



Pengaruh waktu tahan *pack carburizing* dan penggunaan media *quenching cane molasses* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah

Effect of pack carburizing holding time and application cane molasses as quenching media on the mechanical properties and microstructure of low carbon steel

S. Sujita*, E.D. Sulistyowati, R.M. Wahyu

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 083834711149

*E-mail: sujita@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 20 November 2021

Accepted 01 February 2022

Available online 01 April 2022

Keywords:

Pack carburizing

Quenching

Holding time

Cane molasses

Pack carburizing is one of the methods used to increase the carbon content in steel by using solid media. In this study, the addition of carbon elements was carried out using teak wood charcoal and cow bone powder, after that in quenching using cane molasses. Variations used for holding time are 2 hours, 4 hours, and 6 hours, variations in cane molasses content used 10%, 20%, 30%, and the percentage comparison between cow bone powder and teak wood charcoal is 50%:50%. The results of this study show that the pack carburizing resistance time factor is more influential on the mechanical properties and microstructure of low carbon steel. The highest hardness value is found at a holding time of 6 hours with quenching cane molasses 20% of 799.95 kg/cm² and the lowest hardness value is found without treatment of 162.62 kg/cm². For the highest impact toughness is found without treatment of 2.02 Joule/mm² and the lowest impact toughness value is found at holding time of 6 hours with quenching cane molasses 20% of 1.127 Joule/mm². For microstructures formed after treatment, martensite structures are formed due to rapid cooling.



1. PENDAHULUAN

Baja adalah besi yang dihasilkan dari dapur-dapur baja disebut juga besi karbon, yaitu campuran antara besi dengan zat arang (karbon) dan beberapa elemen lainnya seperti kromium, nikel, silikon, sulfur, mangan, aluminium, nitrogen, dan oksigen (Bahtiar dkk., 2017). Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% dari berat keseluruhan baja tersebut sesuai gradenya. Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari baja yang berkaitan dengan ketahanan aus. Selama ini sering dijumpai komponen-komponen yang mengalami gesekan terus-menerus dalam fungsi kerjanya, sehingga cepat mengalami keausan. Salah satu cara untuk mendapatkan kekerasan

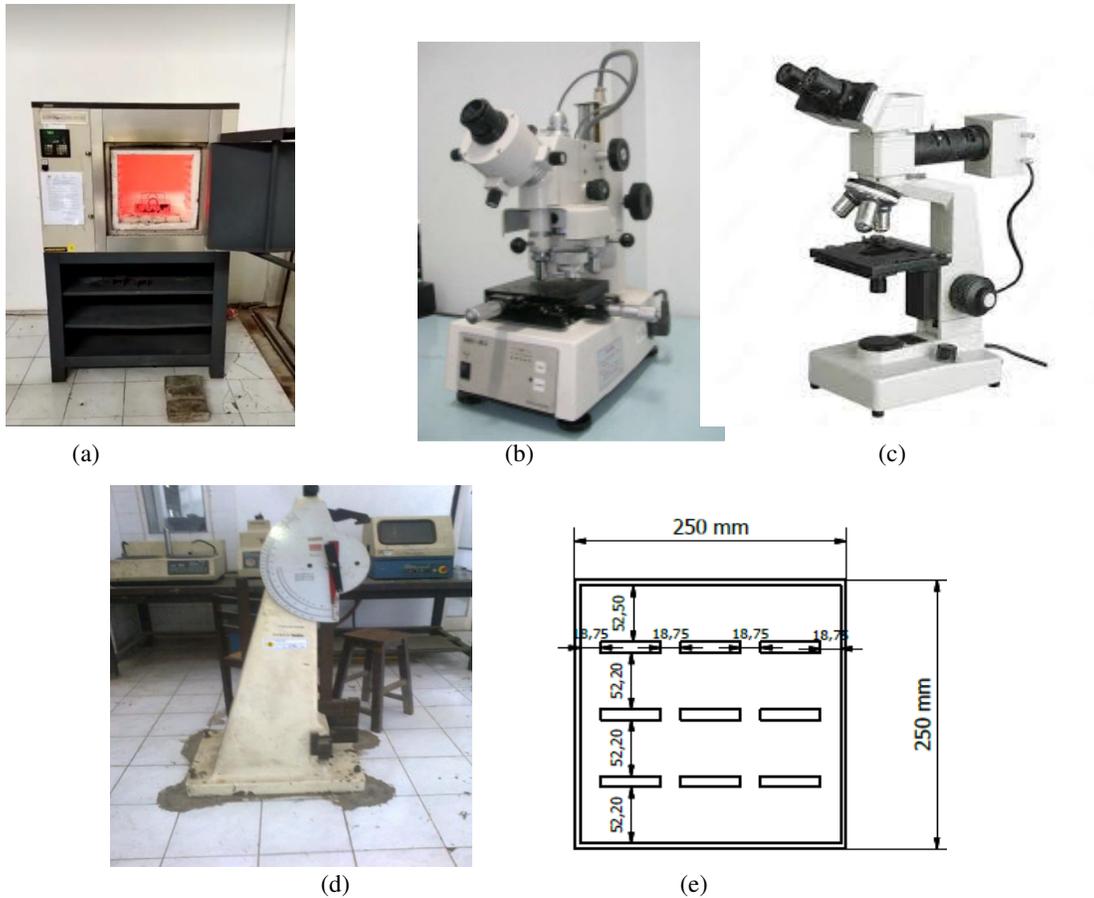
pada permukaan baja adalah dengan cara proses *carburizing* (Bahtiar dkk., 2017). Proses *carburizing* adalah proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja yaitu dengan cara menyerap karbon dari bahan yang mengandung sumber karbon seperti arang atau karbon *monoksida*. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kekerasan permukaan namun pada bagian dalam tetap ulet (Mazuli dkk., 2020). Proses *pack carburizing* merupakan proses penambahan unsur karbon dengan media padat dan harus ada sumber karbon serta *energizer* untuk mempercepat reaksi kimia. Salah satu sumber karbon yaitu arang kayu jati. Kayu jati banyak dimanfaatkan oleh masyarakat karena reputasinya sebagai kayu kualitas tinggi. Masyarakat memilih kayu jati karena penampilmannya yang menarik, kuat, memiliki keawetan alami yang tinggi, serta pengerjaannya yang mudah. Rahmawati dkk. (2019) dalam penelitiannya menjelaskan pohon jati banyak tersebar di Indonesia khususnya daerah Jawa. Dalam pengembangannya jati juga dibudidayakan di luar daerah Jawa seperti Kalimantan, Sumatera, Bali, dan Nusa Tenggara. Jika dilihat dari ketersediaan kayu jati yang tinggi yang ada di Indonesia maka bisa kita manfaatkan sebagai sumber karbon dalam proses *pack carburizing*. Sebelum digunakan sebagai unsur karbon pada proses *pack carburizing*, kayu jati perlu diubah terlebih dahulu menjadi arang agar menghasilkan karbon. Sebagai media *energizer* alternatif tulang sapi bisa dimanfaatkan karena mengandung kalsium karbonat. Potensi yang ada di Nusa Tenggara Barat sendiri masyarakatnya banyak memelihara sapi yang berjenis sapi Bali (*bos sondaicus*). Yuliana dkk. (2017) menjelaskan bahwa tulang sapi mengandung komposisi mineral berupa unsur kalsium dan fosfor. Kalsium yang terkandung dalam tulang sapi sebesar 7,07% dalam bentuk senyawa CaCO_3 , 1,96% dalam bentuk senyawa CaF_2 , fosfor sebanyak 2,09% dalam bentuk senyawa $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, dan 58,30% dalam bentuk senyawa $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Kandungan kalsium karbonat yang terdapat pada tulang sapi bisa kita manfaatkan sebagai *energizer* alternatif untuk mempercepat proses reaksi ikatan kimia pada *pack carburizing*. Di Nusa Tenggara Barat juga terdapat pabrik pengolahan tebu menjadi gula untuk kebutuhan nasional yaitu PT. Sukses Mantap Sejahtera (SMS) yang berlokasi di Dompu, dengan kapasitas penggilingan 130 ribu ton. Pabrik gula menghasilkan limbah cair berupa *cane molasses*. Limbah ini bisa dimanfaatkan sebagai pupuk, campuran pakan ternak dan juga bisa sebagai media pendinginan alternatif pada proses *quenching*.

Dodo dkk. (2016) melakukan penelitian tentang laju pendinginan (*cooling rate*) *cane molasses* sebagai media pendingin *quenching* untuk baja karbon tinggi dengan kandungan C 0,61%. Kesimpulannya bahwa tetes tebu (*cane molasses*) menghasilkan nilai kekerasan tertinggi (535 HVN). Hasil pengamatan struktur mikro spesimen larutan *cane molasses* memiliki tingkat kepatahan yang lebih tinggi dibanding dengan menggunakan media pendingin oli mesin tetapi lebih rendah daripada air. *Cane molasses* dapat mengeraskan baja karbon tinggi tanpa meretakkan komponen seperti oli mesin, sehingga *molasses* dapat menjadi alternatif yang sangat baik untuk digunakan sebagai media pendingin *quenching*. Nanulaita dkk. (2011) dalam penelitiannya tentang analisis perbandingan komposisi karbon dan bubuk tulang sapi dalam proses karburasi padat untuk mendapatkan nilai kekerasan tertinggi pada baja karbon S35C. Hasil yang diperoleh setelah proses penelitian yaitu komposisi 500 g karbon dan komposisi 50% tulang sapi menghasilkan peningkatan nilai kekerasan tertinggi dan nilai kekerasan meningkat sebesar 43.95 HRC. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar komposisi tulang sapi maka semakin tinggi peningkatan nilai kekerasan. Selain itu, membuktikan juga tulang sapi dapat dimanfaatkan sebagai *energizer* (katalisator) dalam proses karburasi padat. Masyrukan (2006) dalam penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah akibat pengaruh proses pengarbonan dari arang kayu jati. Dalam penelitian proses *carburizing* ini karbon diperoleh dari arang kayu jati dan temperatur yang digunakan adalah 900°C dengan variasi waktu penahanan 2 jam, 4 jam, dan 6 jam, setelah itu didinginkan dengan air. Kekerasan untuk waktu penahanan 2 jam adalah 257,5 kg/mm², waktu penahanan 4 jam adalah 273,1 kg/mm², dan waktu penahanan 6 jam kekerasannya tertinggi yaitu 274,6 kg/mm². Hasil pengamatan struktur mikro yaitu semakin lama proses karburising maka semakin banyak kandungan *perlite* yang mengakibatkan semakin tingginya tingkat kekerasan.

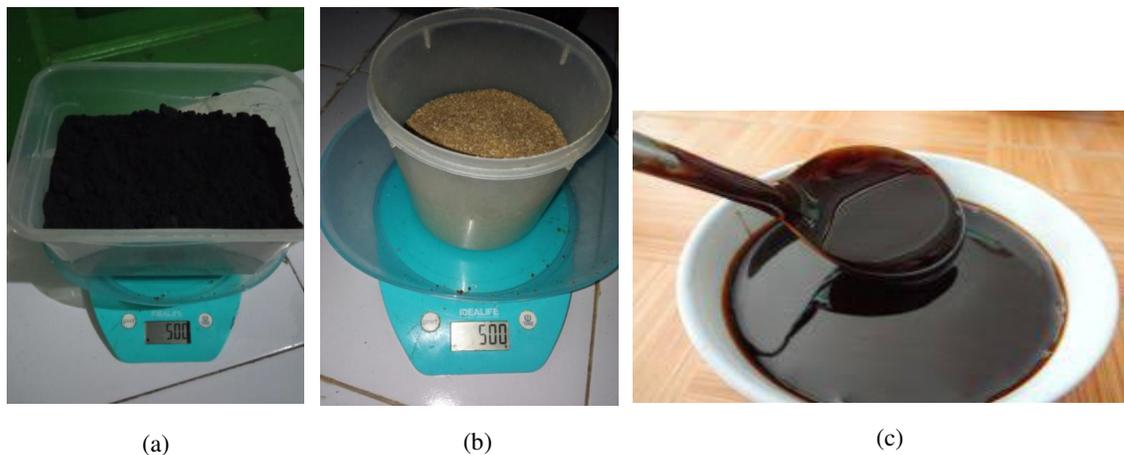
Aplikasi *cane molasses* sebagai media pendinginan pada perlakuan *pack carburizing* dilanjutkan dengan *quenching* masih jarang dipublikasikan. Sehingga sangat diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh waktu tahan *pack carburizing* dan penggunaan media *quenching cane molasses* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah. Diharapkan dengan adanya penelitian ini mampu dihasilkan baja karbon yang memiliki kekerasan yang tinggi, permukaannya agar tahan aus dan tetap ulet di dalamnya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan peralatan dan bahan seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 2. Pada penelitian ini persentase berat perbandingan dari campuran arang kayu jati dan serbuk tulang sapi sebagai media karburasi yaitu 50% : 50%. Proses *pack carburizing* dilakukan pada temperatur 900°C dengan variasi *holding time* 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Setelah itu di *quenching* dengan media pendingin *cane molasses* dengan variasi konsentrasi 10%, 20%, dan 30%. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan (metode *Vickers*), impak, dan pengamatan struktur mikro. Beban tekan *indentor* pada alat uji kekerasan yang digunakan 10 kg. Pengujian dilakukan pada tiga titik yang berbeda searah ketebalan benda kerja kemudian diambil nilai rata-ratanya. Pengujian *impact* dilakukan dengan metode *Charpy*.



Gambar 1. Alat yang digunakan (a) oven pemanas FB1310M-USA, (b) alat uji kekerasan TBMCV10-Cina, (c) mikroskop metalurgi FFI-550-Cina, (d) alat uji impak XJL-50-Donguan, (e) kotak karburasi



Gambar 2. Bahan yang digunakan (a) arang kayu jati, (b) serbuk tulang sapi, (c) cane molasses

Tabel 1. Alat dan bahan

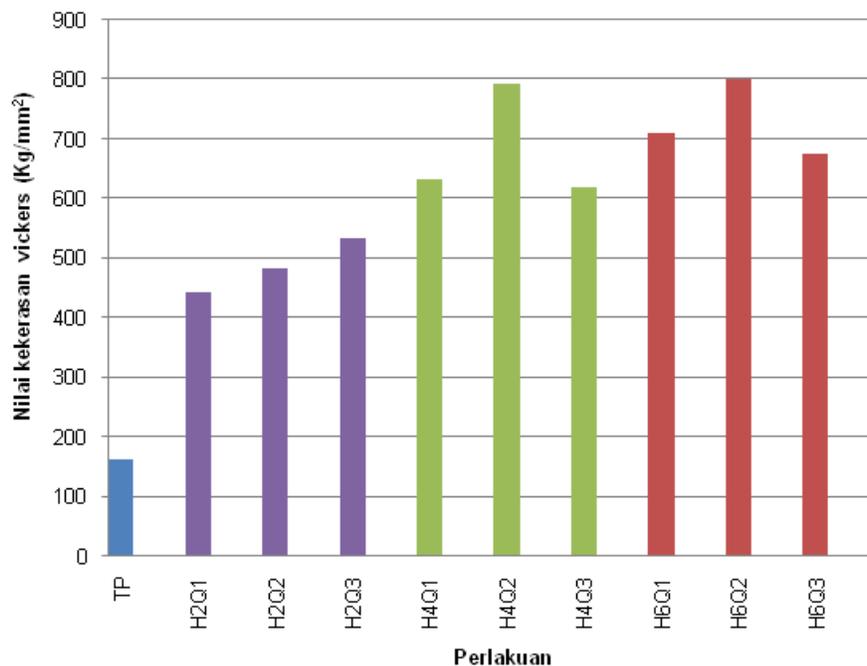
| Nama | Spesifikasi |
|-----------------|--|
| Kotak karburasi | Plat baja karbon rendah tebal 5 mm, ukuran 250 mm x 250 mm x 80 mm |

| | |
|-----------------|---|
| Spesimen | Baja karbon rendah ST 37, dengan komposisi kimia: 0.13%C, 0.15%Si, 0.66%Mn, 0.09%S. Kekuatan tarik 37-45 kg/mm ² . |
| Media karburasi | 50% arang kayu jati, 50% serbuk tulang sapi |
| Media pendingin | <i>cane molasses</i> dengan konsentrasi 10%, 20%, dan 30% |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis nilai kekerasan permukaan spesimen

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa terdapat nilai kekerasan yang paling rendah pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 162,621 kg/mm². Spesimen yang diberikan perlakuan *holding time* 2 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20%, 30% mengalami peningkatan kekerasan masing-masing sebesar 442,091 kg/mm², 481,927 kg/mm², 533,204 kg/mm². Spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 30% menjadi yang paling tinggi nilai kekerasannya pada *holding time* 2 jam. Untuk *holding time* 4 jam dengan *quenching cane molasses* 10% dan 20% mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 631,928 kg/mm² dan 792,012 kg/mm². Sedangkan pada *quenching* dengan *cane molasses* 30% mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 617,571 kg/mm², sehingga spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 20% menjadi yang paling tinggi nilai kekerasannya pada *holding time* 4 jam. Peningkatan dan penurunan nilai kekerasan spesimen juga terjadi pada *holding time* 6 jam dengan peningkatan nilai kekerasan berada pada *quenching cane molasses* 10% dan 20% sebesar 709,639 kg/mm² dan 799,952 kg/mm². Penurunan kekerasan terjadi pada *quenching* dengan *cane molasses* 30% sebesar 674,650 kg/mm² sehingga spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 20% menjadi yang paling tinggi nilai kekerasannya pada *holding time* 6 jam. Peningkatan nilai kekerasan ini mengindikasikan adanya tambahan unsur karbon pada permukaan spesimen.



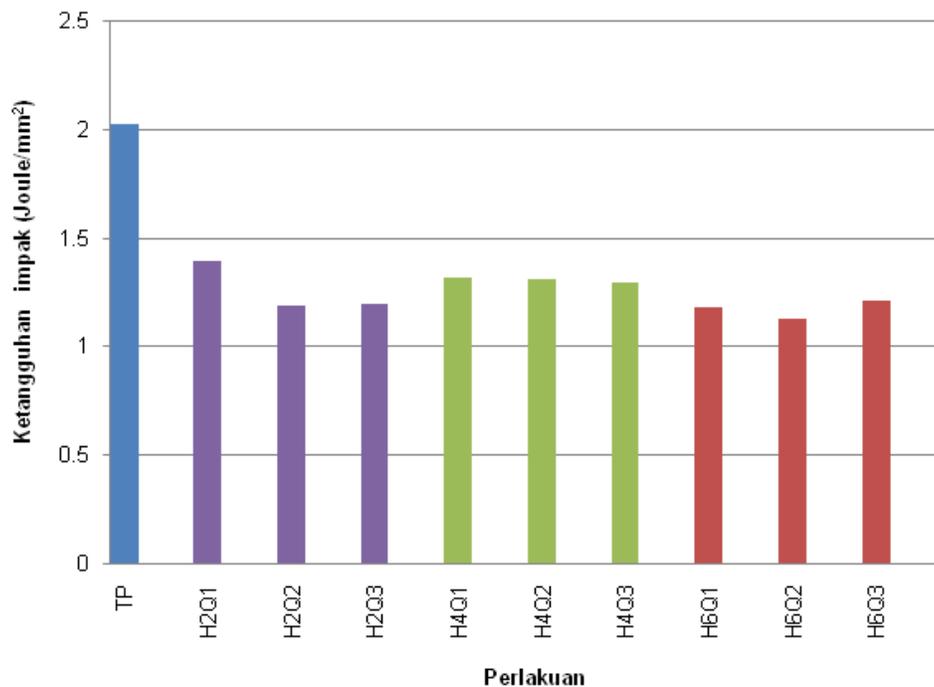
Gambar 3. Pengaruh *holding time* dan media pendingin terhadap nilai kekerasan. TP: tanpa perlakuan, H2, H4, H6: pack carburizing dengan *holding time* 2, 4, 6 jam, Q1, Q2, Q3: *quenching* dengan media pendingin cane molasses 10%, 20%, 30%.

Berdasarkan penelitian juga menunjukkan proses *pack carburizing* mempunyai kontribusi terhadap peningkatan nilai kekerasan spesimen. Spesimen tanpa perlakuan memiliki kekerasan yang paling rendah. Untuk spesimen yang diberikan perlakuan, nilai kekerasan yang paling tinggi berada pada spesimen *holding time* 6 jam, pada spesimen ini diberikan *holding time* paling banyak. Nilai kekerasan yang paling kecil berada pada *holding time* 2 jam, pada spesimen ini diberikan *holding time* paling sedikit. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan waktu *holding time* sehingga nilai kekerasannya berbeda. Ini sesuai dengan hasil penelitian dari Abidah dan Drastiawati (2019) yang mengemukakan bahwa semakin lama *holding time* akan mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan. Untuk *holding time* 4 jam dan 6 jam mengalami penurunan pada *quenching cane molasses* 30% disebabkan karena

perbedaan kekentalan media pendingin dimana kandungan *cane molasses* 30% lebih kental dibandingkan 10%. Ini sesuai dengan penelitian dari Sujita dkk. (2021) yang menyatakan bahwa faktor kekentalan media pendingin menyebabkan laju pendinginan (*cooling rate*) pada proses *quenching* terjadi perubahan bentuk struktur mikro yang mempengaruhi angka kekerasan permukaan.

3.2 Analisis ketangguhan impact spesimen

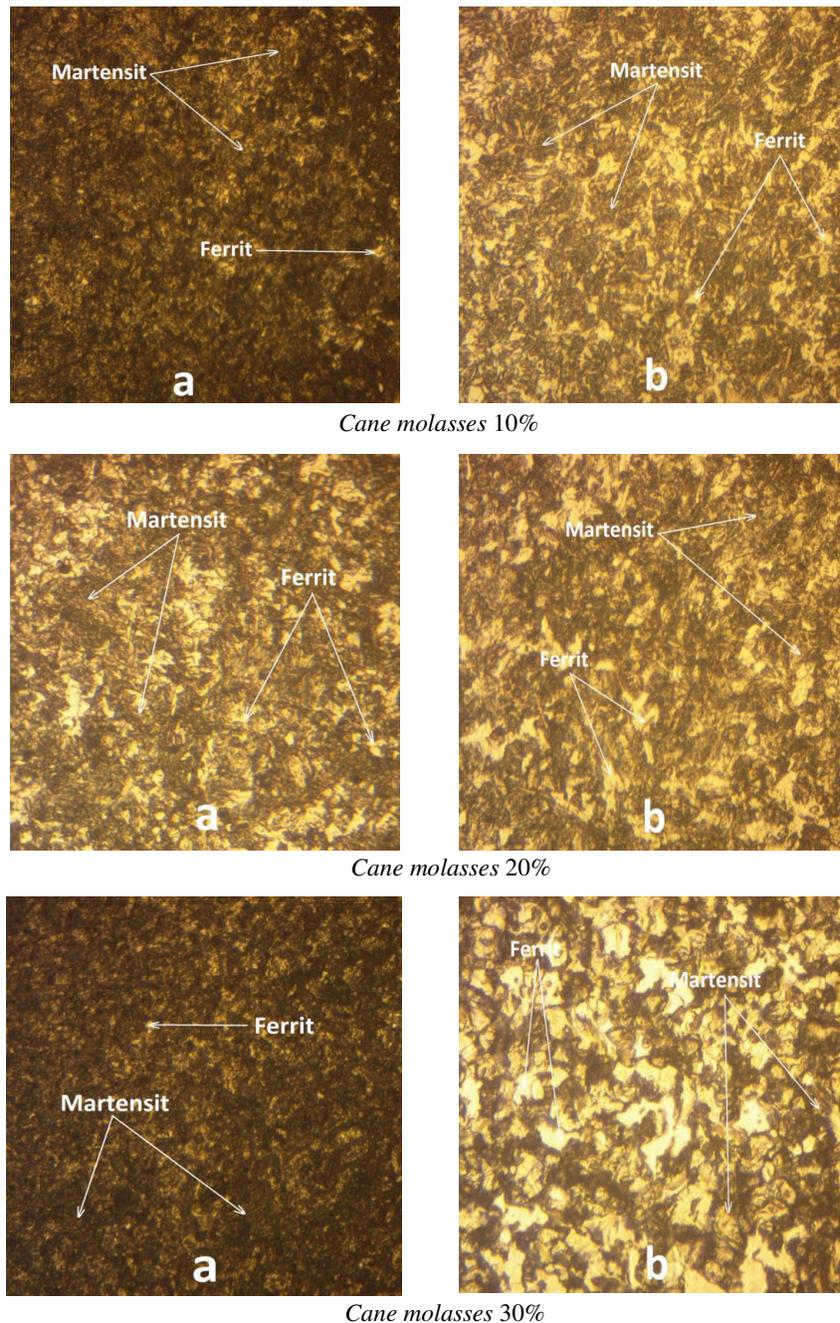
Hasil pengujian ketangguhan impact menunjukkan bahwa terdapat nilai ketangguhan impact yang paling tinggi pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 2,022 Joule/mm². Spesimen yang diberikan perlakuan *holding time* 2 jam dengan *quenching cane molasses* 10% mengalami penurunan ketangguhan impact sebesar 1,392 Joule/mm², pada *quenching cane molasses* 20% spesimen mengalami penurunan ketangguhan impact sebesar 1,188 Joule/mm², setelah di *quenching cane molasses* 30% spesimen mengalami peningkatan ketangguhan impact yang tidak terlalu besar yaitu 1,195 Joule/mm². Spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 10% menjadi yang paling tinggi ketangguhan impactnya pada *holding time* 2 jam. Untuk *holding time* 4 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20%, 30% mengalami penurunan ketangguhan impact yang tidak terlalu besar yaitu 1,313 Joule/mm², 1,309 Joule/mm², 1,295 Joule/mm². Spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 10% menjadi yang paling tinggi ketangguhan impactnya pada *holding time* 4 jam. Penurunan ketangguhan impact yang tidak terlalu besar juga terjadi pada *holding time* 6 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20%, 30% yaitu 1,182 Joule/mm², 1,127 Joule/mm², 1,207 Joule/mm². Spesimen *quenching* dengan *cane molasses* 30% menjadi yang paling tinggi ketangguhan impactnya pada *holding time* 6 jam. Terjadinya penurunan yang tidak begitu besar disebabkan oleh pembuatan takikan yang dilakukan setelah perlakuan yang menyebabkan hilangnya kandungan karbon pada spesimen sehingga pada grafik ketangguhan impact tidak terlihat penurunan yang signifikan pada masing-masing spesimen. Terjadinya perbedaan ketangguhan impact ini disebabkan oleh berubahnya struktur mikro pada spesimen yang menyebabkan menurunnya nilai ketangguhan. Hal ini sesuai dengan teori pada penelitian Purnomo dkk. (2019) yang menyatakan bahwa impact (ketangguhan) suatu material berbanding terbalik dengan nilai kekerasan.



Gambar 4. Pengaruh *holding time* dan media pendingin terhadap ketangguhan impact

3.3 Pengamatan struktur mikro

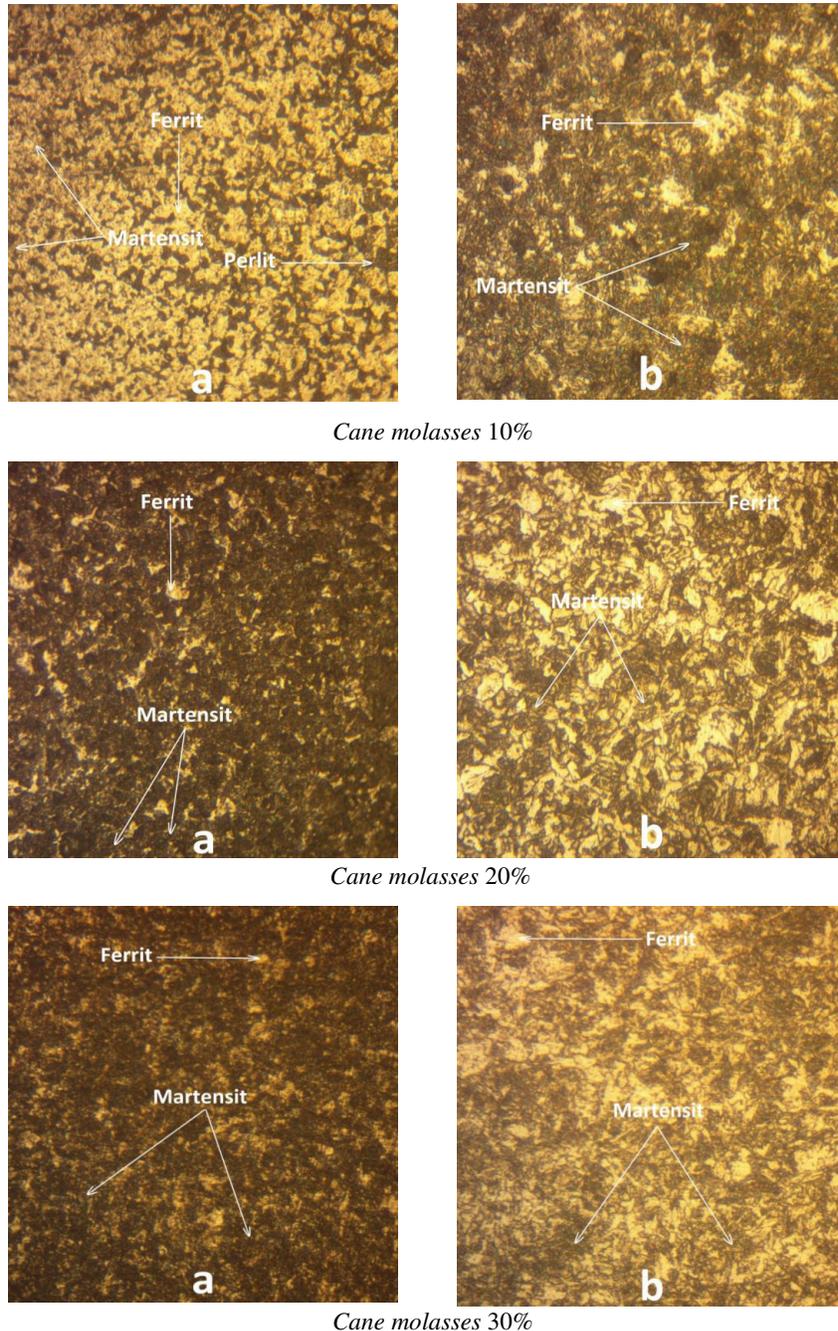
Hasil pengamatan struktur mikro ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Struktur mikro dengan *holding time* 2 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20%, 30% (a) bagian permukaan, (b) bagian samping

Gambar 5 (a) pada bagian permukaan spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 2 jam kemudian didinginkan dengan larutan *cane molasses* 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x strukturnya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrit. Gambar 5 (b) pada bagian dalam spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 2 jam kemudian didinginkan dengan larutan molasses 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x strukturnya menunjukkan adanya struktur martensite dan ferrite. Spesimen baja karbon rendah yang telah di *pack carburizing* dengan *holding*

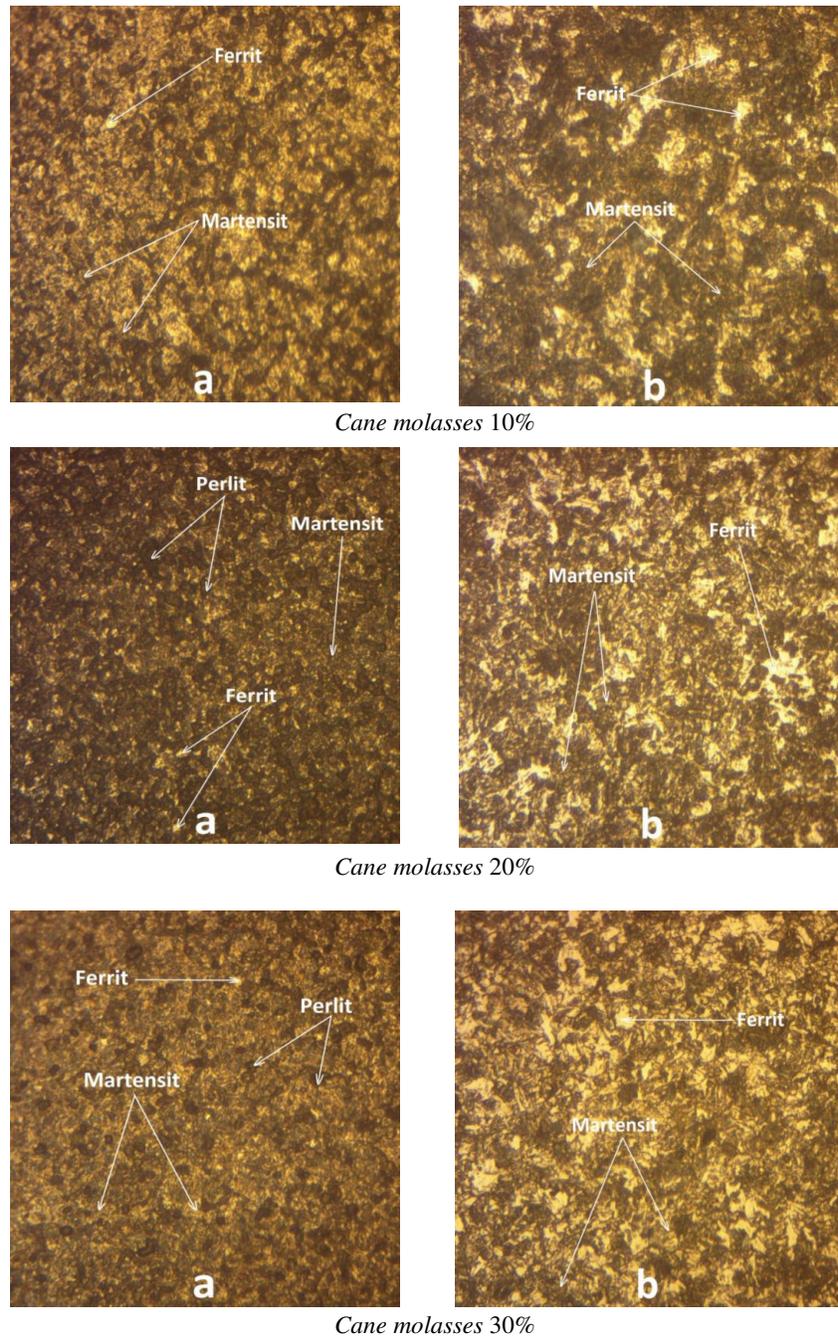
time 2 jam akan membentuk struktur martensit pada bagian permukaan sampai bagian dalam. Pada bagian permukaan dan bagian dalam memiliki perbedaan pada jumlah kandungan strukturnya yang pada bagian permukaan lebih banyak mengandung martensit yang bersifat keras sedangkan pada bagian dalam lebih banyak mengandung ferrite. Ferrite memiliki sifat yang relatif lunak sehingga membuat semakin ke dalam akan membuat spesimen semakin ulet.



Gambar 6. Struktur mikro dengan *holding time* 4 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20%, 30% (a) bagian permukaan, (b) bagian samping

Gambar 6 (a) pada bagian permukaan spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 4 jam kemudian didinginkan dengan larutan molasses 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrite. Gambar 6 (b) pada bagian

dalam spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 4 jam kemudian didinginkan dengan larutan molasses 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrit. Spesimen yang telah mengalami perlakuan *pack carburizing* pada *holding time* 4 jam struktur martensit lebih banyak dibandingkan pada spesimen *holding time* 2 jam. Hal tersebut menandakan bahwa proses *pack carburizing* menyebabkan penambahan unsur karbon yang membuat kekerasannya meningkat pada bagian permukaan spesimen. Sedangkan pada bagian dalam spesimen menunjukkan ferrit yang lebih dominan daripada martensit hal ini membuat sifat dari spesimen pada bagian tepi keras dan bagian dalam ulet.



Gambar 7. Struktur mikro dengan *holding time* 6 jam dengan *quenching cane molasses* 10%, 20, 30% (a) bagian permukaan, (b) bagian dalam

Gambar 7 (a) pada bagian permukaan spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 6 jam kemudian didinginkan dengan larutan molasses 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit, ferrit, dan perlit. Gambar 7 (b) pada bagian dalam spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 900°C selama 6 jam kemudian didinginkan dengan larutan molasses 10%, 20%, dan 30% dengan perbesaran 400x struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrit. Spesimen yang telah mengalami perlakuan *pack carburizing* pada *holding time* 6 jam akan membentuk struktur martensit lebih banyak dibandingkan *holding time* 2 jam dan 4 jam menjadikan spesimen ini lebih keras. Hal tersebut dapat dilihat dengan struktur martensit yang lebih jauh kebagian dalam dibandingkan dengan sebelumnya. Hal tersebut menandakan bahwa proses *pack carburizing* menyebabkan penambahan unsur karbon yang membuat kekerasannya meningkat pada bagian permukaan spesimen. Sedangkan pada bagian dalam spesimen menunjukkan ferrit yang lebih dominan daripada martensit. Hal ini membuat sifat dari spesimen pada bagian tepi keras dan bagian dalam ulet.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa spesimen yang telah di *pack carburizing* pada *holding time* 6 jam dan di *quenching* dengan *cane molasses* 20% memiliki kekerasan permukaan yang paling tinggi sebesar 799,952 kg/mm². Kekerasan permukaan spesimen paling rendah pada *holding time* 2 jam di *quenching* dengan *cane molasses* 10% sebesar 442,091 kg/mm². Ketangguhan impak yang paling tinggi pada spesimen yang telah mengalami perlakuan berada pada *holding time* 2 jam dengan *quenching cane molasses* 10% sebesar 1,393 Joule/mm² dan yang paling rendah berada pada *holding time* 6 jam dengan *quenching cane molasses* 20% sebesar 1,127 Joule/mm². Setelah di *pack carburizing* dengan *holding time* 2 jam, 4 jam, dan 6 jam serta di *quenching* dengan *cane molasses* kandungan 10%, 20%, dan 30% menunjukkan terbentuknya struktur martensit. Proses *pack carburizing* juga menyebabkan adanya penambahan unsur karbon yang membuat kekerasannya meningkat pada bagian permukaan spesimen. Sedangkan pada bagian dalam menunjukkan struktur ferrit yang lebih dominan. Hal ini membuat sifat dari spesimen pada bagian permukaan keras dan bagian dalam ulet.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak ibu dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram khususnya bapak ibu dosen pembimbing yang telah membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dan terima kasih juga kepada rekan-rekan mahasiswa mesin khususnya mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram angkatan tahun 2017 atas dukungannya serta semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidah, A.F., Drastiawati, N.S., Analisis SS400 hasil carburizing media arang tempurung kelapa-BaCO₃ dengan variasi temperatur pemanasan dan holding time ditinjau dari pengujian kekerasan dan struktur mikro, *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 1-8, 2019.
- Bahtiar, Iqbal, M., Arisandi, D., Analisis kekerasan dan struktur mikro pada baja komersil yang mendapatkan proses pack carburizing dengan arang cangkang kelapa sawit, *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 686-696, 2017.
- Dodo, M.R., Ause, T., Adamu, M.A., Investigating the cooling rate of cane molasses as quenching medium for 0.61% c high carbon steels, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia, University Zaria Nigeria*, 22(1), 39-49, 2016.
- Mazuli, S., Haripriadi, B.D, Analisis pengaruh arang kayu bakau arang tempurung kelapa dan arang kayu leban pada proses pack carburizing terhadap kekerasan baja karbon ST-37, *Jurnal Rekayasa Material Manufaktur dan Energy*, 3(2), 128-137, 2020.
- Masyrukan, Penelitian sifat fisis dan mekanis baja karbon rendah akibat pengaruh proses pengarbonan dari arang kayu jati, *Media Mesin*, 7(1), 40-46, 2006.
- Nanulaita, N.J.M., Lilipaly, E.R.M.A.P., Analisis perbandingan komposisi karbon dan bubuk tulang sapi dalam proses karburasi padat untuk mendapatkan nilai kekerasan tertinggi pada baja karbon S-35 C, *Jurnal Arika*, 5(2), 43-49, 2011.
- Purnomo, D.J., Jokosisworo, S., Budiarto, U., Analisa pengaruh holding time tempering terhadap kekerasan keuletan ketangguhan dan struktur mikro pada baja ST 70, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(1), 71-78, 2019.
- Rahmawati, Nugroho, Y., Prihatiningtyas, E., Identifikasi kesehatan tanaman jati (*Tectona grandis* linn. f) di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan, *Jurnal Sylva Scientae*, 2(5), 35-40, 2019.
- Sujita, Yudhyadi, I.G.N.K., Zainuri, A., Adhi, I.G.A.K.C., Sutanto, R., Pengaruh media pendingin dan waktu pada perlakuan pack carburizing-quenching baja karbon rendah SS400, *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, 11(2), 34-40, 2021.
- Yuliana, R., Rahim, E.A., Hardi, J., Sintesis hidroksiapatit dari tulang sapi dengan metode basah pada berbagai waktu pengadukan dan suhu sintering, *Jurnal Kovalen*, 3(3), 201-210, 2017.