



## Karakteristik sifat mekanik baja ASTM A36 pada *pack carburizing* dengan media karburasi campuran arang tempurung kelapa dan serbuk tulang kambing

*Characteristics of ASTM A36 steel mechanical properties in pack carburizing with carburizing agent coconut shell charcoal and goat bone powder mixed*

S. Sujita\*, I.D.K. Okariawan, L. Hakim

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

\*E-mail: [sujita@unram.ac.id](mailto:sujita@unram.ac.id)

---

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

---

#### Article History:

Received 09 January 2023

Accepted 04 March 2023

Available online 01 April 2023

---

#### Keywords:

ASTM A36 steel

Pack carburizing

Carburizing agent

Coconut shell charcoal

Goat bone powder



*In the study the specimens were ASTM A36 low carbon steel pack carburizing at 950°C, soaking time variations of 1, 2 and 3 hours. The carburizing agent is a mixture of coconut shell charcoal and goat bone powder (*Capra aegagrus hircus*). The size of the powder is 100 mesh, with variations in weight percentage between goat bone powder and coconut shell charcoal: 10% : 90%, 20% : 80%, and 30% : 70%. Furthermore, the impact test, hardness, microstructure test and composition test were carried out, to determine the mechanical properties of the specimens. The results of the study show, soaking time and the composition of the carburizing agent affect the mechanical properties of the specimen. The lowest impact toughness of 0,0576 joules/mm<sup>2</sup> was obtained by the specimen at a soaking time of 1 hour, the composition of the carburizing agent (% wt goat bone powder: coconut shell charcoal) 20% : 80%. The highest surface hardness value was 854.734 kg/mm<sup>2</sup> at 3 hours soaking time with 10%:90% carburizing media composition. The results of microstructure observations showed that in specimens treated with pack carburizing ferrite structure, pearlite turned into martensite.*

---

*Dinamika Teknik Mesin, Vol. 13, No. 1, April 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729*

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Food and Agriculture Organization (FAO). Asia Pasifik mampu menghasilkan 82% dari produk kelapa di dunia dan 18% diproduksi negara di luar Asia Pasifik. Indonesia menjadi negara nomor dua produsen kelapa terbesar di Asia Pasifik dengan nilai presentase mencapai 33,94% dibawah Philipina dengan nilai 36,25%. Kelapa (*cocos nucifera*), salah satu jenis tumbuhan yang banyak tersebar di wilayah perkebunan dan

pantai Indonesia. Kegunaan kelapa beragam sebagai makanan hingga kosmetik, sehingga keberadaannya sangat dikenal oleh segenap lapisan masyarakat karena kegunaannya yang beragam, dan pertumbuhannya yang sangat pesat. Indonesia dengan iklim tropisnya memiliki potensi produksi kelapa yang tinggi. Luas areal tanaman kelapa mencapai 3.654.478 Ha dengan total produksi sekitar 3.051.585 ton berdasarkan data Direktorat Jendral Perkebunan dan Pertanian Tahun 2014. Pemanfaatan buah kelapa sudah banyak dilakukan namun untuk tempurung kelapanya sendiri lebih banyak dibuang sebagai limbah dan hanya terbatas pada kerajinan tangan.

Limbah tempurung kelapa biasanya hanya akan dijadikan arang dengan dibakar atau dikeringkan lalu dibakar sehingga menghasilkan hasil pembakaran berupa asap yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan, tanpa adanya pengolahan kembali. Pada penelitian (Bellani dkk., 2012) limbah tempurung kelapa memiliki karakteristik yang keras, kuat, kedap air, dan memiliki unsur karbon sebesar 18,29 % tetapi ketika sudah berbentuk arang kadar karbon yang dikandung arang tempurung kelapa jauh lebih tinggi mencapai 76,23%. Oleh karenanya arang tempurung kelapa bias dimanfaatkan sebagai media karburasi. Penelitian tentang pengaruh temperatur *pack carburizing* terhadap kekerasan baja ST 37 dengan media karburasi arang tempurung kelapa dan barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) sebagai energizer/ katalis telah dilakukan oleh (Firdaus, 2020). Variasi suhu yang digunakan sebesar 850°C, 880°C, dan 930°C dan setelah itu dicelup cepat dengan menggunakan media oli, hasil kekerasan permukaan baja ST 37 maksimum dicapai pada temperature 930°C.

Sujita dkk. (2016) telah melakukan penelitian proses *pack carburizing* dengan media carburizer alternatif serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar nilai kekerasan permukaan tertinggi didapatkan pada penambahan serbuk cangkang mutiara sebesar 20%. Angka kekerasan permukaan diperoleh nilai sebesar 262,47 kg/mm<sup>2</sup> dengan nilai kekerasan awal material sebesar 144,08 kg/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pengamatan uji komposisi dan struktur mikro dapat diketahui bahwa telah terjadi pengerasan pada permukaan material karena adanya difusi karbon kedalam baja karbon rendah.

Selanjutnya (Ihom, 2013) dan (Aramide, 2010) melakukan penelitian teknik perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja karbon dengan menggunakan energizer serbuk tulang sapi. Eksperimen dilakukan dengan pemanas muffle furnace, pada suhu karburasi 900°C, waktu karburasi selama 8 jam. Pengujian angka kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan mikro Vickers. Hasil kajian menunjukkan bahwa pada komposisi 60% wt% arang / 40% berat serbuk tulang lembu memberikan hasil pengerasan permukaan yang terbaik. Tebal lapisan difusi karbon pada permukaan spesimen mencapai kedalaman 2,32 mm dan juga didapat angka kekerasan tertinggi.

Ngakan dkk. (2016) telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi sumber media karburasi terhadap kedalaman lapisan karburasi plat baja karbon rendah. Sumber media karburasi yang dijadikan sebagai obyek penelitian adalah: tulang bebek, kambing, arang pohon bamboo dan dahan kelapa. Kesemuanya diarangkan kemudian masing masing dicampur dengan katalis barium karbonat dengan komposisi 20% : 80%. Parameter karburasi suhu 900 °C, waktu 180 menit, kemudian proses pendinginan dilakukan dengan mencelupkan ke air.

Variabel yang diamati, terukur berupa angka kekerasan skala Vickers dan kedalaman lapisan karburasi (*total case depth*). Hasil kekerasan permukaan yang dihasilkan dengan urutan paling besar, secara berurutan adalah sebagai berikut: 556 HV, 532 HV, 363 HV, dan 340 HV. Masing-masing untuk sumber arang dari : tulang kambing, pohon bambu, dahan kelapa dan . tulang bebek (340,41 HV).

Satria (2019) telah melakukan penelitian tentang karburasi diikuti dengan *quenching* untuk meningkatkan kekerasan permukaan logam baja *AISI 3115* agar lebih tahan aus, dengan kalsium karbonat sebagai energizer dan batu bara *sub bituminous* untuk mempercepat terbentuknya gas CO rendah. Peneliti menggunakan variasi suhu pada 750°C, 850°C, dan 950°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perlakuan panas yang diterapkan pada baja maka tingkat kekerasan permukaan akan semakin tinggi pula dan nilai tingkat karbon juga meningkat. Pengaruh temperatur terbaik terdapat pada suhu 950°C. Pada penelitian ini didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 38,14 HR. dan memiliki laju korosi terlambat dengan nilai 2,86 mpy. Berdasarkan pengamatan foto struktur mikro telah terjadi pembentukan pearlite dari ferrite pada suhu 850°C.

Penelitian tentang Efek variasi suhu *pack carburizing* Baja ST 41 terhadap kekerasan dan kekuatan *Impack* telah dilakukan oleh (Ramlan dkk., 2020). Kesimpulan yang didapat bahwa nilai kekerasan tertinggi sebesar 32 HRC terjadi untuk sampel dengan suhu karburasi 800°C dan memiliki kekuatan *Impack* sebesar 1,993 joule/mm<sup>2</sup>. Jika dibandingkan paada sampel sebelum di lakukakn proses *pack carburizing*, telah terjadi peningkatan kekerasan permukaan yang hampir mencapai lipat, sedangkan nilai untuk uji *impaknya* juga telah terjadi peningkatan sebesar 10%.

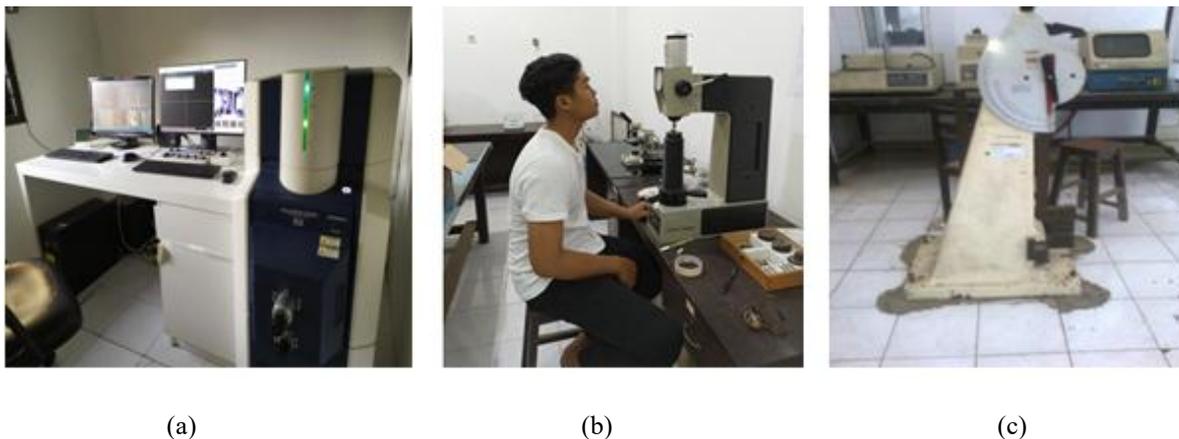
Indonesia memiliki tingkat populasi kambing dan konsumsi daging kambing yang tinggi. Berdasarkan data (Badan Pusat Statistik tahun 2019) jumlah konsumsi daging kambing pada tahun 2019 mencapai 7,2 ton dan dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan yang lumayan signifikan dikarenakan peningkatan jumlah penduduk. Jumlah populasi kambing pada tahun 2020 lalu mencapai 19 juta ekor disebutkan oleh Direktorat Jendral Peternakan dan Kesehatan Hewan. Tulang kambing juga memiliki kandungan kalsium hidrosiaptit yang

mana limbah tulang kambing ini jika tidak ditangani dengan baik dapat mencemari lingkungan, karena pada satu ekor kambing dapat menghasilkan 51% dari berat keseluruhan kambing adalah dari tulang jadi dapat dikatakan jika berat kambing adalah 40 kg maka tulang yang dihasilkan sebesar 20,4 kg tulang yang mana jika tidak diolah dengan baik dan dibuang begitu saja akan sangat berpotensi mencemari lingkungan (Wardani, 2018). Kandungan kalsium yang tinggi pada tulangnya maka akan sangat berpotensi sebagai bahan energizer pada proses pack carburizing baja karbon rendah.. Pada sebuah penelitian menyatakan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) merupakan komponen utama dari tulang kambing sehingga sudah memenuhi syarat sebagai pengenergi (Lesbani dkk., 2015). Hasil penelitian (Ebeledike dkk., 2010) juga menunjukkan bahwa jumlah kadar kalsium pada tulang kambing sejumlah ( $655,60 \pm 12.84$ ) ppm atau sebanyak 6,556%.

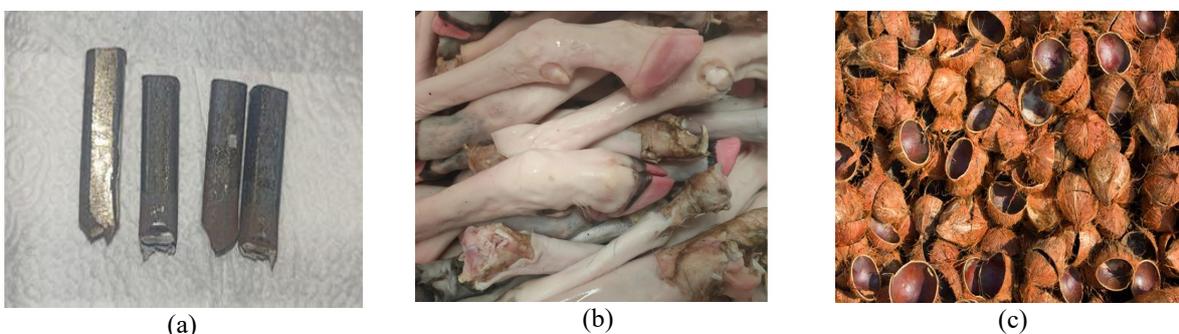
Keberadaan limbah tempurung kelapa dan tulang kambing sangat potensial untuk media karburasi alternatif pada proses pack carburizing. Pada penelitian sebelumnya belum ada yang menggunakan media karburasi dengan bahan arang tempurung kelapa dan serbuk tulang kambing. Proses pack carburizing dilakukan agar baja karbon rendah tersebut mampu menyerap karbon (pengarbonan) pada lingkungan yang mengandung karbon supaya dapat meningkatkan nilai kekerasan dan sifat fisik dari baja tersebut (Nanulaita, 2021).

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan penelitian eksperimental dengan peralatan dan bahan seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 2. Pada penelitian ini suhu karburasi konstan  $950^\circ\text{C}$ . Variasi waktu karburasi 1, 2, dan 3 jam, variasi persentase berat media karburasi campuran arang tempurung kelapa dengan serbuk tulang kambing adalah : 90% : 10%, 80% : 20%, dan 70% : 30%. Spesimen uji impact komposit sesuai ASTM E23, seperti tampak pada gambar 3. Arang tempurung kelapa yang sudah dicampur dengan serbuk tulang kambing dimasukkan ke dalam kotak karburasi. Selanjutnya spesimen di letakan di tengah-tengah kotak kemudian ditutup lagi lalu dimasukkan ke dalam tungku pemanas.



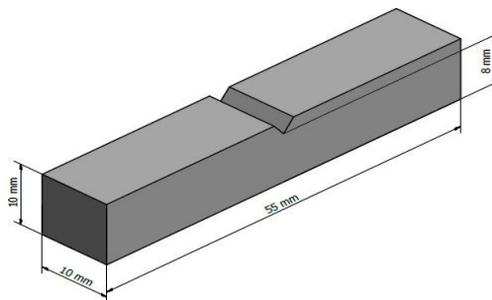
Gambar 1. Alat yang digunakan (a) SEM (*Scanning Electron Microscop*) FFI-550-Cina, (b) alat uji kekerasan, (c) alat uji impact XJL-50-Dongua.



Gambar 2. Bahan yang digunakan (a) baja ASTM A36, (b) tulang kambing, (c) tempurung kelapa.

Tabel 1. Alat dan bahan.

Nama	Spesifikasi
Alat uji kekerasan	Novotest TBBCM
Alat uji impak	XJL-50-Dongua.
Alat uji strukturmakro (Pengamatan terjadinya patahan)	SEM ( <i>Scanning Electron Microscop</i> ) FFI-550-Cina
Arang tempurung kelapa	Ukuran dengan ukuran 100 mesh
Serbuk tulang kambing	Jenis kelapa ( <i>Cocos nucifera L</i> ) Ukuran dengan ukuran 100 mesh Jenis kambing ( <i>Capra aegagrus hircus</i> )



Gambar 3. Dimensi spesimen uji impak sesuai standart ASTM E23

Sesuai standar *ASTM E23* ukuran dimensi specimen yaitu 55mm x 10mm x 10mm dengan takikan sedalam 2 mm bentuk V dengan sudut 45° pada tengah specimen.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

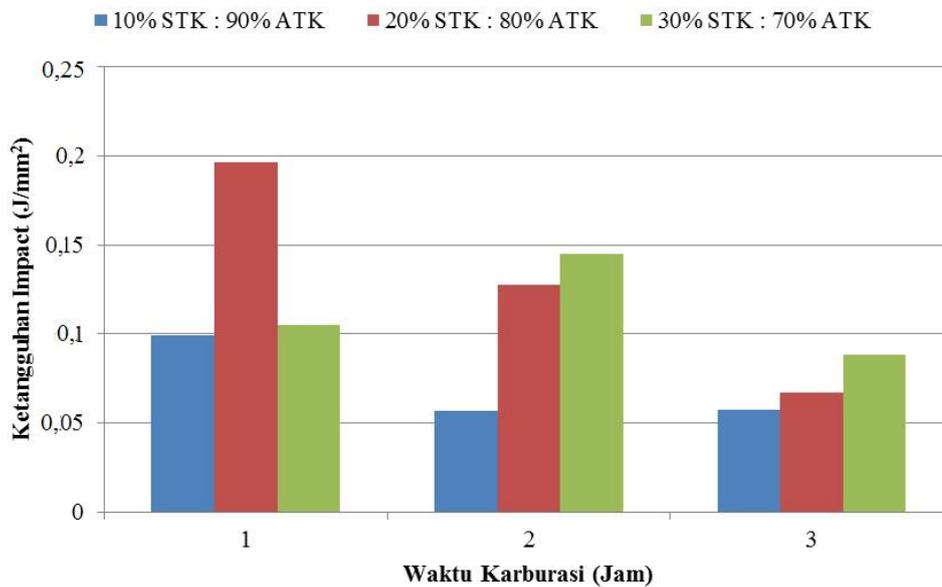
#### 3.1 Ketangguhan impact baja ASTM A36 setelah proses pac karburising.

Uji *impack* dilakukan dengan metode *charpy*, dengan tujuan untuk mengetahui ketangguhan impact spesimen pada setiap perlakuan. Hasil pengujian ketangguhan *impack* pada gambar 4. menunjukkan bahwa terdapat nilai ketangguhan *impack* yang paling tinggi pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 1,2787 joule/mm<sup>2</sup>. Spesimen yang diberikan perlakuan waktu karburasi 1 jam dengan campuran arang tempurung kelapa 90% : 10% serbuk tulang kambing. Spesimen mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,0994 joule/mm<sup>2</sup>, dengan waktu penahanan 1 jam dengan campuran arang tempurung kelapa 80% : 20% serbuk tulang kambing. spesimen mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,1961 joule/mm<sup>2</sup> dan menjadi specimen dengan ketangguhan *impack* tertinggi dari specimen uji lain dengan perlakuan waktu penahanan 1 jam, dengan waktu penahanan 1 jam pada campuran arang tempurung kelapa 70% : 30% serbuk tulang kambing. Spesimen mengalami penurunan ketangguhan *impack* yaitu 0,1051 joule/mm<sup>2</sup>.

Pada specimen dengan waktu penahanan 2 jam dengan komposisi perbandingan 90% : 10% mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,0567 joule/mm<sup>2</sup>. Lalu pada specimen dengan waktu penahanan 2 jam dengan komposisi perbandingan 80% : 20% mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,1276 joule/mm<sup>2</sup>. Dan pada specimen dengan waktu penahanan 2 jam dengan komposisi perbandingan 70% : 30% mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,1448 joule/mm<sup>2</sup>.

Adapun pada spesimen dengan waktu karrburasi 3 jam dengan komposisi perbandingan 90% : 10% juga mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,0576 joule/mm<sup>2</sup>. Sama dengan specimen dengan waktu penahanan 3 jam dengan komposisi perbandingan 80% : 20% mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,0668 joule/mm<sup>2</sup>. Dan pada specimen dengan waktu penahanan 3 jam dengan komposisi perbandingan 70% : 30% mengalami penurunan ketangguhan *impack* sebesar 0,0881 joule/mm<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut terlihat bahwa semua specimen yang sudah dilakukan perlakuan karburasi padat dan pengerasan diikuti dengan *quenching* mengalami pengurangan ketangguhan *impack* yang signifikan yang mana semua specimen uji tersebut mengalami pengerasan yang signifikan pula pada proses pengerasan dan *quenching*, dimana secara teori semakin keras suatu material maka semakin getas pula material tersebut hal ini berbanding terbalik dengan ketangguhan *impack*, semakin keras suatu material maka ketangguhan *impack*nya akan semakin kecil. Adapun

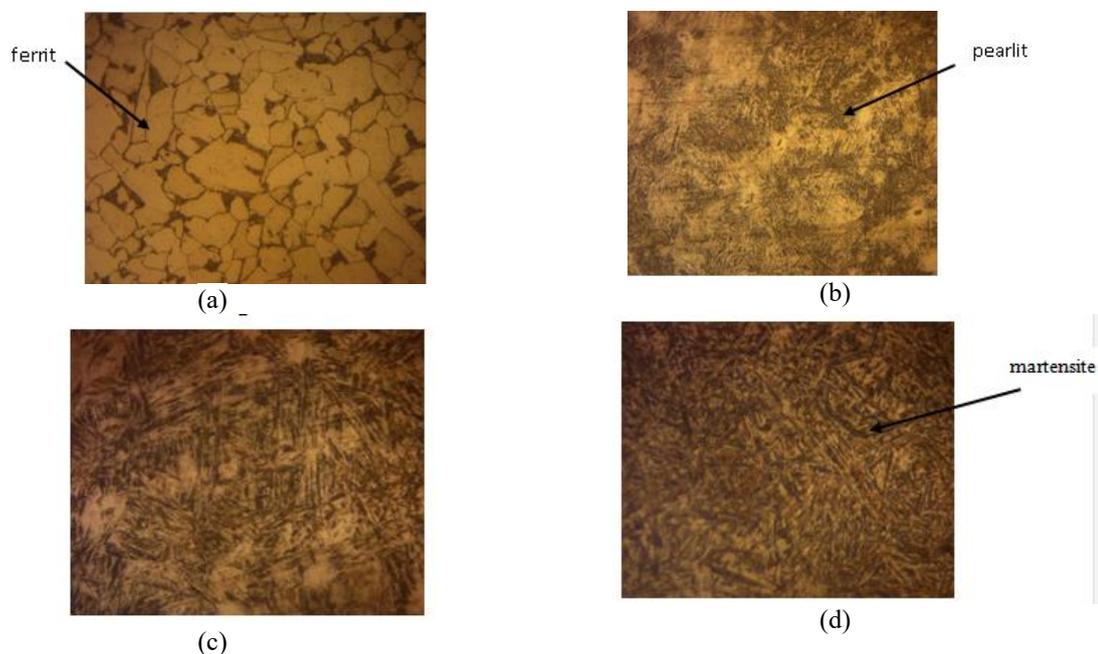
faktor yang mempengaruhi ketangguhan impact proses karburasi pada penelitian ini adalah waktu karburasi, arang tempurung kelapa sebagai sumber karbon dan serbuk tulang kambing sebagai *energizer* (mempercepat terjadinya reaksi difusi karbon). Semakin lama waktu karburasi ketangguhan impact cenderung menurun, sesuai dengan hasil penelitian (Aramide dkk., 2010).



Gambar 4. Ketangguhan impact specimen setelah perlakuan *pack carburizing*

### 3.2 Strukturmikro baja ASTM A36 setelah proses *pack karburising*.

Pengamatan dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang ada pada material dasar dan material yang mengalami proses *pack carburizing* dengan variasi waktu penahanan dan komposisi campuran arang tempurung kelapa dan serbuk tulang kambing.

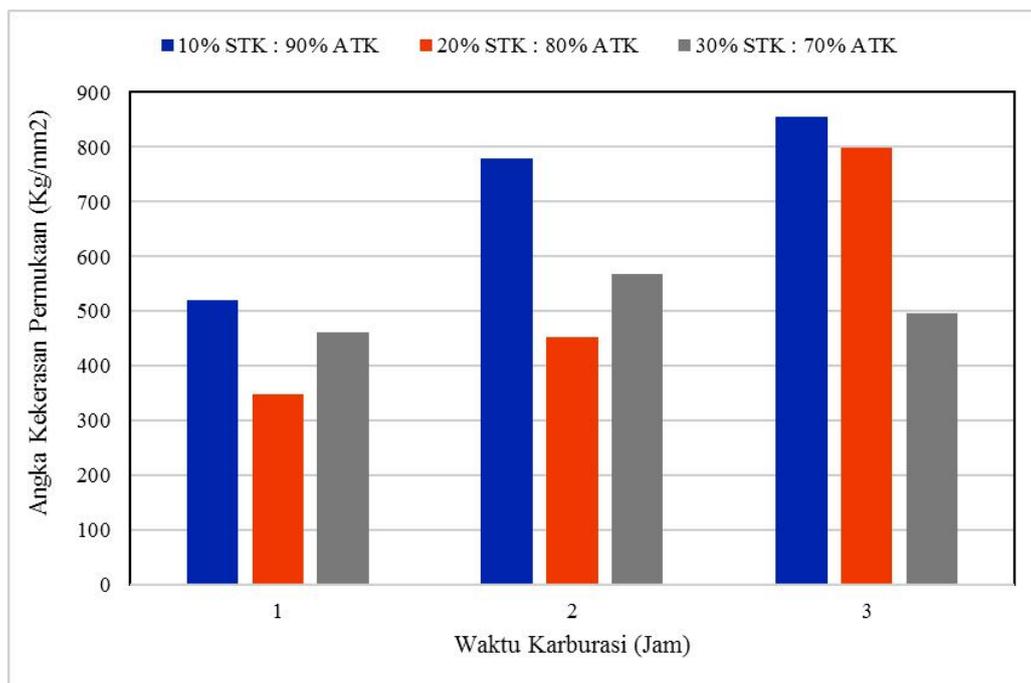


Gambar 5. Hasil uji SEM specimen setelah perlakuan *pack carburizing* pada suhu 950 °C, waktu karburasi 2 jam (a) tanpa perlakuan, (b) 10% STK, (c) 20% STK, (c) 30% STK.

Gambar 5a menunjukkan strukturmikro material dasar (tanpa perlakuan). Strukturmikro spesimen memiliki fasa ferrite (warna putih) dan pearlite (warna hitam), dengan ferrite lebih dominan jika dibandingkan dengan struktur pearlite sehingga bersifat lunak dan ulet. Gambar 5b spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan media karburasi ATK 90% : 10%STK kemudian didinginkan dengan pendinginan cepat dengan air garam 5% sehingga menyebabkan terikatnya karbon pada bagian permukaan spesimen. Dengan perbesaran 2500x struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrite. Unsur martensit yang memiliki sifat yang getas (keras) sesuai dengan uji impact, ketangguhan *impaknya* lebih kecil daripada spesimen tanpa perlakuan. Gambar 5c spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan media karburasi ATK 80% : 20%STK dengan temperature dan 950° C waktu karburasi selama 2 jam. Kemudian didinginkan dengan dicelupkan cepat pada air garam 5%. Strukturmikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrite. Tetapi martensit yang terbentuk lebih banyak, sehingga ketangguhan impact lebih rendah dibandingkan dengan media karburasi ATK 90% : 10%STK. Gambar 5d struktur mikro pada spesimen yang telah diberikan perlakuan *pack carburizing* dengan media karburasi ATK 70% : 30%STK. Struktur mikronya menunjukkan adanya struktur martensit dan ferrite, dengan bagian martensite paling banyak, sehingga memiliki sifat yang paling getas (keras), ketangguhan *impaknya* paling rendah. Meningkatnya persentase *energizer* pada media karburasi menyebabkan jumlah struktur martensit, sehingga ketangguhan menurun tetapi kekerasan permukaannya meningkat, fenomena ini selaras dengan hasil penelitian (Ngakan dkk., 2016).

### 3.3 Kekerasan permukaan ASTM A36 setelah proses *pack carburizing*

Uji kekerasan dilakukan dengan metode *vickers*. Tujuannya untuk mengetahui angka kekerasan permukaan spesimen pada setiap perlakuan. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai kekerasan dan nilai rata-rata kekerasan seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Kekerasan permukaan spesimen setelah perlakuan *pack carburizing*

Gambar 6 menunjukkan angka kekerasan permukaan spesimen baja ASTM A36 dengan variasi suhu dan media karburasi. Setelah *pack carburizing* dilanjutkan dengan *quenching* dengan media pendingin larutan air garam 5%. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa terdapat angka kekerasan yang paling rendah pada spesimen tanpa perlakuan sebesar 163,275 kg/mm<sup>2</sup>. Spesimen yang diberikan perlakuan *holding time* 1 jam dengan *quenching* air garam 5% untuk ATK:STK (90%:10%, 80%:20%, 70%:30%) mengalami peningkatan kekerasan masing-masing sebesar 520,541 kg/mm<sup>2</sup>, 348,973kg/mm<sup>2</sup>, 461,289 kg/mm<sup>2</sup>, dimana *pack carburizing* dengan media karburasi 90% ATK : 10% STK menjadi yang paling tinggi nilai kekerasannya pada *soaking time* 1 jam. Untuk *soaking time* 2 jam peningkatan nilai kekerasan masing-masing sebesar 779,793 kg/mm<sup>2</sup> 452,081 kg/mm<sup>2</sup>, dan 569,245 kg/mm<sup>2</sup>, *soaking time* 3 jam peningkatan nilai kekerasan masing-masing sebesar 854,734

kg/mm<sup>2</sup>. 798,914 kg/mm<sup>2</sup>, dan 497,319 kg/mm<sup>2</sup>. Peningkatan nilai kekerasan ini mengindikasikan adanya tambahan unsur karbon pada permukaan spesimen.

Proses *pack carburizing* mempunyai kontribusi terhadap peningkatan nilai kekerasan spesimen. Dimana spesimen tanpa perlakuan memiliki kekerasan yang paling rendah. Untuk spesimen yang diberikan perlakuan, nilai kekerasan yang paling tinggi berada pada spesimen *soaking time* 3 jam pada spesimen ini diberikan *soaking time* paling banyak, nilai kekerasan yang paling kecil berada pada *soaking time* 1 jam pada spesimen ini diberikan *soaking time* paling sedikit, ini disebabkan karena adanya perbedaan waktu *holding time* saat karburasi dengan *soaking time* pada saat *quenching* sama pada semua spesimen selama 1 jam sehingga nilai kekerasannya berbeda. Ini sesuai dengan hasil penelitian dari Abidah dan Drastiawati (2019) yang mengemukakan bahwa semakin lama *soaking time* akan mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa serbuk tulang kambing dapat digunakan sebagai media karburasi pada proses pack carburizing baja ASTM A36. Sifat mekanik dan mikrostruktur spesimen (Baja ASTM A36) dipengaruhi oleh waktu karburasi dan media karburasi. Kenaikan waktu karburasi (*soaking time*) dan kenaikan persentase serbuk tulang kambing pada media karburasi pada proses pack carburizing baja ASTM A36, meningkatkan angka kekerasan permukaan dan menurunkan ketangguhannya impact. Angka kekerasan permukaan dan ketangguhannya impact spesimen tanpa perlakuan 163,275 Kg/mm<sup>2</sup>, dan 1,2787 joule/mm<sup>2</sup>. Setelah *pack carburizing* dengan media karburasi 10% STK : 90% ATK, waktu karburasi 3 jam, angka kekerasan permukaan meningkat menjadi 854,734 kg/mm<sup>2</sup> dan ketangguhannya impact turun menjadi 0,0576 joule/mm<sup>2</sup> dengan media karburasi dan waktu karburasi yang sama. Kenaikan angka kekerasan permukaan disebabkan berubahnya struktur mikro dari ferrite menjadi martensite dan perubahan kandungan karbon pada permukaan spesimen.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak ibu dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram, Kepala dan Tenis Laboratorium Material Teknik, Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Universitas Mataram, 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

- Aramide, F.O., Ibitoye, S.A., Oladele, I.O., Pack carburization of mild steel, using pulverized bone as carburizer : optimizing process, parameters, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 2(16), 1–12, 2010.
- Bellani, Y.W., Nove, K.E., Racmad, R.Y., Erwan, A.S., Pra perancangan pabrik karbon aktif dari tempurung kelapa dengan proses aktifasi kimia pada kapasitas 20.000 ton/tahun, Jurnal Teknik ITS, 9(2), 399-404, 2020.
- Ebeledike, G.I., Edith, U., Calcium and phosphorus content of body part of some domestic animals used as meat source in Nigeria, Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 3(1), 395-398, 2010.
- Ihom, P.A., Case hardening of mild steel using cowbone as energiser, African Journal of Engineering Research, 1(10), 97–101, 2013.
- Lesbani, Aldes, Y.S., Calcium oxide decomposed from chicken's and goat's bone as catalyst for converting discarded cooking oil to be biodiesel, Aceh International Jurnal of Sience and Technology, 4(1), 7-13, 2015
- Ngakan, D., Putra, K., Efektifitas carburizer dari sumber karbon berbeda pada proses pack carburizing, METTEK, 2(1), 5–10, 2016.
- Nanulaitta, J., Lilipaly, Analisis perbandingan komposisi karbon dan bubuk tulang sapi dalam proses pack carburizing untukmendapatkan nilai kekerasan tertinggi pada baja karbon S35C, Arika, 5(1), 177-190, 2021.
- Sujita, Setyawan, P.D., Zainuri, A., Proses pack carburizing dengan media carburizer alternatif serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara, Mechanical, 7(2), 36–41, 2016.
- Satria, L.D.S., Pengaruh waktu tahan proses pack carburizing baja AISI 3115 dengan menggunakan calcium carbonate dan batubara sub bituminous dan mendapatkan perlakuan panas quenching media pendingin air, ROTASI, 21 (2), 88-95, 2019.
- Wardani, S., Potensi limbah tulang kambing sebagai arang aktif yang teraktifasi asam sulfat. Serambi Engineering, 3(2), 308-315, 2018.