

Pengaruh Variasi Media Carburizer terhadap Struktur Micro dan Kekerasan Baja Aisi 1045

Wenseslaus Bunganaen^{1*}, Dominggus G. H. Adoe², Aldy Pady³

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: wbunganaen@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi media Carburizer arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%, arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, dan sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%. Terhadap struktur mikro dan kekerasan baja AISI 1045, bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon menengah, proses pembuatan spesimen dilakukan dengan pemotongan menjadi beberapa bagian. Pemotongan dilakukan untuk memudahkan peletakan spesimen dalam kotak karburisasi kemudian arang kusambi 90% dicampur dengan cangkang kerang 10%, arang kusambi 90% dicampur dengan sekam padi 10%, dan sekam padi 90% dicampur dengan cangkang kerang 10%. Spesimen dilakukan perlakuan Carburizing pada temperature 9500C kemudian dilakukan uji kekerasan Rockwell dan pengujian struktur mikro. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada campuran media Carburizer arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% diperoleh sebesar 39,25 HRC dan kekerasan material tanpa perlakuan diperoleh sebesar 17,08 HRC. Dari hasil pengamatan struktur mikro diketahui terjadi pengerasan permukaan karena difusi karbon kedalam baja karbon menengah (AISI 1045).

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of media variations of 90% kusambi charcoal and 10% shellfish, 90% kusambi charcoal and 10% rice husks, and 90% rice husks and 10% shells. Kusambi charcoal 90% and 10% rice husk, 90% rice husk and 10% shellfish. For the microstructure and hardness of steel AISI 1045, the material used in this research is medium carbon steel, the process of making the specimen is done by cutting it into several parts. . The cutting is done to make it easier to place the specimens in the carburizing box then 90% kusambi charcoal mixed with 10% shellfish, 90% kusambi charcoal mixed with 10% rice husks, and 90% rice husks mixed with 10% clamshells. The specimens were subjected to a Carburizing treatment at a temperature of 9500C then a Rockwell hardness test and microstructure testing were carried out. From this study, it can be concluded that the highest average hardness value in the mixture of 90% Kusambi charcoal Carburizer and 10% shellfish was obtained at 39.25 HRC and the material hardness without treatment was 17.08 HRC. From the observation of the microstructure, it is known that surface hardening occurs due to carbon diffusion into medium carbon steel (AISI 1045).

Keywords AISI 1045 steel, Carburizer, Micro structure, Hardness

PENDAHULUAN

Hasil alam Indonesia sangat melimpah, termasuk beberapa jenis hewan yang terdapat di dalamnya. Salah satunya adalah Kerang mutiara (Pearl) yang merupakan salah satu hewan jenis moluska. Hewan jenis ini paling sering dijumpai di daerah bibir pantai. Limbah buangan hasil laut sangat mengganggu, limbah itu berupa kulit kerang. Ternyata kerang mutiara yang semula hanya dibuang begitu

saja kini dapat dimanfaatkan karena cangkang kerang mutiara mengandung kalsium karbonat yang dapat dijadikan sebagai energizer alternatif di dalam proses karburisasi padat selain barium karbonat. Pada dasarnya bahan-bahan yang digunakan dalam karbonisasi yaitu, arang kayu kusambi. Kayu kesambi yang sangat keras berwarna merah muda hingga kelabu. Kayu ini juga ulet, kenyal, dan tahan terhadap perubahan kering dan basah, mempunyai nilai energi yang tinggi hingga 20.800 kJ/kg, kayu ini disenangi

sebagai kayu bakar dan bahan pembuatan arang. Arang merupakan bahan padat yang berpori-pori dan umumnya diperoleh dari hasil pembakaran kayu atau bahan yang mengandung unsur karbon (C) [1].

Arang sekam padi secara kimia mempunyai kandungan unsur penting seperti nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, serta magnesium dan serbuk cangkang kerang mutiara [2]. Untuk mempercepat proses karbonasi maka ditambahkan barium karbonat, natrium karbonat atau kalsium karbonat. Ketiga bahan tambahan tersebut termasuk jenis bahan-bahan pembangkit tenaga dalam proses karburisasi. Karburisasi dilakukan dengan cara memanaskan bahan sampai 900 – 950 °C dalam lingkungan yang menyerahkan karbon, lalu dibiarkan beberapa waktu lamanya pada suhu tersebut dan kemudian didinginkan [3].

Baja merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Disamping itu baja juga mengandung unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh jumlah karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja [4]. Kadar karbon mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap mutu baja. Baja dengan kadar karbon 0,1 – 0,35% tidak dapat dikeraskan (dipijarkan dan didinginkan tiba-tiba). Baja dengan kadar karbon rendah mempunyai nilai kekerasan yang rendah pula. Makin rendah kadar karbonnya maka baja tersebut makin lunak dan mudah ditempa, sebaliknya makin tinggi kadar karbonnya maka makin besar pula nilai kekerasannya.

Yoshrizal Hary Y (2005) menganalisis pengerasan permukaan baja karbon rendah dengan metode *carburizing* dengan waktu tahan 3 jam, 4 jam, 5 jam dihasilkan setelah mengalami proses *carburizing* nilai keausan dan kekerasan mengalami kenaikan [5]. Aziz C (2009) telah melakukan penelitian tentang ketebalan media karburasi berpengaruh pada peningkatan kekerasan

permukaan dan kedalaman pengerasan baja karbon rendah. Dimana semakin tebal media karburasi maka nilai kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan semakin tinggi [6].

Proses carburizing sendiri didefinisikan sebagai suatu proses penambahan kandungan unsur karbon (C) pada permukaan baja. Proses carburizing yang tepat akan menambah kekerasan permukaan sedang pada bagian dalam tetap ulet. Selain itu ada hal yang perlu diperhatikan sebelum memulai proses pengarbonan (*carburizing*), yaitu komposisi kimia khususnya perubahan unsur karbon (C) akan dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat mekanik baja tersebut. Proses karburasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu penahanan atau lamanya proses karburasi, temperatur pemanasan, media karburasi dan lamanya proses pendinginan. Untuk media karburasi, penggunaan prosentase bahan karbon aktif dan bahan kimia yang berfungsi sebagai energizer akan menghasilkan kekerasan yang berbeda pada baja. Penelitian ini dilakukan pada baja AISI 1045 untuk mengetahui pengaruh media carburizer terhadap struktur mikro dan kekerasan baja AISI 1045.

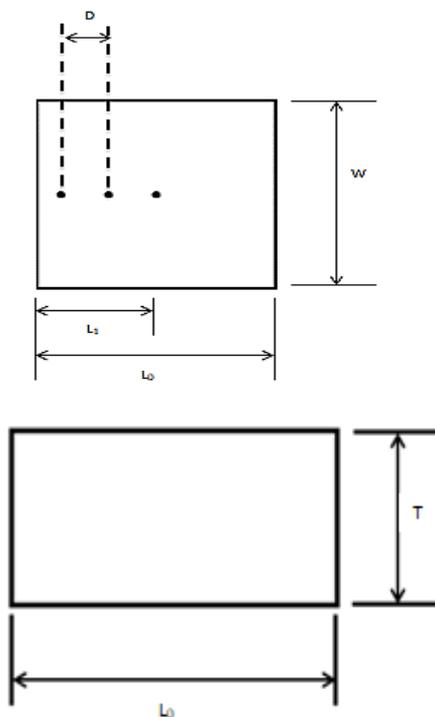
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu suatu metode yang dilakukan dengan melakukan percobaan terhadap objek penelitian serta adanya kontrol, dimana mempunyai tujuan untuk menganalisa struktur mikro dan kekerasan baja AISI 1045.

Persiapan Carburizing

Spesimen yang dipersiapkan sebanyak 9 buah, yang dikarburisasi pada suhu 950°C selama 2 jam dengan penambahan arang kusambi 90% dan cangkang kerang mutiara 10%, arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, sekam padi 90% dan cangkang kerang mutiara 10% dengan media pendingin air, Kotak terbuat dari baja karbon rendah dengan ketebalan 5 mm dengan ukuran panjang 500 mm, lebar 100 mm dan tinggi 100 mm, benda-

benda uji tersebut dimasukkan kedalam kotak karburisasi. Media pack carburizing yang digunakan dalam penelitian ini adalah medium padat, dengan komposisi yang sudah ditentukan dengan perbandingan 90% arang kusambi, 10%, serbuk cangkang kerang mutiara, dan 90%, dan 10%, sekam padi



- L_0 : Panjang keseluruhan
- T: Tebal Spesimen
- W: Lebar specimen
- L_1 : Panjang 1(satu) specimen
- D : Jarak antara titik pengujian specimen

Gambar 1. Tampak atas dan tampak samping spesimen uji baja AISI 1045.

Proses Pack Carburizing

Adapun tahapan proses pack carburizing adalah sebagai berikut:

- Spesimen yang telah dipotong sebanyak 9 buah dan media arang kusambi, sekam padi, dan cangkang kerang sebagai energizer yang sudah dicampur dimasukkan ke dalam kotak carburizing sampai berada di tengah-tengah kotak

kemudian ditutup lagi lalu dimasukkan ke dalam oven pemanas.

- Kotak karburasi ditandai agar tidak tertukar pada waktu pemanasan.
- Kemudian kotak tersebut dimasukkan ke dalam Oven dan pemanasan diatur dengan perlakuan pemanasan pada temperature 950 °C, lama pemanasan 1 jam.
- Setelah perlakuan tersebut di atas dilakukan maka kotak dikeluarkan dari dapur pemanas, kemudian kotak dibuka dan spesimen dikeluarkan lalu dicelupkan kedalam media pendingin air.
- Spesimen yang sudah diproses carburizing dibersihkan, lalu di poles terlebih dahulu agar material halus dan rata.
- Pemolesan dengan menggunakan amplas dengan kertas pasir dari ukuran 800-1200. Setelah spesimen diampas dengan ukuran 1200 sampai halus kemudian diberi autosol agar permukaan spesimen rata dan halus tanpa goresan sehingga specimen terlihat lebih halus dan mengkilap seperti kaca.
- Spesimen yang sudah diautosol kemudian dicelupkan kedalam larutan etsa, dengan posisi permukaan yang di etsa menghadap ke atas.

Kemudian spesimen dicuci secara menyeluruh dalam air atau alkohol dan kemudian dikeringkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kekerasan skala Rockwell C

Pengujian kekerasan permukaan yang digunakan adalah metode Rockwell. Adapun pengaruh variasi media karburising, Arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%, arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%, dengan media pendingin (Quenching) air. Pada pengujian ini spesimen yang diuji berjumlah sepuluh buah yaitu terdiri satu spesimen tanpa perlakuan, tiga spesimen

dicarburizing dengan arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%, tiga spesimen dicarburizing dengan arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, dan tiga spesimen dicarburizing dengan sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%. Setiap spesimen akan dikenai tiga titik pengujian, sehingga menghasilkan data kekerasan seperti pada Tabel 1 hingga Tabel 3.

Tabel 1. Hasil uji kekerasan dengan media carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
26,14	21,85	21,69	23,22
35,91	41,19	40,67	39,25
32,97	36,60	42,27	37,28

Tabel 2. Hasil uji kekerasan dengan media carburizing arang kusambi 90% dan sekam padi 10%

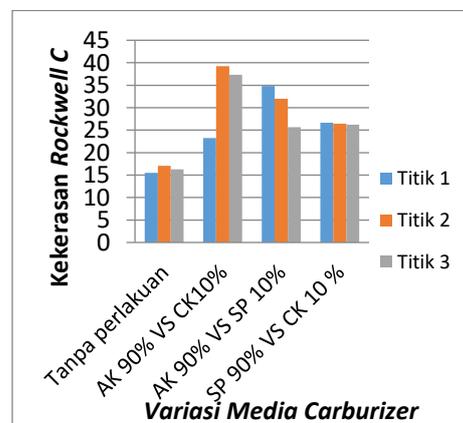
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
23,35	29,69	26,87	26,63
24,56	25,96	28,90	26,47
26,61	24,05	28,04	26,23

Tabel 3. Hasil uji kekerasan dengan media carburizing sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%

Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
32,15	34,17	38,17	34,83
30,77	32,36	32,83	31,98
23,89	25,28	27,71	25,65

Hasil pengujian kekerasan skala Rockwell C menunjukkan perbedaan nilai kekerasan pada media carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% dengan media pendingin (*Quenching*) air (Gambar 2). Hal ini dapat membuktikan bahwa jenis media *Carburizing* berpengaruh terhadap tingkat kekerasan pada baja AISI 1045 yang telah mengalami proses *Carburizing*. Hal ini juga terlihat dari hasil penelitian dan

pengujian pada baja AISI 1045 yang telah di-*Carburizing*, angka kekerasan baja AISI 1045 yang tidak mengalami perlakuan menunjukkan angka kekerasan titik I 15,51 HRC, titik II 17,08 HRC, titik III 16,25 HRC. Sedangkan baja yang di carburizing dengan menggunakan media carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% pada temperatur 950° C selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air memiliki nilai kekerasan rata-rata titik I 23,22 HRC, nilai kekerasan rata-rata titik II 39,25 HRC, dan nilai kekerasan rata-rata titik III 37,28 HRC. Sedangkan baja yang di *Carburizing* dengan menggunakan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan sekam padi 10% pada temperatur 950° C selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air memiliki nilai kekerasan rata-rata titik I 34,83 HRC, nilai kekerasan rata-rata titik II 31,98HRC, dan nilai kekerasan rata-rata titik III 26,65 HRC. Sedangkan baja yang di *Carburizing* dengan menggunakan media *Carburizing* sekam padi 90% dan cangkang kerang 10% pada temperatur 950°C selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air memiliki nilai kekerasan rata-rata titik I 26,63 HRC, nilai kekerasan rata-rata titik II 26,47 HRC, dan nilai kekerasan rata-rata titik III 26,63 HRC.



Gambar 2. Nilai kekerasan seluruh spesimen uji baja AISI 1045.

Berdasarkan pengujian kekerasan *Rockwell C* pada spesimen tanpa perlakuan, maka didapat nilai rata-rata 16,28 HRC sangat rendah, ini dikarenakan tidak adanya penambahan karbon pada material. Dari Gambar 2, hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan *Rockwell C* terlihat perbedaan nilai kekerasan terhadap variasi media carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% dengan media pendingin (*Quenching*) air. Berdasarkan dari hasil pengujian nilai kekerasan rata titik I 23.22 HRC, lebih rendah dari titik II yang mendapatkan hasil 39.25 HRC sedangkan pada titik III 37.28 HRC mendapatkan hasil rata-ratanya lebih tinggi dari titik I.

Hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan *Rockwell C* terlihat perbedaan nilai kekerasan terhadap variasi media carburizing arang kusambi 90% dan sekam padi 10% dengan media pendingin (*Quenching*) air. Berdasarkan dari hasil pengujian nilai kekerasan rata titik I 34.83 HRC, titik II yang mendapatkan hasil 31.98 HRC sedangkan pada titik III 25.65 HRC mendapatkan hasil rata-ratanya lebih rendah dari titik II dan titik I.

Hasil pengujian kekerasan menggunakan mesin uji kekerasan *Rockwell C* terlihat perbedaan nilai kekerasan terhadap variasi media carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% dengan media pendingin (*Quenching*) air. Berdasarkan dari hasil pengujian nilai kekerasan rata titik I 26.63 HRC, lebih tinggi dari titik II yang mendapatkan hasil 26,47 HRC sedangkan pada titik III 26.23 HRC mendapatkan hasil rata-ratanya lebih rendah dari titik II dan titik I.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kekerasan rata-rata untuk masing-masing variasi dari setiap media *Carburizing* arang kusambi 90% dan cangkang 10%, arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, dan sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%. Dari Gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa perbandingan nilai kekerasan dari setiap spesimen yang digunakan hasilnya berbeda-beda, pada spesimen *Quenching* air dengan

media *carburizing* arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% mempunyai nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada titik II 39,25 HRC, pada titik I mempunyai nilai kekerasan rata-rata 23,22 HRC dan pada titik III mempunyai nilai kekerasan rata-rata 37,28 HRC. Pada spesimen *Quenching* air dengan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan sekam padi 10% mempunyai nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada titik I dengan nilai rata-rata 34,83 HRC, pada titik II mempunyai nilai kekerasan rata-rata 31.25 HRC, dan pada titik III mempunyai nilai kekerasan rata-rata 25,65 HRC. Sedangkan pada spesimen *Quenching* air dengan media *Carburizing* sekam padi 90% dan cangkang kerang 10% nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada titik I dengan nilai rata-rata 26,63 HRC.

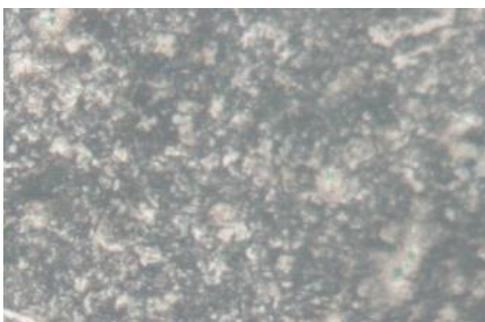
Pada pengujian baja AISI 1045 khususnya nilai kekerasan HRC akan semakin meningkat bila dilakukannya proses *Pack Carburizing*, dengan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%, arang kusambi 90% dan sekam padi 10%, dan sekam padi 90% dan cangkang kerang 10%. dan dipanaskan pada suhu 950°C selama 1 jam dengan media *Quenching* air, secara cepat mengalami peningkatan kekerasan dari pada spesimen yang tanpa melalui proses *Pack Carburizing* atau spesimen tanpa perlakuan.

Hasil Uji Struktur Mikro

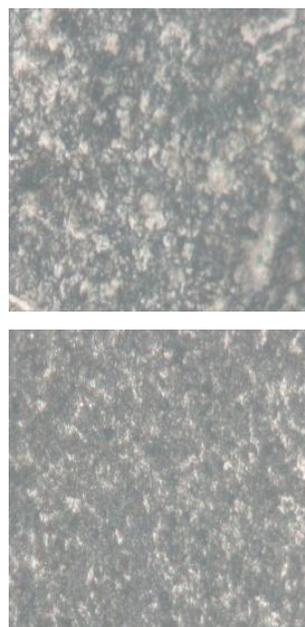
Hasil pengamatan struktur mikro dari spesimen tanpa perlakuan pack carburizing dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa ferrite berwarna terang dan putih, dan pearlite berwarna gelap dan hitam lebih besar ukurannya dibandingkan dengan karbida. Karbida akan membesar jika terjadi perlakuan panas terhadap benda kerja (baja karbon menengah). Kemudian struktur ferrite lebih dominan dari pada struktur pearlite yang lebih sedikit jumlahnya, sehingga kekerasan dari material tanpa perlakuan menjadi lebih rendah. Hal ini terjadi karena tidak adanya penambahan unsur karbon yang diberikan pada material dan sesuai

dengan kandungan karbon yang terkandung pada material tanpa perlakuan sebesar 0,42-0,50%.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari spesimen yang telah mengalami proses *Pack Carburizing* dengan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% pada suhu 950°C dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air. Struktur-struktur perlit jumlahnya semakin banyak dan ukuran butirannya mulai merata di sepanjang penetrasi walaupun pada sisi perlitnya masih terdapat banyak ferit. Peningkatan jumlah pearlite yang lebih banyak dibandingkan dengan struktur mikro spesimen tanpa perlakuan, dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan unsur karbon ke dalam material selama proses difusi karbon dengan cara pemanasan pada spesimen dengan temperatur 950°C. serta adanya penambahan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% sebagai *energizer* yang merupakan unsur untuk mempercepat proses difusi karbon ke dalam baja sehingga dapat membentuk struktur pearlit lebih banyak. Sehingga menjadikan spesimen ini menjadi lebih keras dari sebelumnya dan juga di pengaruhi oleh terjadinya proses pendinginan yang cepat sehingga dapat merubah sifat fisis dari pada baja.

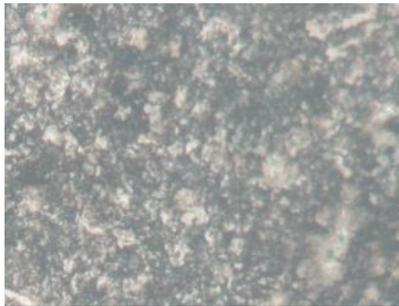


Gambar 3. Struktur mikro spesimen tanpa perlakuan dengan pembesaran 10 kali

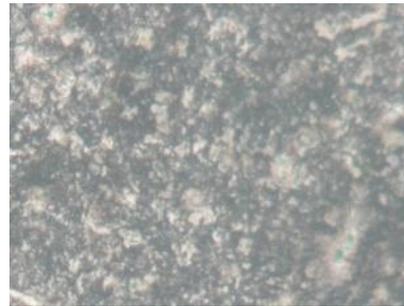


Gambar 4. Hasil uji struktur mikro spesimen tanpa perlakuan (atas) spesimen dengan perlakuan carburizing arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10% dengan pembesaran 10 kali dengan *Quenching* air (bawah).

Gambar 5 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari spesimen yang telah mengalami proses *pack carburizing* dengan media *Carburizing* arang kusambi 90% dan sekam padi 10% pada suhu 950°C dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air. Struktur-struktur perlit jumlahnya semakin banyak dan ukuran butirannya mulai merata di sepanjang penetrasi walaupun pada sisi perlitnya masih terdapat banyak ferit. Peningkatan jumlah pearlite yang lebih banyak dibandingkan dengan struktur mikro spesimen tanpa perlakuan, dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan unsur karbon ke dalam material selama proses difusi karbon dengan cara pemanasan pada spesimen dengan temperatur 950°C.



Gambar 5. Hasil uji struktur mikro spesimen tanpa perlakuan (atas) spesimen dengan perlakuan carburizing arang kusambi 90% dan sekam padi 10% dengan dengan pembesaran 10 kali dengan *Quenching* air (bawah)



Gambar 6. Hasil uji struktur mikro spesimen tanpa perlakuan (atas) spesimen dengan perlakuan *Carburizing* sekam padi 90% dan cangkang kerang 10% dengan pembesaran 10 kali dengan *Quenching* air (bawah)

Gambar 6 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro dari spesimen yang telah mengalami proses *pack carburizing* dengan media *Carburizing* sekam padi 90% dan cangkang kerang 10% pada suhu 950°C dengan menggunakan media pendingin (*Quenching*) air. Struktur-struktur perlit jumlahnya semakin banyak dan ukuran butirannya mulai merata di sepanjang penetrasi walaupun pada sisi perlitnya masih terdapat banyak ferit. Peningkatan jumlah pearlite yang lebih banyak dibandingkan dengan struktur mikro spesimen tanpa perlakuan, dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan unsur karbon ke dalam material selama proses difusi karbon dengan cara pemanasan pada temperatur dengan temperatur 950°C.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka ditarik kesimpulan bahwa:

- Variasi media Carburizer dan penambahan serbuk cangkang kerang mutiara berpengaruh terhadap nilai kekerasan baja karbon menengah. Keefektifan penambahan serbuk cangkang kerang mutiara dan arang kusambi tergantung pada suhu pemanasan. Penambahan arang kusambi 90% dan cangkang kerang mutiara 10% dan akan berpengaruh terhadap kenaikan angka kekerasan pada suhu 950°C. Pada suhu pemanasan kenaikan nilai kekerasan permukaan cenderung naik. Angka kekerasan tertinggi sebesar 39,25 HRC didapatkan pada suhu pemanasan 950°C dengan variasi media Carburizer

- arang kusambi 90% dan cangkang kerang 10%.
- Dari pengamatan foto struktur mikro pada material awal terdapat struktur ferrite yang lebih banyak di bandingkan dengan foto struktur mikro setelah perlakuan (carburizing). Sebaliknya jumlah ferrite setelah perlakuan (carburizing) menjadi lebih sedikit dibanding material sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. “Kesambi.” <https://id.wikipedia.org/wiki/Kesambi>.
- [2]. Materi Pertanian, “Pengertian Arang Sekam, Fungsi, Kandungan, Kelebihan, dan Kekurangannya.” <https://dosenpertanian.com/pengertian-arang-sekam/>.
- [3]. S. Sujita, “Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara,” *MECHANICAL*, vol. 7, no. 2, 2016.
- [4]. J. M. Nanulaitta and E. R. Lilipaly, “Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 Dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator (Tulang Sapi (CaCO₃)) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing),” *J. Teknol.*, vol. 9, no. 1, 2012.
- [5]. Y. HARY Y, “Analisis Pengerasan Permukaan Baja Karbon Rendah Dengan Metode Carburizing Dengan Waktu Tahan 3 Jam, 4 Jam Dan 5 Jam.” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010.
- [6]. A. C. Y. Antoro, “Pengaruh ketebalan media karburasi pada proses pack carburizing terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah,” 2009