	57,1	57,4
Rerata	66,7	67,7	57,1	57,4	57,5

Untuk mempermudah analisa mengenai hasil kekerasan dari raw material dan material setelah *carburizing* maka hasil kekerasan *Rockwell* dikonversikan ke *Vickers Hardness Number* (VHN) sesuai dengan ASTM E 140-02. Maka diperoleh tabel sebagai berikut dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan sebelum dan sesudah *carburizing* konversi vickes

No	Raw Material	15 menit	30 menit	45 menit	60 menit
1	116	203,2	204,2	204,6	203,3
2	121	194,6	198,9	207,8	209,2
3	119	199,2	203,5	203,2	204,2
Rerata	118,7	199	202,2	205,2	205,6



Gambar 8. Grafik hasil pengujian kekerasan menggunakan Rockwelldikonversi ke Vickers (VHN) sebelum dan sesudah carburizing

4.6 Pembahasan pengujian kekerasan

Terlihat pada **Gambar 8** bahwa nilai kekerasan raw material sebelum carburizing adalah 66,7 HRB, nilai kekerasan meningkat setelah material baja ST 60 diberi perlakuan carburizing dan penambahan karbon arang sekam padi dengan waktu tahan 15 menit sebesar 56,7 HRA. Lalu pada carburizing dengan waktu tahan 30 menit menunjukkan nilai sebesar 57,1 HRA, meningkat lagi pada penambahan waktu tahan 45 menit yaitu sebesar 57,4 HRA dan pada carburizing dengan waktu tahan

60 menit semakin meningkat menjadi 57,5 HRA. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir karbon yang semakin lama waktu tahan membuat permukaan baja ST 60 semakin keras. Untuk mempelajari efek pack karburisasi menggunakan arang terhadap sifat-sifat baja ringan [10] [18]. Sifat-sifat diwakili oleh hasil struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Proses karburisasi dilakukan pada suhu 930°C yang merupakan suhu austenit baja ringan. Sumber karbonnya adalah arang. Spesimen ditahan selama 2, 3 dan 4 jam pada suhu karburisasi. Kandungan karbon material mentah adalah 0,17%. Bahan bakunya adalah baja hypoeutectoid dengan fasa ferit dan perlit dalam struktur mikronya. Setelah proses karburisasi, struktur mikro dapat dibagi menjadi dua zona e.i. zona kasus dan zona inti. Zona kasus terdiri dari sub-zona hipereutektoid, eutektoid, dan hipoeutektoid. Zona inti sama dengan bahan baku. Semakin lama waktu penahanan akan menghasilkan semakin dalam zona kasus dan semakin kuat materialnya

5. SIMPULAN

Dari hasil pengujian kekerasan rockwell, nilai kekerasan raw material sebelum di carburizing adalah 66,7 HRB, nilai kekerasan meningkat setelah material diberi perlakuan carburizing dengan arang sekam padi dengan waktu tahan 15 menit sebesar 56,7 HRA, pada penambahan waktu tahan 30 menit menunjukkan nilai sebesar 57,1 HRA, pada penambahan waktu tahan 45 menit nilai kekerasan meningkat menjadi 57,4 HRA, dan pada penambahan waktu tahan 60 menit kekerasan meningkat sebesar 57,5 HRA. Dengan demikian waktu tahan semakin lama pada proses carburizing mempengaruhi kekerasan material. Pengujian struktur mikro raw material lebih banyak fasa ferit dibandingkan dengan perlit. Sedangkan struktur mikro pada pack carburizing lebih banyak fasa perlit dibandingkan dengan ferit. Hal ini menunjukkan bahwa benda kerja baja mengalami peningkatan kekerasan setelah mengalami proses carburizing

REFERENSI

- [1] Pramuko Ilmu Purboputro, Patna Partono, and Radix Ekaputra, "The analysis of carbon carburizing of ST 60 steel with 80 mesh due to hardness and microstructure," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 80–88, 2022, doi: 10.37373/jttm.v3i2.297.
- [2] N. Effendi, "Studi Pengaruh Heat Input Terhadap Ketangguhan Impact Las SMAW Posisi Vertikal Baja ST 60 Temper," *Traksi*, vol. 9, no. 2, pp. 10–16, 2009.
- [3] Gusti R. F. Syahrillah, M. Firman, and M. A. Sugeng .P, "Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda," *Al-Jazari J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 01, no. 02, pp. 21–26, 2016, [Online]. Available: <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JZR/article/view/463>.
- [4] E. Sundari, R. Fahlevi, and B. Besar, "Mekanis Sprocket Imitasi Sepeda Motor Menggunakan Katalisator," *J. Austenit*, vol. 10, no. 2, pp. 72–78, 2018.
- [5] P. D. Nofrijon Sofyan, "Pengetahuan bahan," *Pradya paramita*, vol. 8, no. 4, p. 173, 2013, [Online]. Available: https://eprints.akprind.ac.id/609/1/buku_bahan_listrik.pdf.
- [6] O. : Hafni, D. Jurusan, and T. Mesin, "Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Calcium Carbonat Dan Arang Tempurung Kelapa, Di Tinjau Dari Kekerasan," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 108–112, 2015.
- [7] B. Karet, L. Ban, and P. Lintasan, "Pengaruh Komposisi Belerang terhadap Kekerasan dan Keausan ... (Purboputro)," pp. 12–17, 2012.
- [8] M. Dwiharsanti, W. S. Jaman, and S. Virdhian, "Perancangan Eksperimen Baja Karbon Rendah Hasil Proses Pack Carburizing Dengan Metode Eksperimen Faktorial," *J. Ris. Ind. Vol.*, vol. 10, no. 2, pp. 92–97, 2016.
- [9] A. Dermawan, Mustaqim, and F. Sidiq, "Pengaruh Temperatur Carburizing Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Sifat – Sifat Mekanis Baja S 21 C," *Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 7–14, 2017, [Online]. Available: <http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/738>.
- [10] S. Supriyono, "THE EFFECTS OF PACK CARBURIZING USING CHARCOAL ON PROPERTIES OF MILD STEEL," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 19, no. 1, 2018, doi: 10.23917/mesin.v19i1.5812.
- [11] E. Gunawan, "Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada

- Baja Karbon Rendah (St41) Dengan Metode Pack Carbirizing,” *Tek. Eng. Sains J.*, vol. 1, no. 2, p. 117, 2017, doi: 10.51804/tesj.v1i2.133.117-124.
- [12] A. Islam and M. A. Bepari, “Structure and properties of carburized and hardened niobium micro-alloyed steels,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 74, no. 1–3, 1998, doi: 10.1016/S0924-0136(97)00266-5.
- [13] P. Quenching and A. Iswandi, “FENOMENA KEKERASAN , IMPAK , DAN STRUKTUR MIKRO BAJA Hardness , Impact , and Microstructure Phenomenon of 0 . 074 C Wt .% Carbon Steel After,” vol. 7, pp. 35–41, 2022.
- [14] M. Iqbal, “Pengaruh temperatur terhadap sifat mekanis pada proses pengkarbonan padat baja karbon rendah,” *SMARTek*, vol. 6, no. C, pp. 104–112, 2008.
- [15] B. Kuswanto, “Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternatif Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Teknologi Tepat Guna,” *Pros. SNST Fak. Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2010, [Online]. Available: https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/198.
- [16] Maryanti, D. Febrina, and Winarto, “Pengaruh ukuran partikel dan jumlah carbon black terhadap kekerasan dan kekuatan tarik kompon karet untuk pembuatan footstep sepeda motor,” *Pros. Semin. Nas. Pengemb. Teknol. Pertan.*, pp. 319–324, 2018.
- [17] H. A. L. S. Wibowo, “PROSES KARBURISING PADAT DENGAN MEDIA ARANG TEMPURUNG KELAPA YANG DIGUNAKAN SECARA BERULANG PADA Pengerasan Baja Karbon Rendah.pdf,” *Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta*, vol. 16, pp. 87–97, 2011.
- [18] 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, 2018, doi: 10.15406/mojabb.2018.02.00055.